SONDERFORSCHUNGSBEREICH 96

LABORATORIUM FÜR DEN KONSTRUKTIVEN INGENIEURBAU (LKI)
TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

BERICHTE
zur
SICHERHEITSTHEORIE DER BAUWERKE

Die genäherte Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit mit Hilfe rotationssymmetrischer Grenzzustandsflächen 2. Ordnung

von

H.-J. Neumann, B. Fießler, R. Rackwitz

Heft 22/1977

SONDERFORSCHUNGSBEREICH 96

LABORATORIUM FÜR DEN KONSTRUKTIVEN INGENIEURBAU (LKI)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

BERICHTE

ZUR

SICHERHEITSTHEORIE DER BAUWERKE

Heft 22/1977

DIE GENÄHERTE BERECHNUNG DER VERSAGENSWAHRSCHEINLICHKEIT MIT HILFE ROTATIONSSYMMETRISCHER GRENZZUSTANDSFLÄCHEN 2. ORDNUNG

von

H.-J. Neumann, B. Fießler, R. Rackwitz

SONDERFORSCHUNGSBEREICH 96 (SFB 96)

Der SFB 96 "Sicherheit von Bauwerken" ist eine Einrichtung der Technischen Universität München und der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Der SFB hat sich die Entwicklung baustoff- und bauartenübergreifender Sicherheitssysteme auf wahrscheinlichkeitstheoretischer Grundlage zum Ziel gesetzt.

LABORATORIUM FÜR DEN KONSTRUKTIVEN INGENIEURBAU (LKI)

Am LKI beteiligte Institute:

Institut für Bauingenieurwesen I

Baumechanik	Prof. Dr.-Ing. Grundmann
Baustatik	Prof. Dr.-Ing. Knittel

Institut für Bauingenieurwesen II

Baukonstruktion und Holzbau	Prof. Dr.-Ing. Heimeshoff
Baustoffkunde und Werkstoffprüfung	Prof. Dr.-techn. Springenschmid

Institut für Bauingenieurwesen III

Massivbau	Prof. Dr.-Ing. Kupfer
Stahlbau	Prof. Dipl.-Ing. Nather

Die Verfasser des vorliegenden Berichtes sind Angehörige des Instituts für Bauingenieurwesen III, Lehrstuhl Massivbau.

Inhaltsverzeichnis

Seite

1. Einführung und Aufgabenstellung 1
2. Näherungsflächen 1. Ordnung und Versagenswahrscheinlichkeit - Überblick 2
3. Näherungsflächen 2. Ordnung und Versagenswahrscheinlichkeit 5
   - 3.1 Approximation der Grenzzustandsgleichung durch eine Hyperkugel mit dem Radius R = ß 7
   - 3.2 Approximation der Grenzzustandsgleichung durch eine Quadrik 10
   - 3.2.1 Approximation durch ein Paraboloid bzw. durch ein Rotationsparaboloid 14
   - 3.2.1.1 Ermittlung der Grenzzustandsgleichung 14
   - 3.2.1.2 Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit 16
   - 3.2.2 Approximation der Grenzzustandsgleichung durch ihre Schmiegekugel 22
   - 3.2.2.1 Ermittlung der Grenzzustandsgleichung 22
   - 3.2.2.2 Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit 24
   - 3.2.3 Approximation der Grenzzustandsgleichung durch ein zweischaliges Rotationshyperboloid bzw. durch ein Rotationsellipsoid 26
4. Ein verbesserter Sicherheitsindex 27
5. Tabellen für die Versagenswahrscheinlichkeit bei Approximation der Grenzzustandsfläche durch Rotationsparaboloide und Schmiegekugeln und für den Korrekturfaktor 30
   - 5.1 Approximation durch Rotationsparaboloide 30
   - 5.1.1 Beschreibung der Tabellen 30
   - 5.1.2 Berechnung der Tabellen 30
   - 5.2 Approximation durch Schmiegekugeln 31
   - 5.2.1 Beschreibung der Tabellen 31
   - 5.2.2 Berechnung der Tabellen 31
   - 5.3 Korrekturfaktor ρ für den Sicherheitsindex 31
   - 5.3.1 Beschreibung der Tabellen 31
   - 5.3.2 Berechnung der Tabellen 31

6. Anwendungsbeispiel 32
7. Schlußbemerkungen 36

Anhang

- A 1 Betrachtungen zur Approximation der Grenzzustandsgleichung durch ein zweischaliges Rotationshyperboloid bzw. durch ein Rotationsellipsoid 38
- A 2 Tafeln für die Versagenswahrscheinlichkeit bei Rotationsparaboloiden 40
- A 3 Tafeln für die Versagenswahrscheinlichkeit bei Schmiegekugeln (= Tafeln der nichtzentralen Chi-Quadratverteilung) 63
- A 4 Tafeln für einen Korrekturfaktor für den Sicherheitsindex ß 71

Literaturverzeichnis 94

Symbole und Bezeichnungen

x, y, z ...	(gewöhnliche) Variable
<u>x</u>, <u>y</u>, <u>z</u> ...	Vektoren von Variablen
X, Y, Z ...	Zufallsvariable
<u>X</u>, <u>Y</u>, <u>Z</u> ...	Vektoren von Zufallsvariablen
<u>A</u>, <u>B</u>, <u>E</u> ...	Matrizen
$E[x]$, m_x	Erwartungswert, Mittelwert
$Var[x]$, $\sigma^2[x]$	Varianz
$\varphi_{\mu,\sigma}(x)$, $\phi_{\mu,\sigma}(x)$	Wahrscheinlichkeitsdichte und Verteilungsfunktion der Normalverteilung
$\varphi(x)$, $\phi(x)$	Wahrscheinlichkeitsdichte und Verteilungsfunktion der standardisierten Normalverteilung
$f(x)$, $F(x)$	Wahrscheinlichkeitsdichte, Verteilungsfunktion
P_F	Versagenswahrscheinlichkeit
$\phi^{-1}(P_F)$	Umkehrfunktion der Normalverteilung
$P(Z)$	Wahrscheinlichkeit des Ereignisses Z
v	logisches "oder"-Zeichen

1. Einführung und Aufgabenstellung

Die Berechnung der Wahrscheinlichkeit des Versagens von Baukonstruktionen wurde in den letzten Jahren wesentlich vereinfacht. Die entsprechende Theorie ist unter dem Namen Zuverlässigkeitstheorie 1. Ordnung bzw. Level-II-Methode bekannt [1]. Sie beruht auf einigen wichtigen Grundgedanken, insbesondere der Transformation nicht-normaler Verteilungen in normale Verteilungen durch punktweise Linearisierung [2, 3, 4], der Standardisierung auf (0,1)-normalverteilte Zufallsvariable und gegebenenfalls der Entkorrelierung der Zufallsvariablen und der Linearisierung der im allgemeinen nichtlinearen Grenzzustandsgleichung [5, 6]. Die Versagenswahrscheinlichkeit ermittelt sich dann mit Hilfe der Normalverteilungsfunktion. Frühzeitig wurde darauf hingewiesen, daß auch die Approximation durch eine spezielle quadratische Form (eingeschriebene Hyperkugel) zu einfachen Lösungen führt [7]. Die Versagenswahrscheinlichkeit ergibt sich dann aus der zentralen Chi-Quadratverteilung. Diese und Lösungen, die keine Annahme über die Verteilungen der Zufallsgrößen voraussetzen (sogenannte Tchebycheff'sche Schätzungen) wurden in [8] näher untersucht. Ditlevsen [9] gab eine Lösung für approximierende Rotationsparaboloide an. Im folgenden werden diese Lösungen der Vollständigkeit halber im einzelnen entwickelt. Für die Versagenswahrscheinlichkeit von approximierenden Rotationsparaboloiden werden Tabellen angegeben. Eine weitere rotationssymmetrische Form, die Hyperkugel mit gleichem maximalen oder minimalen Hauptkrümmungsradius wie die Grenzzustandsfläche im Approximationspunkt, wird vorgestellt. Ihr Wahrscheinlichkeitsinhalt kann mit Hilfe der nichtzentralen Chi-Quadratverteilung berechnet werden. Auch hierfür werden zweckmäßig aufgebaute Tabellen zur Verfügung gestellt. Für die Behandlung der von allgemeineren Quadriken (Paraboloide, Ellipsoide oder Hyperboloide) eingeschlossenen Wahrscheinlichkeitsinhalte wird auf [16] verwiesen.

2. Näherungsflächen[1] 1. Ordnung und Versagenswahrscheinlichkeit P_F - Überblick

Mit der Entwicklung der Zuverlässigkeitstheorie 1. Ordnung konnte das Problem der Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit P_F einer zunächst befriedigenden Näherungslösung zugeführt werden.

Drei wesentliche Vereinfachungen waren dazu notwendig:

a) Der Vektor $\underline{R}(t)$, der alle die Trag- oder Gebrauchsfähigkeit eines Bauteiles oder Tragwerkes charakterisierenden deterministischen und stochastischen Größen beschreibt, wird für ein zu wählendes Zeitinterval $[0 \leq t \leq T]$ als zeitinvariant betrachtet.

$$\underline{R}(t) = \underline{R} \qquad [0 \leq t \leq T] \tag{1}$$

Wird der Verlust der Trag- oder Gebrauchsfähigkeit eines Bauteiles oder Tragwerkes identisch mit der Erfüllung der Versagensbedingung der Form

$$g(\underline{r}) < 0 \tag{2}$$

angenommen, erhält man für die Versagenswahrscheinlichkeit P_F den Ausdruck

$$P_F = \int_{g(\underline{r}) < 0} f_{\underline{R}}(\underline{r}) \, d\underline{r} \tag{3}$$

In (3) ist $f_{\underline{R}}(r)$ die gemeinsame Dichte des Vektors $\underline{R}$. Für praktische Rechnungen ist (3) im allgemeinen ungeeignet.

b) Die Komponenten R_i $(i = 1, 2, \ldots, n)$ des Vektors $R = (R_1, R_2, \ldots, R_n)$ werden mittels geeigneter

[1] Unter Flächen werden in diesem Beitrag allgemein Flächen im n-dimensionalen Raum verstanden.

Transformationen, z.B.

$$U_i = \phi^{-1}_{\mu,\sigma}(F_i\,(R_i)) \qquad (i = 1, 2, \ldots, n) \tag{4}$$

in normalverteilte und mittels

$$Y_i = \sum_{k=1}^{n} a_{k,i}\, U_k \qquad (i = 1, 2, \ldots, n) \tag{5}$$

in voneinander unabhängige Zuvallsvariable überführt. Dabei ist $F_i(R_i)$ die Verteilungsfunktion der i-ten Komponente des Vektors $\underline{R}$ und $\phi^{-1}_{\mu,\sigma}$ die Inverse der Normalverteilung $\phi_{\mu,\sigma}$. Die Koeffizienten $a_{i,k}$ sind die Komponenten der Modalmatrix der ursprünglichen Kovarianzenmatrix $\Sigma_{\underline{R}}$, während sich die Hauptvarianzen $\sigma^2_{\underline{Y}}$ als Eigenwerte der Matrix $\Sigma_{\underline{R}}$ ermitteln. Die Versagenswahrscheinlichkeit P_F kann jetzt mit

$$P_F = \int_{g(\underline{y}) < 0} \varphi_{\mu,\sigma}(\underline{y}) \, d\underline{y} \tag{6}$$

berechnet werden. Das gelingt aber nur für einige Spezialfälle.

c) Die Grenzzustandsgleichung $g(\underline{y}) = 0$ wird im Linearisierungs- oder Approximationspunkt $P_y* = (y_1^*, y_2^*, \ldots, y_n^*)$ durch ihre Tangentialebene

$$g_L(\underline{Y}) = g(\underline{y}^*) + \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial g(Y)}{\partial y_i}\Big|_{\underline{y}^*} (Y_i - y_i^*) = Z = 0 \tag{7}$$

approximiert.

Es gilt der Satz: Sind $Y_1, Y_2, \ldots, Y_n$ unabhängige normalverteilte Zufallsvariablen, dann ist auch jede lineare Funktion

$$Z = a_0 + a_1 Y_1 + a_2 Y_2 + \ldots + a_n Y_n \tag{8}$$

normalverteilt.

Damit erhält man

$$P_F^L = \int_{g_L(\underline{y}) < 0} \varphi_{\mu,\sigma}(\underline{y})\; d\underline{y} = P(Z \leq 0) = \int_{-\infty}^{0} \varphi_{\mu,\sigma}(z)\; dz \qquad (9)$$

mit

$$m_z = a_o + \sum_{i=1}^{n} a_i\, m_{yi} \qquad (10)$$

und

$$\sigma_z = \left[\sum_{i=1}^{n} a_i^2\, \sigma_{yi}^2 \right]^{1/2} \qquad (11)$$

Der Ausdruck (9) vereinfacht sich zu

$$P_F{}^L = \Phi(-\frac{m_z}{\sigma_z}) \qquad (12)$$

und stellt eine bequem zu berechnende Näherung zur Ermittlung der Versagenswahrscheinlichkeit P_F dar. Die Anwendung von $\Phi(.)$ erfolgt zweckmäßigerweise mit den bekannten Tabellen zur Normalverteilung oder geeigneter rationaler Approximationen [10]. Ist der Approximationspunkt $P_y^* = (y_1^*, y_2^*, \ldots, y_n^*)$ der Punkt von allen möglichen Punkten P_y auf der Grenzzustandsfläche, für den der Betrag von (9) extremal wird, dann entspricht in einem $\frac{y_i}{\sigma_i}$ - normierten Koordinatensystem der Wert des Quotienten $\frac{m_z}{\sigma_i}$ in (12) dem Betrag der kürzesten Entfernung zwischen dem Punkt $P_{mz} = (\frac{m_{y1}}{\sigma_{y1}}, \frac{m_{y2}}{\sigma_{y2}}, \ldots, \frac{m_{yn}}{\sigma_{yn}})$ und der Grenzzustandsfläche $g(\underline{y}) = 0$. Der Beweis ist aus [1] zu ersehen. Es wird dann

$$\beta = \frac{m_z}{\sigma_z} \qquad (13)$$

als der Sicherheitsindex bezeichnet.

Die näherungsweise Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit P_F läßt sich so auf die Bestimmung von

$$\beta = \min\,(\overline{P_y\, P_{m_z}}) \qquad (14)$$

und

$$P_F{}^L = \Phi(-\beta) \qquad (15)$$

zurückführen.

Der Ausdruck (9), und damit auch (12) und (15), stellt einen exakten Schrankenwert für (6) dar.

Es gilt

$$\Phi(-\beta) \leq P_F \qquad (16)$$

für einen konvexen Bereich $g(\underline{y}) \geq 0$ und

$$0 \leq P_F \leq \Phi(-\beta) \qquad (17)$$

für einen konvexen Bereich $g(\underline{y}) \leq 0$.

Es ist zu beachten, daß $P_F{}^L$ für den konvexen Bereich $g(\underline{y}) \geq 0$ für nichtlineare Grenzzustandsgleichungen $g(\underline{y}) = 0$ auf der unsicheren Seite liegt (siehe Bild 2).

Im folgenden soll nur die unter c) beschriebene Vereinfachung - Approximation der Grenzzustandsfläche $g(\underline{y}) = 0$ durch unkomplizierte (symmetrische) Grenzzustandsflächen - weiter betrachtet werden. Stetigkeit und mindestens zweimalige Differenzierbarkeit von $g(\underline{y}) = 0$ in der Umgebung des Approximationspunktes werden dabei vorausgesetzt.

3. Näherungsflächen 2. Ordnung und die Versagenswahrscheinlichkeit

Gl.(6) läßt sich geometrisch interpretieren als die Berechnung des Volumenanteiles von $V = \int_{g(\underline{y})} \varphi_{\mu,\sigma}(\underline{y})\; d\underline{y}$ für den $g(\underline{y}) < 0$

gilt. V bezeichnet den Inhalt des in Bild 1 schematisch dargestellten sogenannten "Wahrscheinlichkeitshügels".

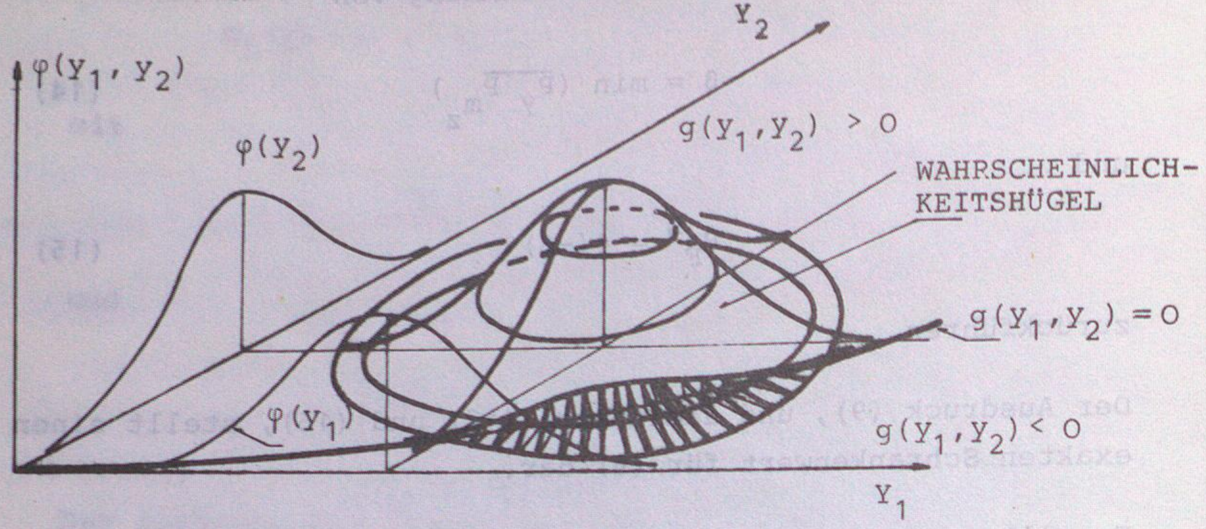
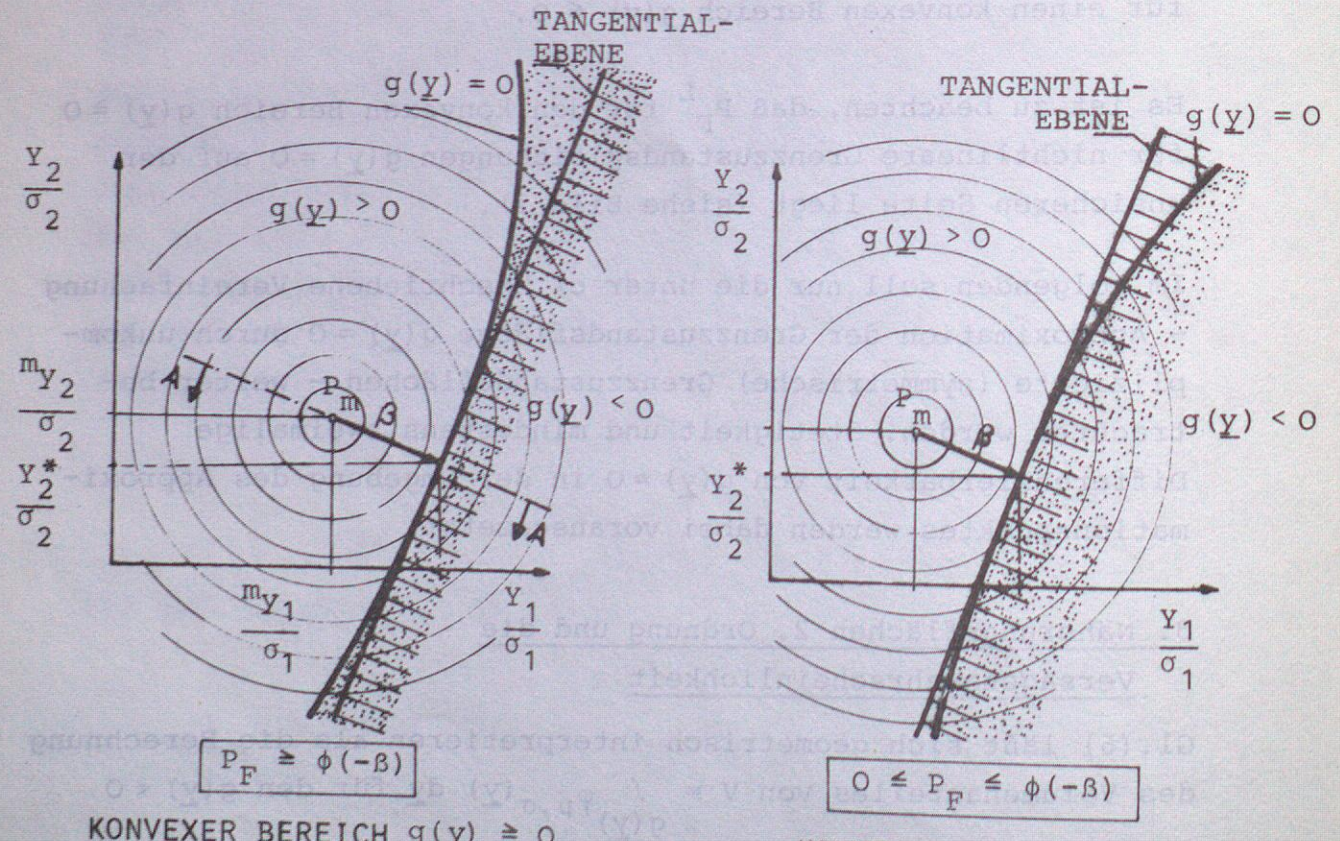


Bild 1: Wahrscheinlichkeitshügel für zwei Zufallsvariable Y_1, Y_2

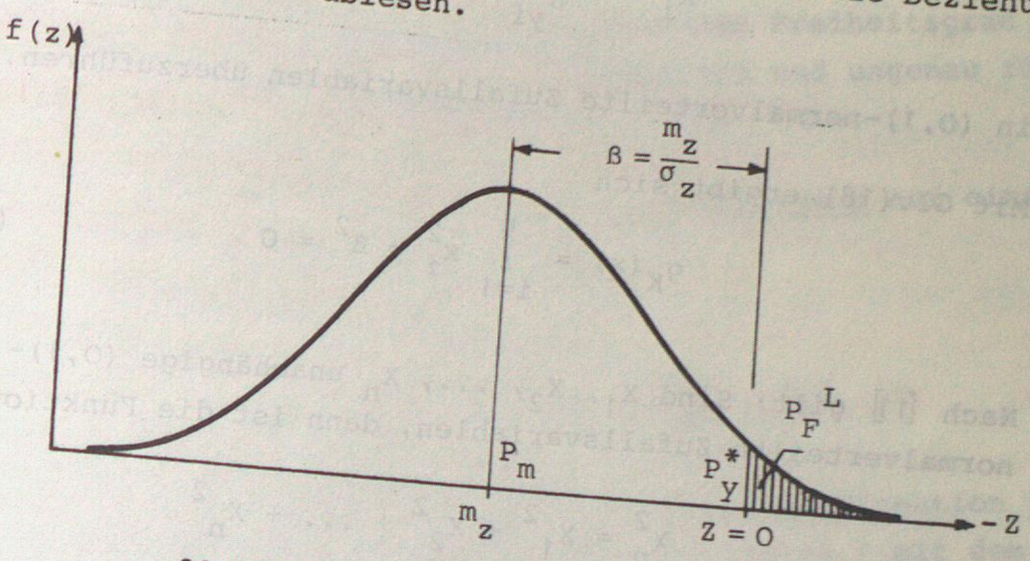
In Bild 2 ist der Wahrscheinlichkeitshügel durch seine Höhenlinien $\varphi_{\mu,\sigma}(\underline{y})$ = const. dargestellt. Der Integrationsbereich entsprechend Gl.(6) ist gepunktet, entsprechend Gl.(9) bzw. Gl.(15) ist der Integrationsbereich schraffiert dargestellt.



KONVEXER BEREICH $g(\underline{y}) \geq 0$ KONVEXER BEREICH $g(\underline{y}) \leq 0$

Bild 2

Bild 3 zeigt schematisch einen Schnitt A-A durch den Wahrscheinlichkeitshügel, die Punkte P_m und P_y^* liegen in der Schnittebene. Aus der Darstellung läßt sich die Beziehung (12) unmittelbar ablesen.



SCHNITT A - A IM BILD 2

Bild 3

Aus Bild 2 ist zu erkennen, daß eine Approximation der Grenzzustandsgleichung $g(\underline{y}) = 0$ durch eine Kurve (Fläche) 2. Ordnung genauere Werte für P_F liefern kann.

3.1 Approximation der Grenzzustandsgleichung $g(\underline{y}) = 0$ durch eine Kugel mit dem Radius $R = \beta$

Unter Beachtung von Gl.(14) ist die Kugel

$$g_K(\underline{y}) = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\sigma_i^2} (y_i - m_{yi})^2 - \beta^2 = 0 \qquad (18)$$

offensichtlich diejenige der möglichen Approximationen von $g(\underline{y}) = 0$, die den größten Betrag für die Versagenswahrscheinlichkeit P_F liefert. Damit ist für Gl.(16) der rechtsseitige Grenzwert gewonnen. Diese Betrachtung ist deshalb auch nur für konvexe Bereiche $g(\underline{y}) \geq 0$ sinnvoll. Für die Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit P_F^K ist es zweckmäßig, die normalverteilten Zufallsvariablen Y_i $(i = 1, 2, \ldots, n)$ in Gl.(6) mit der Transformation

$$X_i = \frac{Y_i - m_{yi}}{\sigma_{yi}} \quad (i = 1, 2, \ldots, n) \tag{19}$$

in (O,1)-normalverteilte Zufallsvariablen überzuführen.

Mit Gl.(18) ergibt sich

$$g_K(\underline{x}) = \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \beta^2 = 0 \tag{20}$$

Nach [11] gilt: Sind $X_1, X_2, \ldots, X_n$ unabhängige (O,1)-normalverteilte Zufallsvariablen, dann ist die Funktion

$$\chi_n^2 = X_1^2 + X_2^2 + \ldots + X_n^2 \tag{21}$$

chi-quadratverteilt mit n Freiheitsgraden.

Für die Versagenswahrscheinlichkeit P_F^K erhalten wir

$$P_F^K = \int\limits_{g_K(\underline{x}) > 0} \varphi(\underline{x})\, d\underline{x} \tag{22}$$

und mit Gl.(21)

$$P_F^K = 1 - P(\chi^2 \leq \beta^2) = 1 - \chi^2(\beta^2) \tag{23}$$

Mit der Verteilungsfunktion für die Chi-Quadrat-Verteilung ist

$$P_F^K = 1 - \frac{1}{2^{\frac{n}{2}}\,\Gamma(\frac{n}{2})} \int_0^{\beta^2} e^{-\frac{1}{2}v} \cdot v^{(\frac{n}{2}-1)} dv \tag{24}$$

In Gl.(24) steht v für χ^2 und n bezeichnet den Freiheitsgrad, d.i. die Anzahl der Zufallsvariablen X_i in (21).

Die Tafeln der χ^2-Verteilung enthalten in der Regel für verschiedene n und $P(\chi^2 = x_{q,n})$ die Quantile $x_{q,n}$.

Für vorgegebene $\chi^2 = \beta^2$ und vorgegebenen Freiheitsgrad n ist die Bestimmung $P(\chi^2 \leq \beta^2)$ unhandlich und ungenau für den zumeist in Frage kommenden Bereich.

Nach [15] läßt sich Gl.(24) für <u>geradzahlige n</u> auf eine Poissonverteilung zurückführen.

Wir erhalten

$$P_F^K = 1 - P(\chi^2 \leq \beta^2) = \Phi_p(\tfrac{n}{2} - 1; \tfrac{1}{2}\beta^2) \tag{25}$$

In Gl.(25) beschreibt $\Phi_p(\xi;\mu)$ die Verteilungsfunktion für die Poissonverteilung einer Zufallsvariablen ξ mit dem Erwartungswert $E[\xi] = \mu = \frac{1}{2}\beta^2$.

Damit folgt für geradzahliges n

$$P_F^K = e^{-\frac{1}{2}\beta^2} \sum_{j=0}^{\frac{n}{2}-1} \frac{(\frac{1}{2}\beta^2)^j}{j!} \tag{26}$$

Andere Möglichkeiten findet man in [10] beschrieben.

Geometrisch betrachtet wird durch Gl.(19) der Koordinatenursprung (in Bild 2) in den Punkt P_m verschoben; die neuen Koordinatenachsen X_i sind parallel zu den Koordinatenachsen Y_i $(i = 1, 2, \ldots, n)$.

Bild 4 zeigt schematisch die Integrationsbereiche entsprechend den Gl.(6), (9) und (22).

Die Gl.(22) und damit Gl.(24) stellt für die Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit P_F einen exakten rechtsseitigen Schrankenwert dar. Damit können wir für konvexe sichere Bereiche Gl.(16) in

$$\Phi(-\beta) \le P_f \le 1 - \chi^2(\beta^2) \qquad (27)$$

ergänzen.

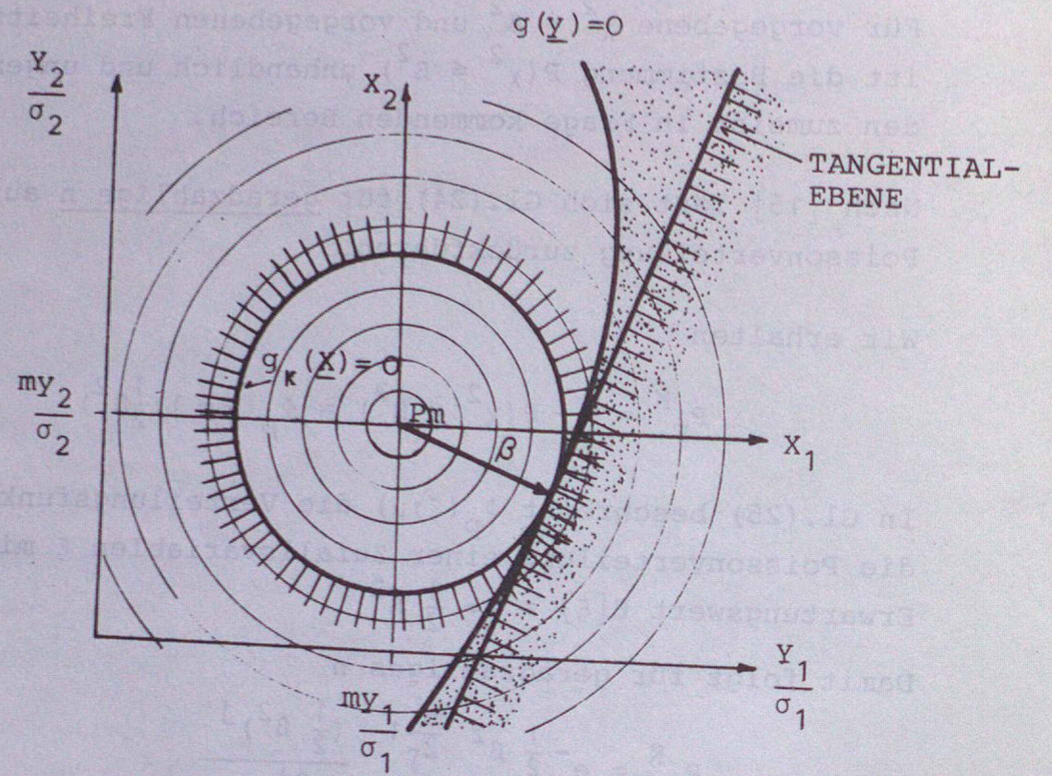


Bild 4: Schematische Darstellung der Integrationsbereiche entsprechend Gl.(6), (9) und (24)

Alle weiteren, über unterschiedliche Approximationen von $g(\underline{Y}) = 0$ gewonnenen, Werte für die Versagenswahrscheinlichkeit P_F müssen sich - konvexer Bereich für $g(\underline{Y}) \ge 0$ vorausgesetzt - zwischen diesen beiden Grenzwerten bewegen.

3.2 Approximation der Grenzzustandsgleichung $g(\underline{Y}) = 0$ durch eine allgemeine Quadrik

Die Grenzzustandsgleichung $g(\underline{Y}) = 0$ kann im Approximationspunkt $P_y^* = (y_1^*, y_2^*, \ldots, y_n^*)$ in eine Taylorreihe zweiter Ordnung

$$g_Q(\underline{Y}) = g(\underline{Y}^*) + \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial g(\underline{Y})}{\partial y_i}\bigg|_{\underline{Y}^*} (y_i - y_i^*) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial^2 g(\underline{Y})}{\partial {y_i}^2}\bigg|_{\underline{Y}^*} (y_i - y_i^*$$

$$+ \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^{n} \frac{\partial^2 g(\underline{Y})}{\partial y_i \cdot \partial y_k}\bigg|_{\underline{Y}^*} (y_i - y_i^*)(y_k - y_k^*) = 0 \qquad (2$$

entwickelt werden. Dabei setzen wir voraus, daß P_y^* und β Bedingung Gl.(14) genügen. Damit ist gesichert, daß die Information über die Lage des Punktes der Fläche $g(\underline{Y}) = 0$, in dem die gemeinsame Dichtefunktion $\varphi_{\mu,\sigma}(\underline{Y})$ einen maximalen Wert erreicht, nicht verloren geht.

In Ergänzung zu der Approximation durch eine Tangentialebene (Gl.7) werden als zusätzliche wichtige Information die Krümmung der Fläche $g(\underline{Y}) = 0$ im Punkt P_y^* und die Dimension des durch den Basisvariablenvektor $\underline{R} + \underline{Y}$ aufgespannten Raumes in die Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit P_F einbezogen. Die Bedeutung der Krümmung der Fläche $g(\underline{Y}) = 0$ für die Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit ist aus den Bildern 2 und 4 anschaulich zu erkennen.

Die Bedeutung der Dimension des durch den Basisvariablenvektor aufgespannten Raumes kann man sich mit folgendem Modell verdeutlichen. Der Inhalt des Wahrscheinlichkeitshügels beträgt unabhängig von der Dimension immer 1. Dann ist z.B. der prozentuale Anteil des Volumens einer in den Wahrscheinlichkeitshügel eingeschriebenen Kugel mit dem Radius R am Gesamtinhalt des Wahrscheinlichkeitshügels in einem dreidimensionalen Raum größer als in einem (3 + i)-dimensionalen Raum i ≥ 1).

Die Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit

$$P_F^Q = \int_{g_Q(\underline{Y}) < 0} \varphi_{\mu,\sigma}(\underline{Y})\, d\underline{Y}$$

wollen wir vorerst nicht durchführen, sondern schreiben Gl.(28) mit

$$g_Q(\underline{Y}) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} b_{ij}\, Y_i\, Y_j + \sum_{k=1}^{n} c_k\, Y_k + c_o = 0 \qquad (30)$$

als allgemeine Quadrikgleichung auf.

Von dieser Quadrik sollen zwei spezielle Formen, das Paraboloid und die Kugel, näher betrachtet werden. Wir führen die folgenden Transformation aus:

1. Mit der Transformation Gl.(19) wird dem Koordinatensystem $(Y_1, Y_2, \ldots, Y_n)$ das Koordinatensystem $(X_1, X_2, \ldots, X_n)$ zugeordnet.

2. Das Koordinatensystem $(X_1, X_2, \ldots, X_n)$ wird um seinen Ursprung gedreht, derart, daß eine der Koordinatenachsen z.B. $X_N \rightarrow \hat{X}_N$ durch den Punkt $P_y^* \rightarrow P_x^* \rightarrow P_{\hat{x}}^*$ verläuft. In dem neuen Koordinatensystem $(\hat{X}_1, \hat{X}_2, \ldots, \hat{X}_N)$ besitzt der Punkt $P_{\hat{x}}^*$ die Koordinaten $(0, 0, \ldots, \beta)$. Die beschriebene Drehung wird mit der Transformation

$$\underline{X} = \underline{\underline{D}}\, \hat{\underline{X}} \qquad (31)$$

ausgeführt. In Gl.(31) sind $\underline{X}$ und $\hat{\underline{X}}$ Vektoren mit den Komponenten (Koordinatenachsen) $X_1, X_2, \ldots, X_N$ bzw. $\hat{X}_1, \hat{X}_2, \ldots, \hat{X}_N$. Die Matrix $\underline{\underline{D}}$ wird als Drehmatrix bezeichnet und ist eine orthogonale Matrix. Ihre Spaltenvektoren $\underline{a}_i$ $(i = 1, 2, \ldots, n)$ lassen sich mit dem folgenden Algorithmus (E. Schmidt'sches Orthogonalisierungsverfahren)

$$\underline{a}_k = \frac{\underline{f}_k}{|\underline{f}_k|} = \underline{f}_k^o \quad (k = 1, 2, \ldots, n) \qquad (32)$$

mit

$$\underline{f}_1 = \underline{\alpha}_\beta \qquad (33)$$

und

$$\underline{f}_k = \underline{e}_k - \sum_{l=1}^{k-1} (\underline{e}_k\, \underline{f}_l^o)\, \underline{f}_l^o \quad (k = 2, 3, \ldots, n) \qquad (34)$$

berechnen.

Die Komponenten α_i des Vektors $\underline{\alpha}_\beta = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n)$ in G.(33) sind die Richtungskosinus des Vektors $\underline{OP}_x^* = \underline{\beta}$ im Koordinatensystem $(X_1, X_2, \ldots, X_n)$ und identisch mit den Richtungskosinus des Vektors $\underline{\beta}$ im Koordinatensystem $(\frac{Y_1}{\sigma_1}, \frac{Y_2}{\sigma_2}, \ldots, \frac{Y_n}{\sigma_n})$.

Sie können über die Beziehung

$$\alpha_i = \frac{\left.\frac{\partial g(x)}{\partial x_i}\right|_{x^*}}{\left[\sum\left(\left.\frac{\partial g(x)}{\partial x_i}\right|_{x^*}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}} \qquad (35)$$

ermittelt werden (siehe z.B. [3]).

Die Vektoren $\underline{e}_k$ bzw. $\underline{f}_k$ in den Gl.(32) und (34) sind die den Koordinatenachsen $X_1, X_2, \ldots, X_N$ bzw. $\hat{X}_1, \hat{X}_2, \ldots, \hat{X}_N$ zugeordneten Einheitsvektoren bzw. des Koordinatensystems $(X_1, X_2, \ldots, X_n)$.
Gl.(34) besagt nichts anderes, als daß der neue Einheitsvektor $\underline{f}_k$ der Koordinatenachse $\hat{X}_k$ durch Linearkombination des Einheitsvektors $\underline{e}_k$ der Koordinatenachse X_k und der schon erzeugten neuen Einheitsvektoren $\underline{f}_1, \ldots \underline{f}_{k-1}$ der Koordinatenachsen $\hat{X}_1, \ldots, \hat{X}_{k-1}$ gewonnen wird.

Nach Ausführung der Drehung erhält man für Gl.(30) den Ausdruck

$$g_Q(\hat{\underline{x}}) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} m_{ij}\, \hat{x}_i\, \hat{x}_j + \sum_{k=1}^{n} n_k\, \hat{x}_k + c_o = 0 \qquad (36)$$

Für das Koordinatensystem $(\hat{X}_1, \hat{X}_2, \ldots, \hat{X}_n)$ gilt

$$\left.\frac{\partial g_Q(\hat{\underline{x}})}{\partial \hat{x}_i}\right|_{\hat{x}^*} = g'_i = 0 \quad (i \neq n) \qquad (36.1)$$

Die später benötigten Hauptkrümmungen $\kappa_i = \frac{1}{R_i}$ $(i \neq n)$, der Grenzzustandsfläche $g(\underline{y}) \rightarrow g(\underline{\hat{x}})$ im Approximationspunkt $P^*_{\hat{x}}$ sind dann die Eigenwerte der charakteristischen Gleichung

$$\det\left(\frac{1}{g'_n} \cdot \underline{\underline{A}} - \frac{1}{R} \cdot \underline{\underline{E}}\right) = 0 \qquad (36.2)$$

In (36.2) steht $\underline{\underline{E}}$ für die Einheitsmatrix und $\underline{\underline{A}}$ ist die Matrix der zweiten und gemischten Ableitungen von Gl.(36) für i = 1, 2, ..., n-1, d.h.

$$\underline{\underline{A}} = \begin{pmatrix} g''_{11} & g''_{12} & g''_{13} & \cdots & g''_{1\,n-1} \\ g''_{21} & g''_{22} & g''_{23} & \cdots & g''_{2\,n-1} \\ \vdots & & & & \vdots \\ g''_{n-1\,1} & g''_{n-1\,2} & \cdots & & g''_{n-1\,n-1} \end{pmatrix} \qquad (36.3)$$

mit $g''_{ij} = g''_{ji}$ für $i \neq j$.

3.2.1 Approximation der Grenzzustandsgleichung durch ein Paraboloid bzw. ein Rotationsparaboloid

3.2.1.1 Ermittlung der Grenzzustandsgleichung

Die Näherung der Grenzzustandsfläche $g(\underline{y}) \rightarrow g(\underline{\hat{x}})$ im Approximationspunkt $P^*_{\hat{x}} = (0, 0, \ldots, ß)$ durch ein Paraboloid führt auf die Beziehung

$$g_p(\underline{\hat{x}}) = -\hat{x}_n + ß + \sum_{i=1}^{n-1} p_i\, \hat{x}_i^2 = 0 \qquad (37)$$

Die Koeffizienten p_i in Gl.(37) enthalten die Eigenwerte der quadratischen Form des approximierenden Paraboloides und stehen in einfacher Beziehung zu den Scheitelkrümmungen des Paraboloides und diese sollen den Hauptkrümmungen der Grenzzustandsfläche $g(\underline{\hat{x}}) = 0$ im Entwurfspunkt $P^*_{\hat{x}} = (0, 0, \ldots, ß)$ entsprechen. Die Berechnung der Hauptkrümmungsradien kann aber auch in jedem anderen Koordinatensystem vorgenommen werden - sie sind gegenüber Koordinatentransformationen invariant. In Gl.(37) ist $p_i = 1/2 \cdot R_i$, i = 1,2,..., n-1.

Die Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit $P_F{}^P$

$$P_F{}^P = \int\limits_{g(\underline{\hat{x}}) < 0} \varphi(\underline{\hat{x}})\, d\underline{\hat{x}} \qquad (38)$$

ist prinzipiell möglich. Für die Behandlung eines allgemeinen Termes $\sum_{i=1}^{m} p_i\, \hat{x}_i^2$ mit beliebigen Koeffizienten p_i muß auf [16] verwiesen werden. Für Anwendungen wird, dem bereits genannten Beitrag von Ditlevsen [9] folgend, die Gl.(37) weiter vereinfacht. Von den Koeffizienten p_i in Gl.(37) wählen wir den größten und kleinsten Wert aus und erhalten mit

$$g_{R,max}(\underline{\hat{x}}) = -\hat{x}_n + \max(p_i) \sum_{i=1}^{n-1} \hat{x}_i^2 + ß = 0 \qquad (39)$$

und

$$g_{R,min}(\underline{\hat{x}}) = -\hat{x}_n + \min(p_i) \sum_{i=1}^{n-1} \hat{x}_i^2 + ß = 0 \qquad (40)$$

zwei Rotationsparaboloide, die das approximierende Paraboloid (Gl.(37)) und in der Umgebung des Approximationspunktes auch die approximierende Fläche Gl.(28) mit $g(\underline{x}) \rightarrow g(\underline{\hat{x}})$ zwischen sich einschließen. Die damit gewonnenen neuen Grenzen für die Versagenswahrscheinlichkeit P_F

$$\min P_F{}^R = \int\limits_{g_{R,max}(\underline{\hat{x}}) < 0} \varphi(\underline{\hat{x}})\, d\underline{\hat{x}} \leq P_F \leq \max P_F{}^R = \int\limits_{g_{R,min}(\underline{\hat{x}}) < 0} \varphi(\underline{\hat{x}})\, d\underline{\hat{x}} \qquad (41)$$

liegen innerhalb der mit den Gl.(17) und (27) angegebenen Grenzen.

In Bild 5 ist die Approximation der Grenzzustandsfläche durch ein Paraboloid schematisch dargestellt. Es sei bemerkt, daß ähnlich geartete Schätzungen auch mit den Normalkrümmungen der Grenzzustandsfläche im Approximationspunkt gewonnen werden können.

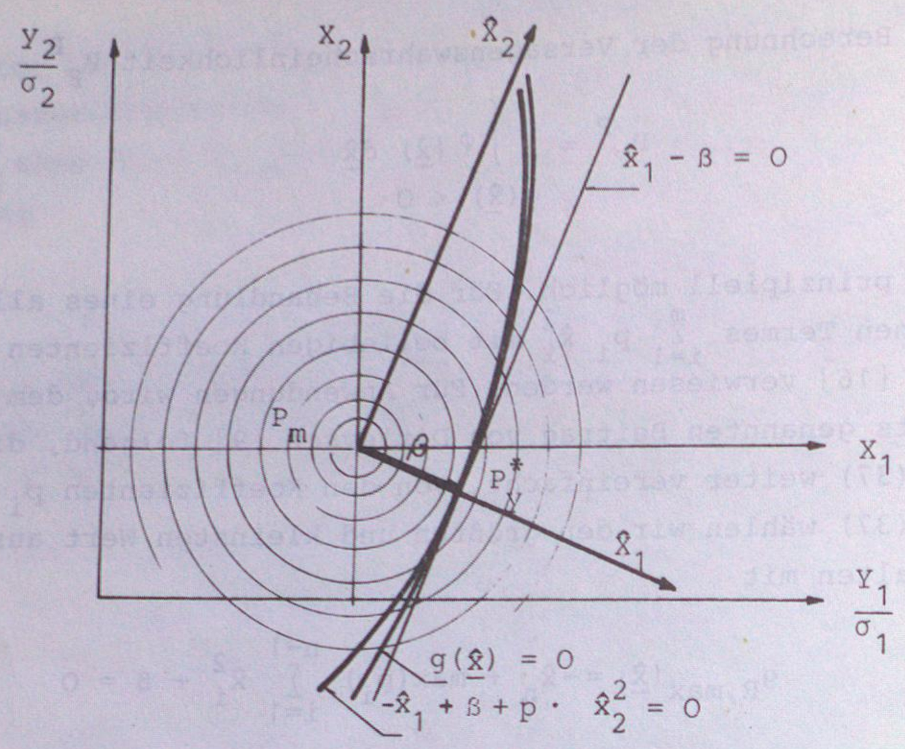


Bild 5: Approximation durch ein Paraboloid

Dann kann jedoch nicht mehr mit Sicherheit gesagt werden, ob die so gefundenen Paraboloide die wahre Fläche in der Umgebung des Approximationspunktes voll einschließen. Weiter kann eine einzige Schätzung der Versagenswahrscheinlichkeit nach Bestimmung der mittleren Hauptkrümmung für ein Rotationsparaboloid erhalten werden. Es ist beispielsweise

$$p = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^{n-1} p_i$$

3.2.1.2 Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit P_F^R

Für Gl.(39) bzw. Gl.(40) soll formal der Ausdruck

$$g_R(\hat{x}) = -\hat{x}_n + \beta + p \cdot \tilde{x} = 0 \qquad (42)$$

geschrieben werden. In Gl.(42) bezeichnet $\tilde{x} = \sum_{i=1}^{n-1} \hat{x}_i^2$ eine chi-quadratverteilte Zufallsvariable ($\hat{x}_i$ sind standard-

normalverteilte Zufallsvariablen) und $p = \min(p_i) \vee \max(p_i)$ charakterisiert die Lage (sign (p)) und Öffnungsweite ($|p|$) des betrachteten Rotationsparaboloids.

Aus Gl.(42) folgt

$$-\frac{1}{p}\hat{x}_n + \frac{1}{p}\beta + \tilde{x} = 0 \qquad (43)$$

und

$$w + \tilde{x} = 0 \qquad (44)$$

mit

$$W = -\frac{1}{p}\hat{x}_n + \frac{1}{p}\beta \qquad (45)$$

Wir setzen

$$W + \tilde{X} = T \qquad (46)$$

und erhalten dafür die Verteilungsfunktion

$$F(T) = \int_0^{+\infty} \int_{-\infty}^{t-\tilde{x}} f_{\tilde{X}}(\tilde{x})\, f_W(w)\, dw\, d\tilde{x} \qquad (47)$$

Diese Verteilungsfunktion wird im folgenden "parabolische Chi-Quadratverteilung" genannt.

Die Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit P_F^R führt auf den Ausdruck

$$P_F^R = P((W+\tilde{X}) < 0) = \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{-\tilde{x}} f_{\tilde{X}}(\tilde{x})\, f_W(w)\, dw \cdot d\tilde{x} \qquad (48)$$

Um Gl.(48) zu vereinfachen, transformieren wir die normalverteilte Zufallsvariable W in Gl.(45) über die Beziehung

$$\hat{W} = \frac{W-m_W}{\sigma_W} \qquad (49)$$

mit (nach Gl.(45))

$$m_W = \frac{1}{p} \cdot (ß - E[\hat{X}_n]) = \frac{1}{p}\, ß \qquad (50)$$

und

$$\sigma_W^2 = \frac{1}{p^2} \cdot \sigma^2 [\hat{X}_n] = \frac{1}{p^2}$$

auf die standard-normalverteilte Zufallsvariable

$$\hat{W} = p \cdot W - ß \qquad (51)$$

Damit vereinfacht sich Gl.(48) zu

$$P_F^R = \int_0^\infty \phi(-(p \cdot \tilde{x} + ß)) \cdot f_{\tilde{X}}(\tilde{x})\, d\tilde{x} \qquad (52)$$

mit

$$f_{\tilde{X}}(\tilde{x}) = \frac{1}{2^{\frac{n-1}{2}}\, \Gamma(\frac{n-1}{2})} \cdot \tilde{x}^{(\frac{n-1}{2} - 1)} \exp(-\frac{1}{2}\tilde{x}) \qquad (53)$$

als Dichtefunktion der Chi-Quadratverteilung mit (n-1) Freiheitsgraden.
Das Integral in Gl.(52) kann mit einer der bekannten Quadraturformeln zur numerischen Berechnung von Integralen unter Benutzung von geeigneten Entwicklungen der standardisierten Normalverteilung $\phi(.)$ berechnet werden.

Bild 6 veranschaulicht schematisch die Integration in Gl.(52).

Das Verhalten der mit der parabolischen-Chi-Quadratverteilung errechneten Werte für die Versagenswahrscheinlichkeit ist in Bild 7 dargestellt. Offensichtlich gehen für p = 0 (d.h. Krümmung = 0) alle Kurven durch den zugehörigen Wert $\phi(-ß)$. Es gilt für konvex sicheren Bereich

$$p \to -\infty \Rightarrow P_F^R \to 1$$

und für konvex unsicheren Bereich

$$p \to +\infty \Rightarrow P_F^R \to 0$$

Für große Werte ß konvergiert die Versagenswahrscheinlichkeit schneller gegen die Grenzen als für kleine Werte ß.

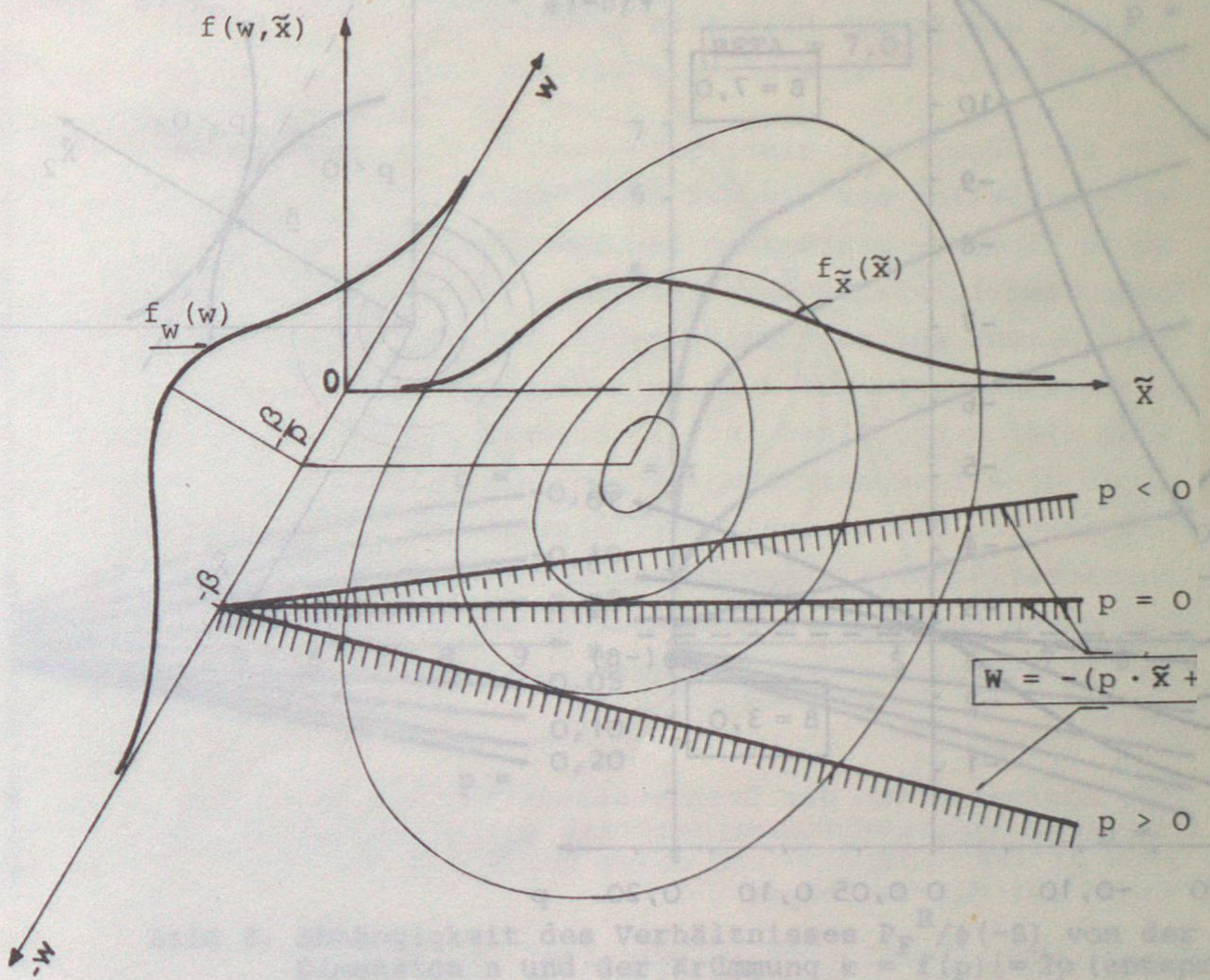


Bild 6: Darstellung des Integrationsbereiches

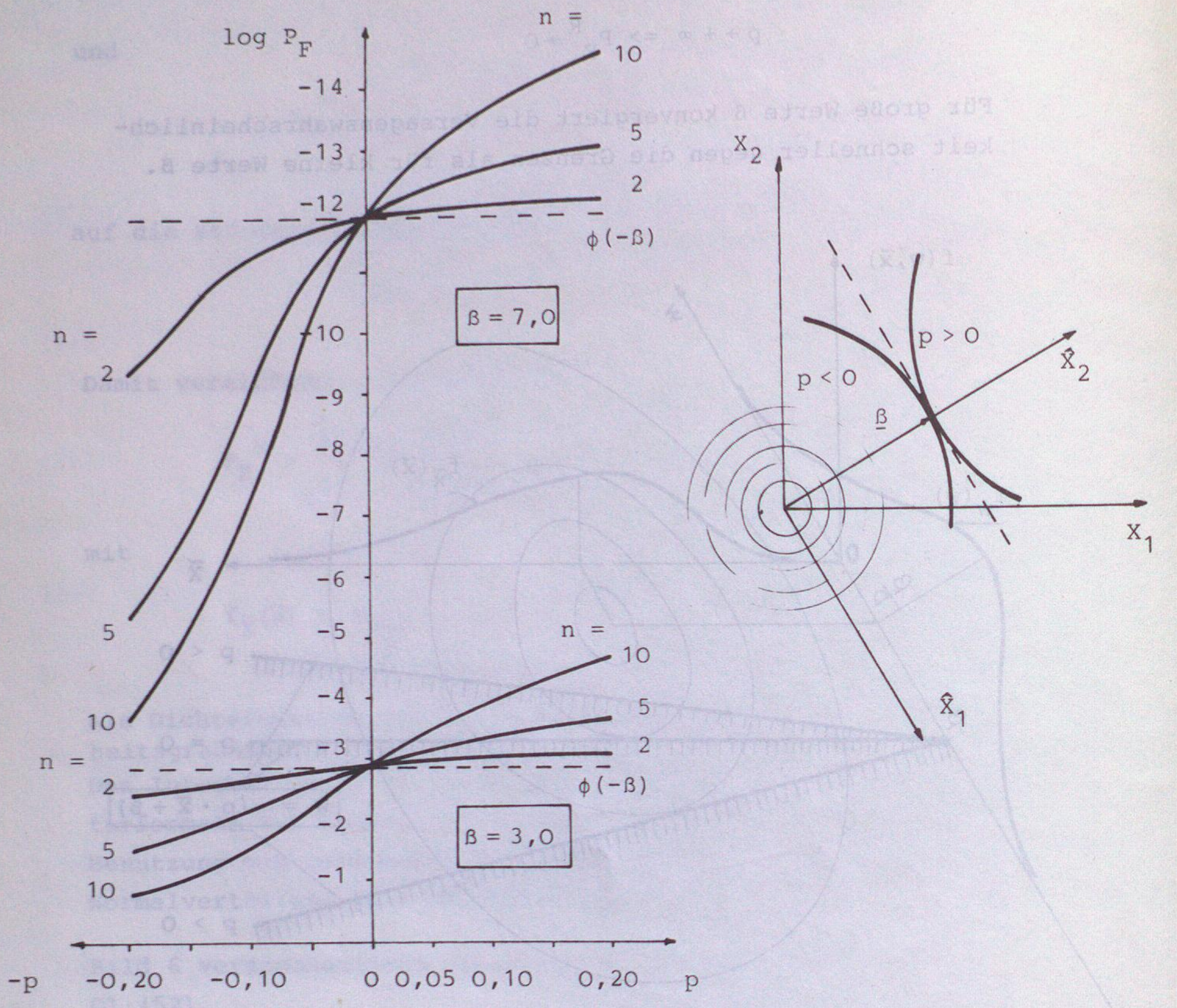


Bild 7: Versagenswahrscheinlichkeit P_F (Parabolische-Chi-Quadratverteilung) in Abhängigkeit von dem Koeffizienten p, dem Freiheitsgrad n und von ß.

In Bild 8 ist die Abweichung der Versagenswahrscheinlichkeit P_F^R von $\Phi(-\beta)$ in einem normierten Diagramm aufgetragen. Es ist zu sehen, daß die Abweichung mit zunehmender Krümmung und zunehmendem Freiheitsgrad (Anzahl des Basisvariablen) der Versagensfunktion anwächst.

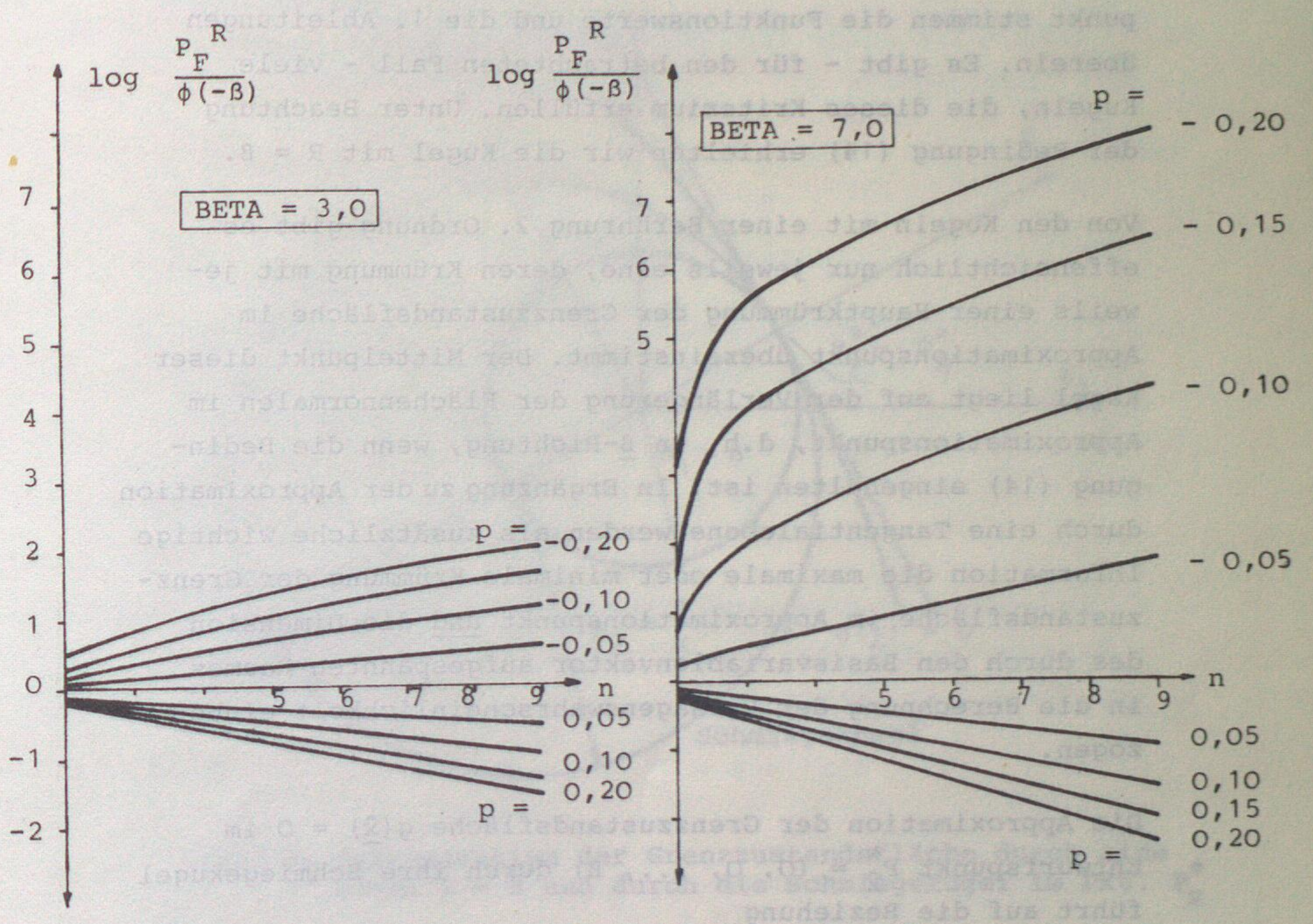


Bild 8: Abhängigkeit des Verhältnisses $P_F^R/\phi(-\beta)$ von der Dimension n und der Krümmung $\kappa = f(p)$ [= 2p (entspr.(42))]

In Anhang A 2 ist Gl.(52) für ß = 2 (0,5) 7, ± p = 1/2R; R = ß(2) 10, 12, 15, 20, 40, 100, 200, 1000 und n = 1(1) 20(2) 20(5) 40, 50 tabellarisch dargestellt.

3.2.2 Approximation der Grenzzustandsgleichung durch ihre Schmiegekugel

3.2.2.1 Ermittlung der Grenzzustandsgleichung

Im Falle der Kugel mit R = ß liegt eine Berührung 1. Ordnung zwischen Kugel und Kurve vor, d.h. im Approximationspunkt stimmen die Funktionswerte und die 1. Ableitungen überein. Es gibt - für den betrachteten Fall - viele Kugeln, die dieses Kriterium erfüllen. Unter Beachtung der Bedingung (14) erhielten wir die Kugel mit R = ß.

Von den Kugeln mit einer Berührung 2. Ordnung gibt es offensichtlich nur jeweils eine, deren Krümmung mit jeweils einer Hauptkrümmung der Grenzzustandsfläche im Approximationspunkt übereinstimmt. Der Mittelpunkt dieser Kugel liegt auf der Verlängerung der Flächennormalen im Approximationspunkt, d.h. in ß-Richtung, wenn die Bedingung (14) eingehalten ist. In Ergänzung zu der Approximation durch eine Tangentialebene werden als zusätzliche wichtige Information die maximale oder minimale Krümmung der Grenzzustandsfläche im Approximationspunkt und die Dimension des durch den Basisvariablenvektor aufgespannten Raumes in die Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit einbezogen.

Die Approximation der Grenzzustandsfläche $g(\underline{\hat{x}}) = 0$ im Entwurfspunkt $P^*_{\hat{x}} = (0, 0, \ldots, ß)$ durch ihre Schmiegekugel führt auf die Beziehung

$$g_k(\underline{\hat{x}}) = \left[\hat{x}_n + (R-ß)\right]^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \hat{x}_i^2 - R^2 = 0 \qquad (54)$$ [1)]

für den konvexen Bereich $g(\underline{y}) \geq 0$ und

$$g_k(\underline{\hat{x}}) = \left[\hat{x}_N - (R+ß)\right]^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \hat{x}_i^2 - R^2 = 0 \qquad (55)$$

für den konvexen Bereich $g(\underline{y}) \leq 0$. Die Form (55) hat aller-

1) In den Gl.(54), (55) und den damit zusammenhängenden Ausführungen ist R als positive Größe aufgefaßt, d.h. $R = \left|\frac{1}{\kappa}\right|$.

dings nur theoretische Bedeutung, da geschlossene Versagensbereiche physikalisch kaum vorstellbar sind.

Bild 9 zeigt die schematische Darstellung der Approximation der Grenzzustandsfläche entsprechend Gl.(18) und Gl.(54).

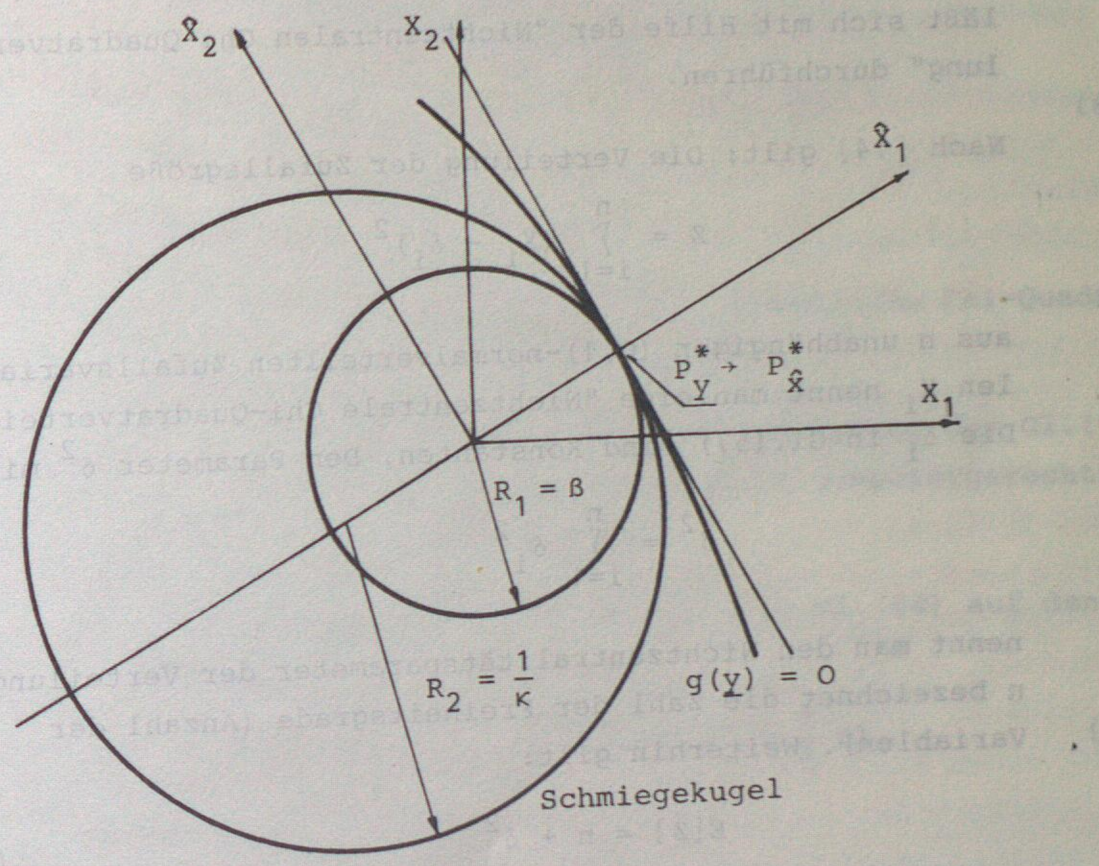


Bild 9: Approximation der Grenzzustandsfläche durch eine Kugel R = ß und durch die Schmiegekugel im Pkt. P^*_x

Der Radius R aus Gl.(54) bzw. Gl.(55) ist der kleinste oder größte Hauptkrümmungsradius der Grenzzustandsfläche $g(\underline{\hat{x}}) = 0$ im Entwurfspunkt $P^*_{\hat{x}} = (0, 0, \ldots, ß)$. Für die Ermittlung des Krümmungsradius $R = \max(R_i) \vee \min(R_i)$ sei nochmals auf die Invarianzeigenschaften bez. des Koordinatensystems hingewiesen.

3.2.2.2 Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit P_F^K

Die Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit

$$P_F^K = \int\limits_{g_K(\hat{\underline{x}}) > 0} \varphi(\hat{\underline{x}})\, d\hat{\underline{x}} \qquad (56)$$

läßt sich mit Hilfe der "Nichtzentralen Chi-Quadratverteilung" durchführen.

Nach [14] gilt: Die Verteilung der Zufallsgröße

$$Z = \sum_{i=1}^{n} (X_i - \delta_i)^2 \qquad (57)$$

aus n unabhängigen (0,1)-normalverteilten Zufallsvariablen X_i nennt man eine "Nichtzentrale Chi-Quadratverteilung". Die δ_i in Gl.(57) sind Konstanten. Den Parameter δ^2 mit

$$\delta^2 = \sum_{i=1}^{n} \delta_i^{\,2} \qquad (58)$$

nennt man den Nichtzentralitätsparameter der Verteilung; n bezeichnet die Zahl der Freiheitsgrade (Anzahl der Variablen). Weiterhin gilt:

$$E[Z] = n + \delta^2 \qquad (59)$$

und

$$Var[Z] = 2n + 4\delta^2 \qquad (60)$$

Entsprechend z.B. Gl.(54) können wir schreiben:

$$Z = \sum_{i=1}^{n-1} \hat{X}_i^2 + [\hat{X}_n - (\beta - R)]^2 \qquad (61)$$

mit dem Nichtzentralitätsparameter

$$\delta^2 = (\beta - R)^2 \qquad (62)$$

und n Freiheitsgraden.

Mit der Dichte der nichtzentralen Chi-Quadratverteilung [12]

$$f_{n,\delta}(z) = \exp\left(-\frac{\delta^2}{2}\right) \sum_{v=0}^{\infty} \frac{\left(\frac{\delta^2}{2}\right)^v}{v!} \cdot f_{2v+n}(z) \qquad (63)$$

läßt sich die Versagenswahrscheinlichkeit P_F^K über die Beziehung

$$P_F^K = 1 - P(Z \leq R^2) = 1 - \int_0^{R^2} f_{n,\delta}(z)\, dz \qquad (64)$$

berechnen.

In Gl.(63) bezeichnet $f_{2v+n}(z)$ die gewöhnliche Chi-Quadratverteilung mit (2v+n) Freiheitsgraden.

Für praktische Berechnungen ist die Auswertung der Gl.(64) ziemlich aufwendig. Man kann jedoch auf computergerechte Entwicklungen zurückgreifen [13].

Für <u>geradzahliges n</u> läßt sich nach [12] Gl.(64) auf den Ausdruck

$$P_F^K = 1 - P(Z < z) = 1 - \phi_P(U - V \geq \frac{1}{2} n) \qquad (65)$$

zurückführen.

In Gl.(65) bezeichnen U und V unabhängige Poisson-Variable mit

$$E[U] = \frac{1}{2} z = \frac{1}{2} R^2 \qquad (66)$$

und

$$E[V] = \frac{1}{2} \delta^2 \qquad (67)$$

Mit Gl.(61) läßt sich Gl.(65) wie folgt entwickeln

$$P_F^K = 1 - \sum_{j=0}^{\infty} \frac{1}{j!} \exp\left(-\frac{1}{2}\delta^2\right) \cdot \left(\frac{1}{2}\delta^2\right)^j \left(1 - \sum_{k=0}^{\frac{1}{2}n+j-1} \frac{1}{k!} \exp\left(-\frac{1}{2}R^2\right) \cdot \left(\frac{1}{2}R^2\right)^k\right) \qquad (68)$$

n = 2,4,6,8, ...)

Gl.(68) läßt sich schon mit einem programmierbaren Taschenrechner bequem auswerten.

Im Anhang A 3 ist Gl.(64) für

β = 2(0.5) 5,

R = β(2) 10, 12, 15, 20, 40, 100, 200, 1000

und n = 1(1) 10 (2) 20 (5) 40, 50

tabellarisch dargestellt. Das folgende Bild 10 zeigt schematisch, entsprechend Gl.(39) und Gl.(54) verschiedene Approximationen einer Grenzzustandsfläche und die jeweils dazugehörigen Versagenswahrscheinlichkeiten P_F.

3.2.3 Approximation der Grenzzustandsgleichung durch ein zweischaliges Rotationshyperboloid bzw. durch ein Rotationsellipsoid

Das zweischalige Rotationshyperboloid und das Rotationsellipsoid sind zwei weitere mögliche Formen der Approximation der Grenzzustandsfläche durch rotationssymmetrische Gebilde. Es sei vorweggenommen, daß die Entwicklung der Gleichung zur Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit auf einen Ausdruck führt, der ebensogut die (quadratische) Normalform der Taylorentwicklung 2. Ordnung der Grenzzustandsfläche $g(\underline{y}) = 0$, Gl.(28), verarbeitet[16]. Die Approximation der Grenzzustandsfläche durch ein zweischaliges Rotationshyperboloid bzw. durch ein Rotationsellipsoid ist deshalb unzweckmäßig und soll im Detail hier nicht weiter verfolgt werden. Der Anhang A 1 enthält dazu einige weitere allgemeine Betrachtungen.

4. Ein verbesserter Sicherheitsindex

Der oft als Hasofer-Lind-Index bezeichnete Sicherheitsindex β charakterisiert im normierten Raum der Basisvariablen die kürzeste Entfernung der Grenzzustandsfläche vom Punkt der Mittelwerte der Basisvariablen. Wie bereits in [8] gezeigt, ist er bezüglich der Versagenswahrscheinlichkeit unterschiedlich informativ - insbesondere dann, wenn

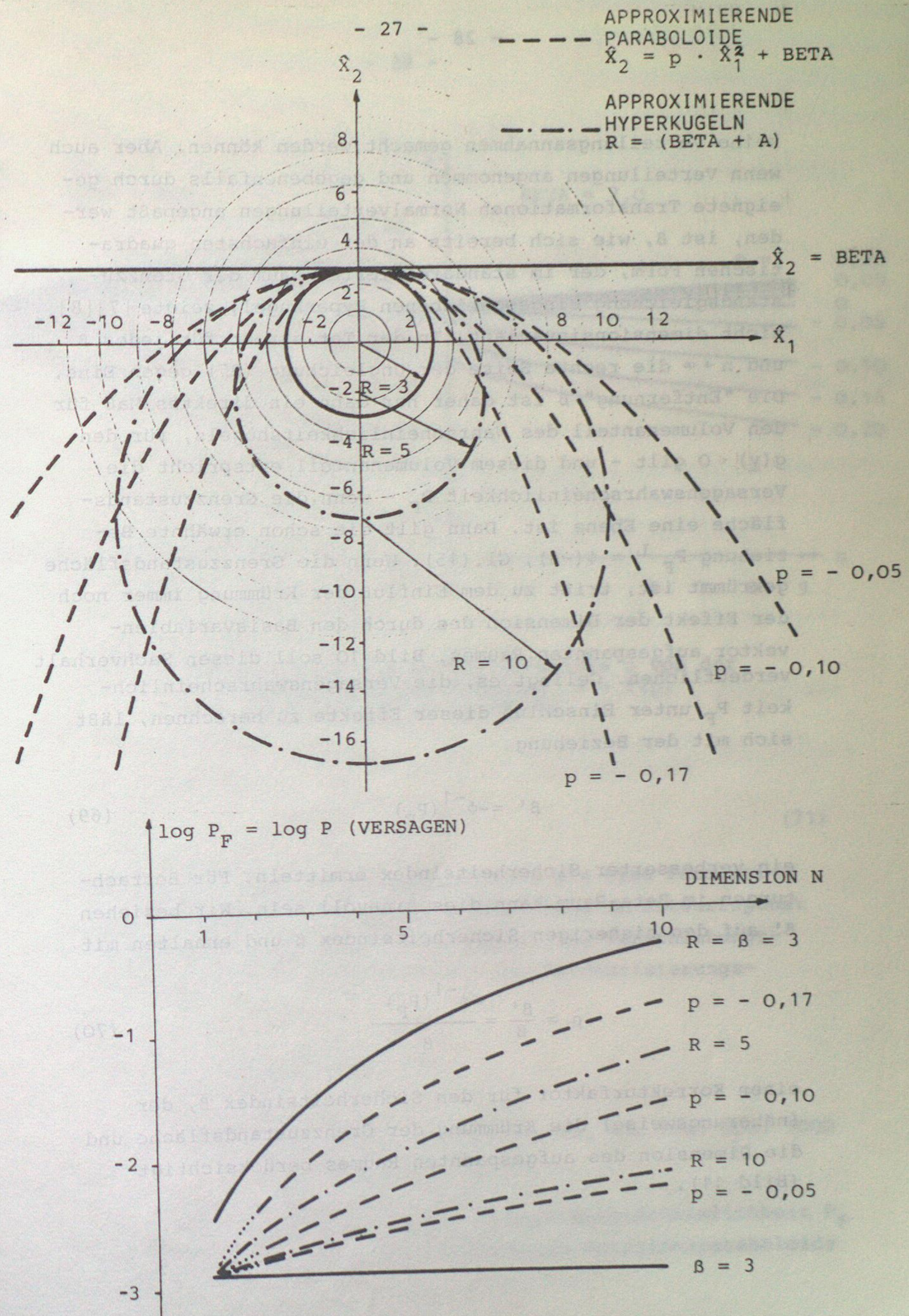


Bild 10: Versagenswahrscheinlichkeit für verschiedene n und unterschiedliche Approximationen (Beta = 3,0)

keine Verteilungsannahmen gemacht werden können. Aber auch wenn Verteilungen angenommen und gegebenenfalls durch geeignete Transformationen Normalverteilungen angepaßt werden, ist ß, wie sich bereits an der einfachsten quadratischen Form, der im standardisierten Raum der Grenzzustandsgleichung eingeschriebenen Hyperkugel, zeigte [7][8], nicht dimensionsinvariant. In der Tat strebt für jedes ß und $n \to \infty$ die rechte Seite der Ungleichung (27) gegen Eins. Die "Entfernung" ß ist daher nur dann ein direktes Maß für den Volumenanteil des Wahrscheinlichkeitshügels, für den $g(\underline{y}) < 0$ gilt - und diesem Volumenanteil entspricht die Grenzzustands-Versagenswahrscheinlichkeit P_F - wenn die Grenzzustandsfläche eine Ebene ist. Dann gilt die schon erwähnte Beziehung $P_F{}^L = \Phi(-\beta)$, Gl.(15). Wenn die Grenzzustandsfläche gekrümmt ist, tritt zu dem Einfluß der Krümmung immer noch der Effekt der Dimension des durch den Basisvariablenvektor aufgespannten Raumes. Bild 10 soll diesen Sachverhalt verdeutlichen. Gelingt es, die Versagenswahrscheinlichkeit P_F unter Einschluß dieser Effekte zu berechnen, läßt sich mit der Beziehung

$$\beta' = -\Phi^{-1}(P_F) \tag{69}$$

ein verbesserter Sicherheitsindex ermitteln. Für Betrachtungen im Beta-Raum kann dies sinnvoll sein. Wir beziehen ß' auf den bisherigen Sicherheitsindex ß und erhalten mit

$$\rho = \frac{\beta'}{\beta} = \frac{-\Phi^{-1}(P_F)}{\beta} \tag{70}$$

einen Korrekturfaktor für den Sicherheitsindex ß, der (näherungsweise) die Krümmung der Grenzzustandsfläche und die Dimension des aufgespannten Raumes berücksichtigt (Bild 11).

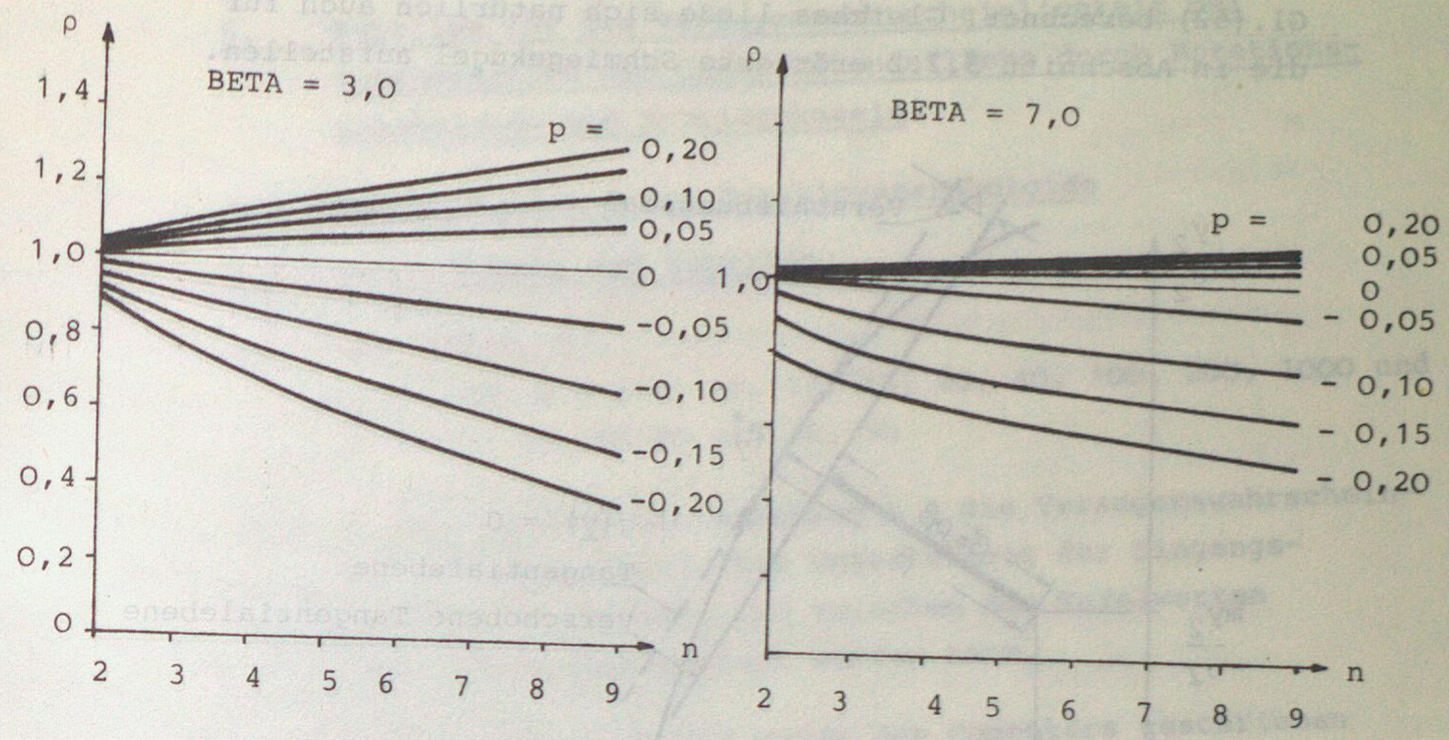


Bild 11: Abhängigkeit des Korrekturfaktors ρ von der Dimension n und der Krümmung $\kappa = f(p)$ [= 2p (entsprechend Gl.(42))]

Die Beziehung

$$\beta' = \rho \cdot \beta \tag{71}$$

läßt sich geometrisch interpretieren als eine Parallelverschiebung der die Grenzzustandsfläche im Entwurfspunkt P_y^* approximierenden Tangentialebene. Das Verschiebungsmaß Δ (Bild 12) veranschaulicht den "Linearisierungsfehler".

Im Anhang 4 ist Gl.(70) für

$\beta = 2(0.5)\ 7,$

$p = 1/2R;\ R = \beta(2)\ 10,\ 12,\ 15,\ 20,\ 40,\ 100,\ 200,\ 1000$

und $n = 1(1)\ 10\ (2)\ 20\ (5)\ 40,\ 50$

tabellarisch dargestellt. Die Versagenswahrscheinlichkeit P_F wurde mit Hilfe eines approximierenden Rotationsparaboloids

Gl.(52) berechnet. Gleiches ließe sich natürlich auch für die in Abschnitt 3.2.2 erörterte Schmiegekugel aufstellen.

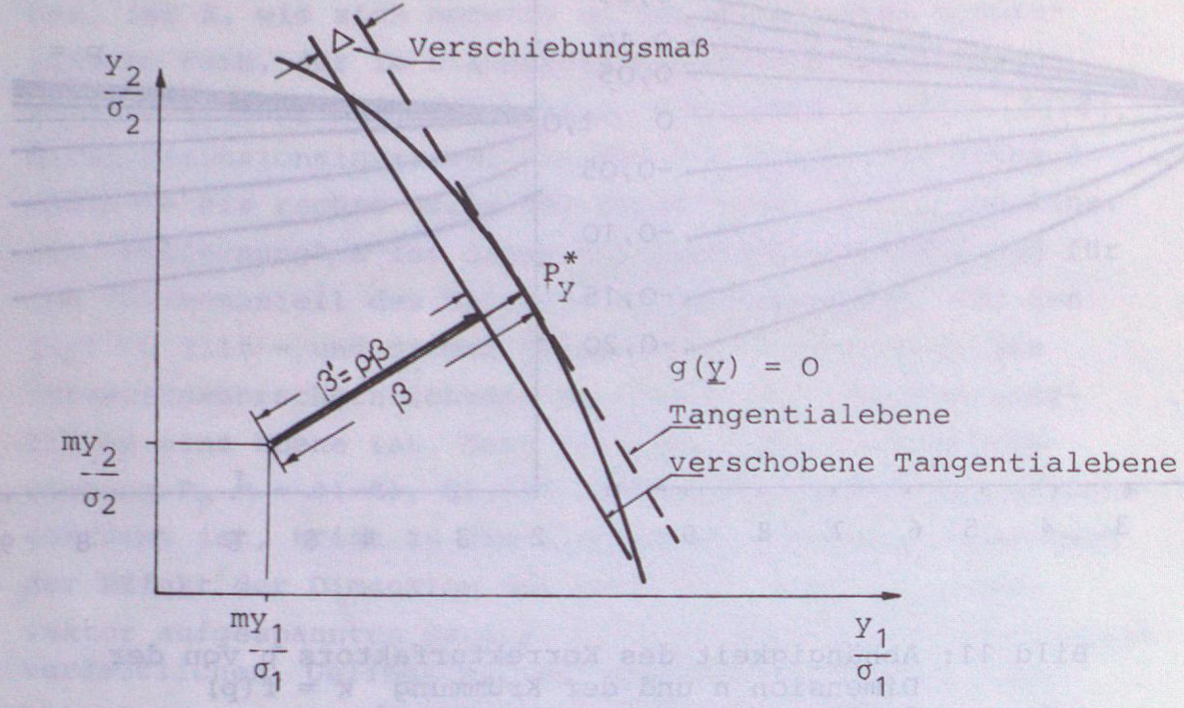


Bild 12: Darstellung des "Linearisierungsfehlers" als Verschiebungsmaß Δ

5. Tabellen für die Versagenswahrscheinlichkeit bei Approximation der Grenzzustandsfläche durch Rotationsparaboloide und Schmiegekugeln

5.1 Approximation durch Rotationsparaboloide

5.1.1 Beschreibung der Tabellen

Für $\beta = 2(0.5)\ 7$,

$\pm\, p = 1/2R;\ R = \beta(2)\ 10,\ 12,\ 15,\ 20,\ 40,\ 100,\ 200,\ 1000$ und

$n = 1(1)\ 10\ (2)\ 20\ (5)\ 40,\ 50$

wird in den Tabellen des Anhanges A 2 die Versagenswahrscheinlichkeit P_F^R dargestellt. Die Unterteilung der Eingangsparameter ist so gewählt, daß zwischen den Tafelwerten möglichst linear interpoliert werden kann.

Da die Tabellen direkt mit Hilfe des Computers geschrieben wurden, ist folgendes zu beachten:

- Zahlen kleiner Null sind ohne Null vor dem Dezimalpunkt geschrieben,
- bei Zahlen in Exponentialdarstellung ist der Buchstabe E identisch mit der Basis 10;
  z.B. $P_F = .522\ E - 01 = 0.522 \cdot 10^{-1}$

5.1.2 Berechnung der Tabellen

Die Versagenswahrscheinlichkeit P_F in den Tabellen des Anhanges A 2 wurde mit Gl.(52) und Gl.(53)

$$P_F^R = \frac{1}{2^{\frac{m}{2}} \cdot \Gamma(\frac{m}{2})} \int_0^\infty \phi(-(p \cdot \tilde{x} + \beta)) \cdot \tilde{x}^{(\frac{m}{2}-1)} \cdot \exp(-\tfrac{1}{2}\tilde{x})\, d\tilde{x} \qquad \text{(A 2.1)}$$

ermittelt.

Das Integral in (A 2.1) wurde mit der Simpson'schen Näherungsformel zur Berechnung von Integralen unter Benutzung einer geeigneten Entwicklung der standardisierten Normalverteilung $\phi(.)$ berechnet (siehe [10]).

5.2 Approximation durch Schmiegekugeln

5.2.1 Beschreibung der Tabellen

Für $\beta = 2(0.5)\ 5$

$R = \beta(2)\ 10,\ 12,\ 15,\ 20,\ 40,\ 100,\ 200,\ 1000$ und

$n = 1(1)\ 10\ (2)\ 20\ (5)\ 40,\ 50$

wird in den Tabellen des Anhanges A 3 das Komplement der Verteilungsfunktion der Nichtzentralen-Chi-Quadratverteilung - dem entspricht die Versagenswahrscheinlichkeit P_F - dargestellt. Bezüglich der Unterteilung der Eingangsparameter und der Zahlendarstellung wird auf Abschnitt 5.1.1 verwiesen.

5.2.2 Berechnung der Tabellen

Zur Berechnung der Tabellenwerte wurden die in [13] beschriebenen Programme verwendet.

5.3 Korrekturfaktor ρ für den Sicherheitsindex β

5.3.1 Beschreibung der Tabellen

Für $\beta = 2(0.5)\ 7,$

$p = 1/2R;\ R = \beta(2)\ 10, 12, 15, 20, 40, 100,\ 200,\ 1000$ und

$n = 1(1)\ 10\ (2)\ 20\ (5)\ 40,\ 50$

wird in den Tabellen des Anhanges A 4 der Korrekturfaktor für die Berechnung eines verbesserten Sicherheitsindexes dargestellt. Bezüglich der Unterteilung der Eingangsparameter und der Zahlendarstellung wird auf Abschnitt 5.1.1 verwiesen.

5.3.2 Berechnung der Tabellen

Der Korrekturfaktor ρ in den Tabellen des Anhanges A 4 wurde mit Gl.(70)

$$\rho = \frac{-\Phi^{-1}(P_F)}{\beta} \qquad \text{(A 4.1)}$$

berechnet. Die Versagenswahrscheinlichkeit P_F in Gl. (A 4.1) wurde mit Gl.(A 2.1) - approximierendes Rotationsparaboloid - ermittelt.

Für Versagenswahrscheinlichkeiten $P_F > 0.5$ ist die Ermittlung eines Korrekturfaktors für die Berechnung eines verbesserten Sicherheitsindexes nicht mehr sinnvoll. Entsprechende Werte $\rho < 0$ sind deshalb in den Tabellen nicht ausgedruckt.

6. Anwendungsbeispiel

6.1 Beschreibung

Ein Stab wird zentrisch durch Zugkräfte L beansprucht (Bild 13). Die Werte für die Festigkeit und den Stabdurchmesser sind wie folgt zufallsverteilt:

Durchmesser: Normalverteilung

$\bar{d} = 3{,}0$ cm

$\sigma_d = 0{,}3$ cm

$V_d = 10\ \%$

Festigkeit: Normalverteilung

$\bar{f} = 2900$ kp cm^{-2}

$\sigma_f = 250$ kp cm^{-2}

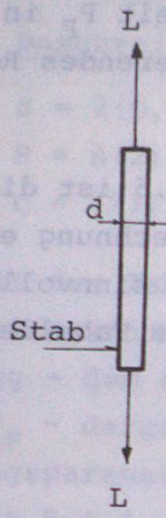
$V_f = 8{,}6\ \%$

Die Grenzzustandsgleichung erhält die Form

$$g(f,\ d) = Z = \frac{1}{4}\pi d^2 \cdot f - L = 0 \qquad (72)$$

Die Grenzzustandsgleichung ist nichtlinear. Für verschiedene Werte L wurden der Sicherheitsindex und die Versagenswahrscheinlichkeit berechnet. Bild 14 zeigt die g-Funktion für verschiedene Werte L. Dem Sicherheitsindex β entspricht die kürzeste Entfernung vom Punkt der Mittelwerte an die jeweilige Kurve. Diesen β-Werten (Spalte 4, Bild 13) ent-

Zugstab:



$$g(f, d) = Z = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot f - L = 0$$

d: Durchmesser

NV, $\bar{d} = 3{,}0$ cm,
$\sigma_d = 0{,}3$ cm
$V_d = 10$ %

f: Materialfestigkeit

NV, $\bar{f} = 2900$ kp cm^{-2}
$\sigma_f = 250$ kp cm^{-2}
$V_f = 8{,}6$ %

L: Last

L	d^*	f^*	ß	$\phi(-ß)$	P_F^R	$P_F^R/\phi(-ß)$	R
kp	cm	kp cm^{-2}					
1	2	3	4	5	6	7	8
12750	2,44	2726	2,00	$2{,}3 \cdot 10^{-2}$	$2{,}4 \cdot 10^{-2}$	1,04	23,7
7500	1,91	2624	3,80	$7{,}2 \cdot 10^{-6}$	$1{,}2 \cdot 10^{-4}$	1,67	26,2
5000	1,56	2600	4,93	$4{,}1 \cdot 10^{-7}$	$8{,}0 \cdot 10^{-7}$	1,95	29,9
1750	0,92	2650	7,01	$1{,}2 \cdot 10^{-12}$	$1{,}4 \cdot 10^{-12}$	1,17	49,8
$\bar{d} = 2{,}94$, $\sigma_d = 0{,}3$ cm, $V_d = 10{,}2$ % $\bar{f} = 1700$ kp cm^{-2}, $\sigma_f = 250$ kp cm^{-2}, $V_f = 14{,}7$ %							
5000	2,24	1271	2,90	$1{,}9 \; 10^{-3}$	$2{,}8 \; 10^{-3}$	1,47	8,8
1750	2,17	475	5,54	$1{,}5 \; 10^{-8}$	$4{,}1 \; 10^{-8}$	2,73	6,6
500	2,81	81	6,49	$4{,}3 \; 10^{-11}$	$4{,}4 \; 10^{-11}$	1,02	45,6

Bild 13

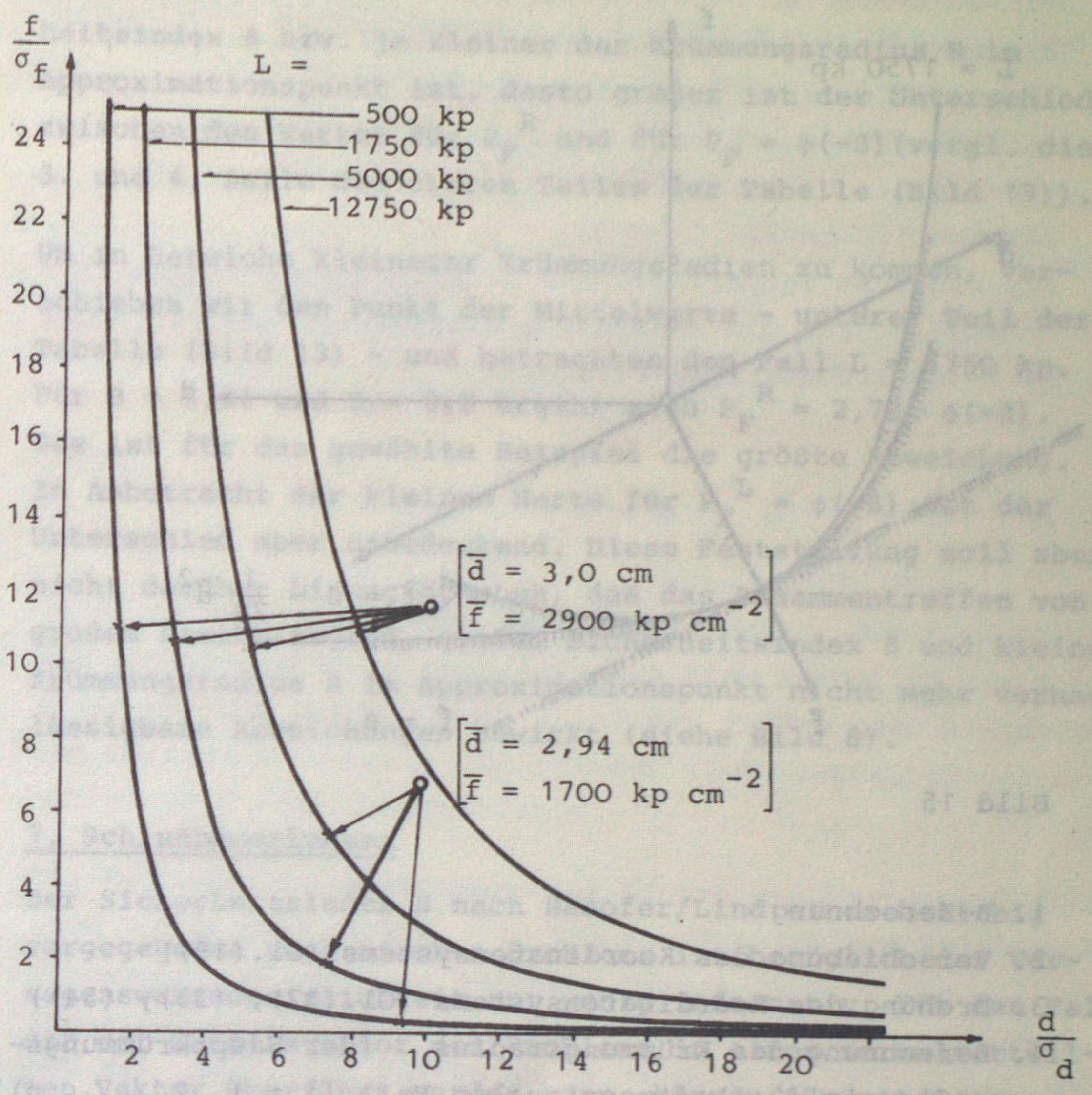


Bild 14

spricht die in Spalte 5 dargestellte Versagenswahrscheinlichkeit $P_F = \phi(-ß)$. Spalte 8 enthält den Krümmungsradius im Approximationspunkt $[d^*, f^*]$ der jeweiligen Kurve. Mit Hilfe der Tafeln für die parabolische Chi-Quadratverteilung können die zugehörigen Werte für die Versagenswahrscheinlichkeit P_F^R in Spalte 6 bestimmt werden.

Mit Bild 15 soll noch einmal das methodische Vorgehen anschaulich dargestellt werden:

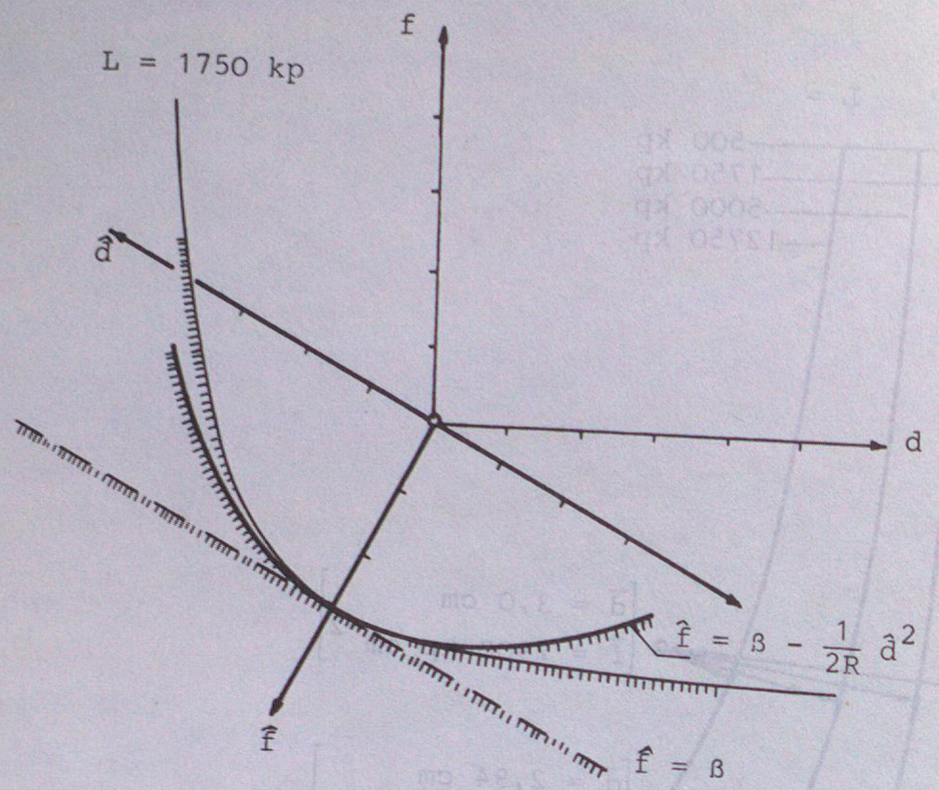


Bild 15

1. ß-Berechnung
2. Verschiebung des Koordinatensystems (Gl.(19))
3. Drehung des Koordinatensystems (Gl.(32), (33), (34))
4. Berechnung des Krümmungsradius (der Hauptkrümmungsradien im (2+i)-dimensionalen Fall (i = 1, 2, ..., n))
5. Approximation durch die Parabel $\hat{f} = \beta - \frac{1}{2R}\hat{d}^2$ (Paraboloid im (2+i)-dimensionalen Fall)
6. Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit mit Hilfe der parabolischen Chi-Quadratverteilung.

6.2 Auswertung

In der Spalte 7 (Bild 13) ist der Quotient $P_F^R/\phi(-\beta)$ dargestellt. Es ist zu erkennen, daß die Abweichungen der Werte für P_F^R von den Werten für $\phi(-\beta)$ bei gleichem Freiheitsgrad sowohl von dem Krümmungsradius im Approximationspunkt als auch vom Sicherheitsindex ß abhängen. Je größer der Sicher-

heitsindex ß bzw. je kleiner der Krümmungsradius R im Approximationspunkt ist, desto größer ist der Unterschied zwischen den Werten für P_F^R und für $P_F = \phi(-\beta)$ (vergl. die 3. und 4. Zeile des oberen Teiles der Tabelle (Bild 13)).

Um in Bereiche kleinerer Krümmungsradien zu kommen, verschieben wir den Punkt der Mittelwerte - unterer Teil der Tabelle (Bild 13) - und betrachten den Fall L = 1750 kp. Für ß = 5,54 und R = 6,6 ergibt sich $P_F^R = 2{,}73 \cdot \phi(-\beta)$. Das ist für das gewählte Beispiel die größte Abweichung. In Anbetracht der kleinen Werte für $P_F^L = \phi(-\beta)$ ist der Unterschied aber unbedeutend. Diese Feststellung soll aber nicht darüber hinwegtäuschen, daß das Zusammentreffen von großem Freiheitsgrad, großem Sicherheitsindex ß und kleinem Krümmungsradius R im Approximationspunkt nicht mehr vernachlässigbare Abweichungen bewirkt (siehe Bild 8).

7. Schlußbemerkungen

Der Sicherheitsindex ß nach Hasofer/Lind eines beliebig vorgegebenen mechanischen Problems ist bezüglich der Versagenswahrscheinlichkeit nur wenig informativ. Für den Fall, daß der Zufallsvektor des Problems in einen normalverteilten Vektor überführt werden kann, können für rotationssymmetrische, quadratische Näherungen der tatsächlichen Grenzzustandsfunktion im Approximationspunkt bedeutende Verbesserungen erreicht werden. Voraussetzung ist, daß die Grenzzustandsbedingung im Approximationspunkt stetig und zweimal differenzierbar ist. Formeln für den Wahrscheinlichkeitsinhalt von Rotationsparaboloiden bzw. von Hyperkugeln mit gleicher Krümmung im Approximationspunkt werden abgeleitet und Tabellen für den Zusammenhang dieser Wahrscheinlichkeit mit dem Sicherheitsindex ß und der Krümmung $\kappa = \frac{1}{R} = f(p)$ angegeben. Zusätzliche Betrachtungen für Rotationsellipsoide und zweischalige Rotationshyperboloide werden angestellt.

Ein verbesserter Sicherheitsindex ß' wird vorgeschlagen. Die Anwendung der Methode ist vornehmlich bei stark nichtlinearen Grenzzustandsbedingungen oder stark von der Normalverteilung abweichenden Komponenten des Zufallsvektors angebracht. Es wird vorgeschlagen, die Methode als Zuverlässigkeitstheorie 2. Ordnung zu bezeichnen. Dabei wurden als einfache Sonderfälle nur rotationssymmetrische Fälle behandelt. Für die Behandlung allgemeiner quadratischer Formeln wird auf [16] verwiesen.

Anhang A 1: Betrachtungen zur Approximation der Grenzzustandsgleichung durch ein zweischaliges Rotationshyperboloid bzw. durch ein Rotationsellipsoid

Für die Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit erhalten wir formal den Ausdruck

$$P_f = P(Q > 1) = \bar{F}_Q(1) \qquad \text{(A 1.1)}$$

mit

$$Q = \frac{\gamma_n}{C}(\hat{x}_n - \lambda_n)^2 + \frac{\gamma}{C}\sum_{i=1}^{n-1} \hat{x}_i^2 \qquad \text{(A 1.2)}$$

In Gl.(A 1.2) entspricht der Koeffizient γ_n dem Eigenwert der approximierenden quadratischen Form bezüglich der X_n-Achse und der Koeffizient γ ist der größte oder kleinste der übrigen Eigenwerte; λ_n^2 ist der Nichtzentralitätsparameter und C ist eine Konstante.

Die Methoden zur Berechnung der Dichte und Verteilungsfunktion von Q sind in [16, 17, 18] ausführlich beschrieben. Man unterscheidet positive definite Formen ($\gamma_i > 0$, $(i = 1, 2, \ldots, n)$) und indefinite Formen ($\gamma_i \lesseqgtr 0$, $(i = 1, 2, \ldots, n)$) sowie Formen mit zentralen Variablen ($\lambda_i = 0$, $(i = 1, 2, \ldots, n)$) und Formen mit nichtzentralen Variablen ($\lambda_i \neq 0$, $(i = 1, 2, \ldots, n)$). Am besten aufbereitet sind positiv definite Formen mit zentralen Variablen, aber auch für nichtzentrale Variable finden sich in der Literatur brauchbare numerische Entwicklungen für $F_Q(x)$ bzw. $\bar{F}_Q(x)$. Relativ unhandlich werden die Ansätze für indefinite Formen mit nichtzentralen Variablen. Doch gerade diese Formen sind für Betrachtungen zur Bauwerkszuverlässigkeit von vorrangigem Interesse. Nach [16] ist eine von Imhof [17] angegebene Form für $\bar{F}_Q(x)$ im allgemeinen gut brauchbar. Da aber numerisch integriert werden muß, wird sie für extreme Parameterkombinationen nicht immer voll befriedigen.

Anhang 2

Tafeln für die Versagenswahrscheinlichkeit

bei Rotationsparaboloiden

(Parabolische Chi-Quadratverteilung)

TAFEL DER PARABOLISCHEN CHIQUADRATVERTEILUNG

Q(D>Z) = 1-F(Z;NUE,P,BETA)

BETA = 2.0

D: = X_N-BETA+PX
Z: = 0
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ(-BETA) = .228E-01

R	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	13.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	.25	.125	.083	.063	.050	.038	.025	.013	.005	.003	.001
NUE											
2	.152E-01	.180E-01	.193E-01	.200E-01	.205E-01	.210E-01	.216E-01	.222E-01	.225E-01	.227E-01	.228E-01
3	.997E-02	.140E-01	.161E-01	.174E-01	.183E-01	.192E-01	.203E-01	.215E-01	.222E-01	.225E-01	.227E-01
4	.642E-02	.108E-01	.134E-01	.151E-01	.163E-01	.175E-01	.191E-01	.207E-01	.219E-01	.222E-01	.226E-01
5	.421E-02	.843E-02	.113E-01	.132E-01	.146E-01	.161E-01	.181E-01	.202E-01	.217E-01	.222E-01	.226E-01
6	.270E-02	.650E-02	.938E-02	.115E-01	.130E-01	.147E-01	.170E-01	.196E-01	.214E-01	.220E-01	.226E-01
7	.171E-02	.498E-02	.778E-02	.994E-02	.116E-01	.134E-01	.161E-01	.191E-01	.212E-01	.219E-01	.225E-01
8	.108E-02	.380E-02	.644E-02	.860E-02	.103E-01	.123E-01	.151E-01	.185E-01	.209E-01	.218E-01	.225E-01
9	.676E-03	.289E-02	.532E-02	.743E-02	.917E-02	.112E-01	.143E-01	.179E-01	.206E-01	.216E-01	.225E-01
10	.420E-03	.219E-02	.438E-02	.641E-02	.814E-02	.102E-01	.134E-01	.174E-01	.204E-01	.215E-01	.224E-01
12	.159E-03	.124E-02	.294E-02	.473E-02	.638E-02	.847E-02	.119E-01	.164E-01	.199E-01	.213E-01	.224E-01
14	.584E-04	.690E-03	.196E-02	.347E-02	.497E-02	.699E-02	.105E-01	.154E-01	.194E-01	.210E-01	.223E-01
16	.209E-04	.378E-03	.129E-02	.253E-02	.386E-02	.575E-02	.927E-02	.145E-01	.190E-01	.207E-01	.223E-01
18	.733E-05	.204E-03	.841E-03	.183E-02	.297E-02	.472E-02	.817E-02	.136E-01	.185E-01	.205E-01	.222E-01
20	.251E-05	.109E-03	.543E-03	.131E-02	.228E-02	.385E-02	.718E-02	.128E-01	.181E-01	.203E-01	.222E-01
25	.157E-06	.212E-04	.174E-03	.556E-03	.115E-02	.229E-02	.517E-02	.109E-01	.170E-01	.197E-01	.220E-01
30	.876E-08	.380E-05	.529E-04	.226E-03	.564E-03	.133E-02	.368E-02	.932E-02	.160E-01	.191E-01	.219E-01
35	.439E-09	.634E-06	.152E-04	.886E-04	.268E-03	.760E-03	.259E-02	.791E-02	.151E-01	.185E-01	.218E-01
40	.200E-10	.986E-07	.416E-05	.333E-04	.123E-03	.424E-03	.181E-02	.670E-02	.141E-01	.180E-01	.217E-01
50	.320E-13	.197E-08	.270E-06	.424E-05	.241E-04	.125E-03	.850E-03	.475E-02	.125E-01	.169E-01	.214E-01

T A F E L D E R P A R A B O L I S C H E N C H I Q U A D R A T V E R T E I L U N G

Q(D>Z) = 1-F(Z!NUE,P,BETA)

D: = X_N-BETA+PX
Z: = 0
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

B E T A = 2.5

Φ (-BETA) = .621E-02

R	2.5	4.0	6.0	8.0	10.0	13.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	.20	.125	.083	.063	.050	.038	.025	.013	.005	.003	.001
N U E											
2	.423E-02	.475E-02	.512E-02	.535E-02	.550E-02	.564E-02	.583E-02	.602E-02	.614E-02	.618E-02	.622E-02
3	.283E-02	.357E-02	.417E-02	.455E-02	.482E-02	.508E-02	.543E-02	.580E-02	.604E-02	.612E-02	.619E-02
4	.187E-02	.267E-02	.339E-02	.387E-02	.421E-02	.457E-02	.505E-02	.557E-02	.593E-02	.605E-02	.615E-02
5	.125E-02	.202E-02	.278E-02	.332E-02	.371E-02	.415E-02	.474E-02	.541E-02	.586E-02	.603E-02	.615E-02
6	.827E-03	.151E-02	.225E-02	.282E-02	.326E-02	.374E-02	.443E-02	.522E-02	.578E-02	.599E-02	.615E-02
7	.542E-03	.112E-02	.183E-02	.240E-02	.285E-02	.337E-02	.413E-02	.504E-02	.570E-02	.594E-02	.614E-02
8	.353E-03	.831E-03	.148E-02	.203E-02	.249E-02	.303E-02	.386E-02	.487E-02	.562E-02	.590E-02	.613E-02
9	.228E-03	.613E-03	.119E-02	.172E-02	.218E-02	.273E-02	.360E-02	.470E-02	.554E-02	.586E-02	.612E-02
10	.147E-03	.451E-03	.955E-03	.145E-02	.190E-02	.245E-02	.335E-02	.453E-02	.546E-02	.581E-02	.611E-02
12	.598E-04	.241E-03	.612E-03	.103E-02	.144E-02	.198E-02	.291E-02	.422E-02	.531E-02	.573E-02	.609E-02
14	.239E-04	.127E-03	.389E-03	.727E-03	.108E-02	.159E-02	.252E-02	.393E-02	.516E-02	.565E-02	.608E-02
16	.933E-05	.656E-04	.244E-03	.509E-03	.812E-03	.127E-02	.218E-02	.366E-02	.501E-02	.557E-02	.606E-02
18	.358E-05	.336E-04	.152E-03	.354E-03	.605E-03	.101E-02	.188E-02	.340E-02	.487E-02	.549E-02	.604E-02
20	.135E-05	.169E-04	.939E-04	.245E-03	.449E-03	.805E-03	.162E-02	.317E-02	.474E-02	.541E-02	.603E-02
25	.109E-06	.290E-05	.270E-04	.944E-04	.209E-03	.447E-03	.111E-02	.263E-02	.441E-02	.523E-02	.599E-02
30	.798E-08	.461E-06	.738E-05	.350E-04	.943E-04	.243E-03	.755E-03	.218E-02	.410E-02	.505E-02	.595E-02
35	.534E-09	.683E-07	.192E-05	.125E-04	.413E-04	.129E-03	.506E-03	.181E-02	.381E-02	.487E-02	.591E-02
40	.330E-10	.950E-08	.474E-06	.432E-05	.176E-04	.676E-04	.336E-03	.149E-02	.354E-02	.470E-02	.587E-02
50	.100E-12	.153E-09	.254E-07	.463E-06	.296E-05	.174E-04	.144E-03	.100E-02	.305E-02	.437E-02	.579E-02

T A F E L D E R P A R A B O L I S C H E N C H I Q U A D R A T V E R T E I L U N G

Q(D>Z) = 1-F(Z!NUE,P,BETA)

D: = X_N-BETA+PX
Z: = 0
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

B E T A = 3.0

Φ (-BETA) = .135E-02

R	3.0	4.0	6.0	8.0	10.0	13.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	.17	.125	.083	.063	.050	.038	.025	.013	.005	.003	.001
N U E											
2	.931E-03	.100E-02	.109E-02	.114E-02	.117E-02	.121E-02	.126E-02	.130E-02	.133E-02	.134E-02	.135E-02
3	.630E-03	.729E-03	.863E-03	.950E-03	.101E-02	.107E-02	.116E-02	.125E-02	.131E-02	.133E-02	.134E-02
4	.422E-03	.527E-03	.683E-03	.790E-03	.868E-03	.951E-03	.107E-02	.119E-02	.128E-02	.131E-02	.134E-02
5	.288E-03	.387E-03	.547E-03	.664E-03	.753E-03	.851E-03	.991E-03	.115E-02	.126E-02	.130E-02	.134E-02
6	.193E-03	.281E-03	.433E-03	.554E-03	.649E-03	.757E-03	.916E-03	.111E-02	.124E-02	.129E-02	.134E-02
7	.129E-03	.203E-03	.343E-03	.461E-03	.558E-03	.673E-03	.847E-03	.106E-02	.122E-02	.128E-02	.133E-02
8	.858E-04	.146E-03	.270E-03	.383E-03	.480E-03	.597E-03	.782E-03	.102E-02	.120E-02	.127E-02	.133E-02
9	.568E-04	.104E-03	.213E-03	.318E-03	.412E-03	.530E-03	.722E-03	.979E-03	.118E-02	.126E-02	.133E-02
10	.374E-04	.746E-04	.167E-03	.263E-03	.353E-03	.470E-03	.667E-03	.940E-03	.116E-02	.125E-02	.133E-02
12	.160E-04	.377E-04	.102E-03	.180E-03	.259E-03	.368E-03	.567E-03	.866E-03	.113E-02	.123E-02	.132E-02
14	.674E-05	.187E-04	.619E-04	.122E-03	.188E-03	.287E-03	.482E-03	.798E-03	.109E-02	.121E-02	.132E-02
16	.279E-05	.921E-05	.372E-04	.821E-04	.137E-03	.224E-03	.409E-03	.735E-03	.105E-02	.119E-02	.131E-02
18	.114E-05	.447E-05	.222E-04	.550E-04	.986E-04	.174E-03	.346E-03	.676E-03	.102E-02	.117E-02	.131E-02
20	.457E-06	.214E-05	.131E-04	.366E-04	.708E-04	.134E-03	.293E-03	.622E-03	.987E-03	.115E-02	.130E-02
25	.439E-07	.324E-06	.339E-05	.129E-04	.304E-04	.696E-04	.191E-03	.504E-03	.908E-03	.111E-02	.129E-02
30	.389E-08	.457E-07	.835E-06	.437E-05	.127E-04	.354E-04	.123E-03	.407E-03	.836E-03	.106E-02	.128E-02
35	.319E-09	.604E-08	.196E-06	.143E-05	.513E-05	.176E-04	.789E-04	.327E-03	.768E-03	.102E-02	.127E-02
40	.244E-10	.753E-09	.441E-07	.452E-06	.203E-05	.863E-05	.499E-04	.263E-03	.706E-03	.977E-03	.126E-02
50	.118E-12	.987E-11	.196E-08	.411E-07	.293E-06	.196E-05	.194E-04	[illegible]	[illegible]	[illegible]	.124E-02

T A F E L   D E R   P A R A B O L I S C H E N   C H I Q U A D R A T V E R T E I L U N G

Q(D>Z) = 1-F(Z!NUE,P,BETA)

D: = X_N-BETA+PX
Z: = 0
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

B E T A = 3.5

Φ (-BETA) = .233E-03

R	3.5	4.0	6.0	8.0	10.0	13.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	.14	.125	.083	.063	.050	.038	.025	.013	.005	.003	.001
NUE											
2	.162E-03	.167E-03	.183E-03	.192E-03	.199E-03	.206E-03	.214E-03	.223E-03	.229E-03	.231E-03	.233E-03
3	.110E-03	.118E-03	.142F-03	.157E-03	.168E-03	.180E-03	.196E-03	.213E-03	.224E-03	.228E-03	.232E-03
4	.747E-04	.829E-04	.109E-03	.128E-03	.142E-03	.157E-03	.178E-03	.202E-03	.219E-03	.225E-03	.230E-03
5	.515E-04	.592E-04	.856E-04	.106E-03	.121E-03	.139E-03	.164E-03	.194E-03	.216E-03	.224E-03	.230E-03
6	.350E-04	.417E-04	.663E-04	.864E-04	.103E-03	.122E-03	.150E-03	.185E-03	.212E-03	.222E-03	.230E-03
7	.237E-04	.293E-04	.512E-04	.705E-04	.869E-04	.107E-03	.137E-03	.177E-03	.208E-03	.220E-03	.230E-03
8	.160E-04	.205E-04	.395E-04	.575E-04	.734E-04	.933E-04	.126E-03	.169E-03	.204E-03	.218E-03	.229E-03
9	.107E-04	.143E-04	.303E-04	.468E-04	.620E-04	.816E-04	.115E-03	.162E-03	.200E-03	.215E-03	.229E-03
10	.717E-05	.991E-05	.233E-04	.380E-04	.523E-04	.714E-04	.105E-03	.154E-03	.197E-03	.213E-03	.228E-03
12	.317E-05	.474E-05	.136E-04	.250E-04	.370E-04	.544E-04	.877E-04	.141E-03	.189E-03	.209E-03	.227E-03
14	.139E-05	.224E-05	.790E-05	.163E-04	.261E-04	.413E-04	.731E-04	.128E-03	.182E-03	.206E-03	.226E-03
16	.597E-06	.104E-05	.455E-05	.106E-04	.183E-04	.313E-04	.608E-04	.117E-03	.176E-03	.202E-03	.225E-03
18	.254E-06	.481E-06	.259E-05	.683E-05	.128E-04	.236E-04	.505E-04	.106E-03	.169E-03	.198E-03	.225E-03
20	.107E-06	.219E-06	.147E-05	.438E-05	.890E-05	.178E-04	.419E-04	.968E-04	.163E-03	.194E-03	.224E-03
25	.116E-07	.294E-07	.343E-06	.141E-05	.352E-05	.863E-05	.260E-04	.763E-04	.148E-03	.185E-03	.222E-03
30	.118E-08	.369E-08	.763E-07	.437E-06	.136E-05	.411E-05	.160E-04	.600E-04	.135E-03	.177E-03	.220F-03
35	.112E-09	.437E-09	.163E-07	.131E-06	.510E-06	.192E-05	.976E-05	.470E-04	.123E-03	.169E-03	.218E-03
40	.100E-10	.489E-10	.332E-08	.382E-07	.187E-06	.880E-06	.589E-05	.367E-04	.111E-03	.161E-03	.216E-03
50	.680E-13	.523E-12	.123E-09	.295E-08	.233E-07	.176E-06	.208E-05	.222E-04	.918E-04	.146E-03	.212E-03

T A F E L   D E R   P A R A B O L I S C H E N   C H I Q U A D R A T V E R T E I L U N G

Q(D>Z) = 1-F(Z!NUE,P,BETA)

D: = X_N-BETA+PX
Z: = 0
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

B E T A = 4.0

Φ (-BETA) = .317E-04

R	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	15.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	.13	.083	.063	.050	.042	.033	.025	.013	.005	.003	.001
NUE											
2	.221E-04	.243E-04	.257E-04	.266E-04	.273E-04	.281E-04	.289E-04	.302E-04	.311E-04	.314E-04	.317E-04
3	.152E-04	.184E-04	.206E-04	.222E-04	.234E-04	.247E-04	.261E-04	.286E-04	.304E-04	.310E-04	.315E-04
4	.104E-04	.139E-04	.165E-04	.184E-04	.199E-04	.216E-04	.236E-04	.271E-04	.296E-04	.306E-04	.313E-04
5	.720E-05	.106E-04	.133E-04	.154E-04	.171E-04	.191E-04	.215E-04	.259E-04	.291E-04	.303E-04	.313F-04
6	.493E-05	.804E-05	.107E-04	.129E-04	.147E-04	.168E-04	.195E-04	.246E-04	.285E-04	.300E-04	.313E-04
7	.336E-05	.607E-05	.855E-05	.107E-04	.125E-04	.148E-04	.177E-04	.234E-04	.279E-04	.297E-04	.312E-04
8	.229E-05	.458E-05	.684F-05	.890E-05	.107E-04	.130E-04	.160E-04	.222E-04	.273E-04	.294E-04	.311E-04
9	.155E-05	.344E-05	.546E-05	.739E-05	.915E-05	.114E-04	.145E-04	.211E-04	.268E-04	.291E-04	.311E-04
10	.105E-05	.258E-05	.436E-05	.613E-05	.780E-05	.100E-04	.131E-04	.200E-04	.262E-04	.288E-04	.310F-04
12	.477E-06	.145E-05	.276E-05	.420E-05	.566E-05	.773E-05	.107E-04	.181E-04	.251E-04	.282E-04	.309E-04
14	.214E-06	.804E-06	.174E-05	.287E-05	.409E-05	.594E-05	.876E-05	.163E-04	.241E-04	.276E-04	.307E-04
16	.949E-07	.444E-06	.109E-05	.195E-05	.295E-05	.455E-05	.715E-05	.147E-04	.231E-04	.270E-04	.306E-04
18	.417E-07	.243E-06	.676E-06	.132E-05	.212E-05	.347E-05	.582E-05	.132E-04	.222E-04	.264E-04	.305E-04
20	.181E-07	.132E-06	.418E-06	.890E-06	.152E-05	.265E-05	.474E-05	.119E-04	.213E-04	.259E-04	.303E-04
25	.216E-08	.278E-07	.123E-06	.326E-06	.648E-06	.133E-05	.281E-05	.914E-05	.191E-04	.246E-04	.300E-04
30	.242E-09	.561E-08	.351E-07	.116E-06	.271E-06	.656E-06	.165E-05	.699E-05	.172E-04	.233E-04	.297E-04
35	.257E-10	.109E-08	.969E-08	.406E-07	.111E-06	.319E-06	.957E-06	.534E-05	.155E-04	.221E-04	.294E-04
40	.259E-11	.203E-09	.259E-08	.138E-07	.448E-07	.153E-06	.551E-06	.406E-05	.139E-04	.210E-04	.291E-04
50	.227E-13	.628E-11	.170E-09	.149E-08	.688E-08	.339E-07	.177E-06	.233E-05	.112E-04	.188E-04	.285E-04

T A F E L   D E R   P A R A B O L I S C H E N   C H I Q U A D R A T V E R T E I L U N G

Q(D>Z) = 1-F(Z!NUE,P,BETA)

T A F E L   D E R   P A R A B O L I S C H E N   C H I Q U A D R A T V E R T E I L U N G

Q(D>Z) = 1-F(Z!NUE,P,BETA)

D: = X_N-BETA*PX
Z: = 0
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

B E T A = 4.5

Φ (-BETA) = .340E-05

NUE	R 4.5	6.0	8.0	10.0	12.0	15.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
	P .11	.083	.063	.050	.042	.033	.025	.013	.005	.003	.001
2	.238E-05	.255E-05	.271E-05	.281E-05	.289E-05	.298E-05	.307E-05	.323E-05	.333E-05	.337E-05	.340E-05
3	.164E-05	.189E-05	.213E-05	.230E-05	.243E-05	.258E-05	.275E-05	.304E-05	.325E-05	.332E-05	.338E-05
4	.113E-05	.139E-05	.167E-05	.188E-05	.204E-05	.224E-05	.246E-05	.286E-05	.316E-05	.327E-05	.336E-05
5	.787E-06	.104E-05	.133E-05	.155E-05	.174E-05	.196E-05	.222E-05	.272E-05	.310E-05	.324E-05	.336E-05
6	.542E-06	.772E-06	.104E-05	.127E-05	.147E-05	.170E-05	.199E-05	.257E-05	.303E-05	.320E-05	.336E-05
7	.373E-06	.571E-06	.820E-06	.104E-05	.124E-05	.148E-05	.179E-05	.243E-05	.296E-05	.317E-05	.335E-05
8	.255E-06	.421E-06	.644E-06	.853E-06	.104E-05	.128E-05	.160E-05	.229E-05	.289E-05	.313E-05	.334E-05
9	.175E-06	.310E-06	.505E-06	.697E-06	.876E-06	.111E-05	.144E-05	.217E-05	.282E-05	.309E-05	.333E-05
10	.119E-06	.228E-06	.395E-06	.569E-06	.736E-06	.967E-06	.129E-05	.205E-05	.276E-05	.305E-05	.332E-05
12	.550E-07	.122E-06	.241E-06	.378E-06	.519E-06	.726E-06	.103E-05	.183E-05	.263E-05	.298E-05	.330E-05
14	.252E-07	.652E-07	.147E-06	.250E-06	.365E-06	.544E-06	.829E-06	.163E-05	.251E-05	.291E-05	.329E-05
16	.114E-07	.345E-07	.885E-07	.165E-06	.256E-06	.407E-06	.664E-06	.145E-05	.240E-05	.285E-05	.327E-05
18	.513E-08	.181E-07	.532E-07	.108E-06	.179E-06	.304E-06	.530E-06	.130E-05	.229E-05	.278E-05	.326E-05
20	.228E-08	.946E-08	.318E-07	.706E-07	.124E-06	.226E-06	.423E-06	.115E-05	.218E-05	.272E-05	.324E-05
25	.291E-09	.181E-08	.858E-08	.240E-07	.497E-07	.107E-06	.239E-06	.863E-06	.194E-05	.256E-05	.321E-05
30	.353E-10	.332E-09	.225E-08	.795E-08	.195E-07	.498E-07	.134E-06	.643E-06	.173E-05	.242E-05	.317E-05
35	.408E-11	.586E-10	.572E-09	.257E-08	.747E-08	.229E-07	.742E-07	.478E-06	.153E-05	.228E-05	.313E-05
40	.451E-12	.997E-11	.141E-09	.814E-09	.282E-08	.104E-07	.408E-07	.354E-06	.136E-05	.215E-05	.310E-05
50	.483E-14	.260E-12	.794E-11	.764E-10	.380E-09	.205E-08	.120E-07	.192E-06	.107E-05	.191E-05	.303E-05

T A F E L   D E R   P A R A B O L I S C H E N   C H I Q U A D R A T V E R T E I L U N G

Q(D>Z) = 1-F(Z!NUE,P,BETA)

D: = X_N-BETA*PX
Z: = 0
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

B E T A = 5.0

Φ(-BETA) = .287E-06

NUE	R 5.0	6.0	8.0	10.0	12.0	15.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
	P .10	.083	.063	.050	.042	.033	.025	.013	.005	.003	.001
2	.202E-06	.211E-06	.224E-06	.234E-06	.241E-06	.248E-06	.257E-06	.271E-06	.281E-06	.284E-06	.287E-06
3	.140E-06	.153E-06	.173E-06	.188E-06	.200E-06	.213E-06	.228E-06	.254E-06	.273E-06	.280E-06	.285E-06
4	.960E-07	.110E-06	.133E-06	.151E-06	.165E-06	.182E-06	.201E-06	.238E-06	.265E-06	.275E-06	.283E-06
5	.673E-07	.808E-07	.104E-06	.123E-06	.139E-06	.157E-06	.180E-06	.225E-06	.259E-06	.272E-06	.283E-06
6	.466E-07	.586E-07	.804E-07	.993E-07	.115E-06	.135E-06	.160E-06	.211E-06	.253E-06	.269E-06	.283E-06
7	.322E-07	.424E-07	.621E-07	.800E-07	.959E-07	.116E-06	.142E-06	.198E-06	.246E-06	.265E-06	.282E-06
8	.222E-07	.306E-07	.479E-07	.644E-07	.796E-07	.997E-07	.127E-06	.187E-06	.240E-06	.262E-06	.281E-06
9	.153E-07	.221E-07	.369E-07	.518E-07	.661E-07	.855E-07	.112E-06	.175E-06	.234E-06	.259E-06	.280E-06
10	.105E-07	.159E-07	.284E-07	.417E-07	.548E-07	.733E-07	.998E-07	.165E-06	.228E-06	.255E-06	.280E-06
12	.490E-08	.819E-08	.167E-07	.268E-07	.376E-07	.538E-07	.786E-07	.146E-06	.217E-06	.249E-06	.278E-06
14	.228E-08	.419E-08	.980E-08	.172E-07	.257E-07	.394E-07	.618E-07	.128E-06	.206E-06	.242E-06	.277E-06
16	.105E-08	.213E-08	.572E-08	.110E-07	.175E-07	.288E-07	.486E-07	.113E-06	.196E-06	.236E-06	.275E-06
18	.480E-09	.108E-08	.332E-08	.700E-08	.119E-07	.210E-07	.381E-07	.999E-07	.186E-06	.230E-06	.274E-06
20	.218E-09	.541E-09	.192E-08	.444E-08	.809E-08	.152E-07	.298E-07	.880E-07	.177E-06	.224E-06	.272E-06
25	.293E-10	.940E-10	.476E-09	.140E-08	.302E-08	.680E-08	.161E-07	.641E-07	.155E-06	.210E-06	.269E-06
30	.377E-11	.157E-10	.115E-09	.431E-09	.111E-08	.300E-08	.858E-08	.465E-07	.136E-06	.197E-06	.266E-06
35	.465E-12	.254E-11	.270E-10	.130E-09	.399E-09	.130E-08	.454E-08	.336E-07	.120E-06	.185E-06	.262E-06
40	.552E-13	.395E-12	.616E-11	.383E-10	.141E-09	.558E-09	.238E-08	.243E-07	.105E-06	.173E-06	.259E-06
50	.693E-15	.868E-14	.297E-12	.313E-11	.168E-10	.987E-10	.639E-09	.125E-07	.809E-07	.152E-06	.253E-06

TAFEL DER PARABOLISCHEN CHIQUADRATVERTEILUNG

Q(D>Z) = 1-F(Z;NUE,P,BETA)

D: = X_N-BETA+PX
Z: = 0
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

B E T A = 5.5

Φ (-BETA) = .190E-07

R	5.5	6.0	8.0	10.0	12.0	15.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	.09	.083	.063	.050	.042	.033	.025	.013	.005	.003	.001
NUE											
2	.134E-07	.137E-07	.146E-07	.153E-07	.157E-07	.163E-07	.169E-07	.179E-07	.186E-07	.188E-07	.190E-07
3	.930E-08	.972E-08	.111E-07	.121E-07	.129E-07	.138E-07	.148E-07	.167E-07	.180E-07	.185E-07	.189E-07
4	.641E-08	.685E-08	.837E-08	.956E-08	.105E-07	.116E-07	.130E-07	.155E-07	.174E-07	.182E-07	.188E-07
5	.451E-08	.493E-08	.642E-08	.766E-08	.870E-08	.996E-08	.115E-07	.146E-07	.170E-07	.180E-07	.188E-07
6	.314E-08	.350E-08	.488E-08	.609E-08	.714E-08	.846E-08	.101E-07	.136E-07	.166E-07	.177E-07	.187E-07
7	.217E-08	.248E-08	.370E-08	.483E-08	.585E-08	.718E-08	.892E-08	.127E-07	.161E-07	.175E-07	.187E-07
8	.150E-08	.176E-08	.280E-08	.383E-08	.480E-08	.609E-08	.786E-08	.119E-07	.157E-07	.172E-07	.186E-07
9	.104E-08	.124E-08	.212E-08	.304E-08	.393E-08	.516E-08	.691E-08	.111E-07	.152E-07	.170E-07	.186E-07
10	.716E-09	.876E-09	.160E-08	.240E-08	.321E-08	.437E-08	.608E-08	.104E-07	.148E-07	.167E-07	.185E-07
12	.339E-09	.434E-09	.914E-09	.150E-08	.215E-08	.314E-08	.470E-08	.910E-08	.140E-07	.163E-07	.184E-07
14	.159E-09	.214E-09	.518E-09	.936E-09	.143E-08	.224E-08	.363E-08	.795E-08	.132E-07	.158E-07	.183E-07
16	.743E-10	.105E-09	.292E-09	.580E-09	.949E-09	.160E-08	.280E-08	.694E-08	.125E-07	.154E-07	.182E-07
18	.344E-10	.509E-10	.164E-09	.359E-09	.628E-09	.114E-08	.215E-08	.605E-08	.119E-07	.150E-07	.181E-07
20	.159E-10	.246E-10	.917E-10	.221E-09	.415E-09	.810E-09	.165E-08	.528E-08	.112E-07	.145E-07	.180E-07
25	.222E-11	.390E-11	.210E-10	.648E-10	.145E-09	.342E-09	.851E-09	.374E-08	.974E-08	.136E-07	.177E-07
30	.300E-12	.596E-12	.468E-11	.186E-10	.499E-10	.142E-09	.434E-09	.264E-08	.847E-08	.126E-07	.175E-07
35	.390E-13	.880E-13	.102E-11	.522E-11	.168E-10	.585E-10	.220E-09	.186E-08	.735E-08	.118E-07	.173E-07
40	.489E-14	.126E-13	.215E-12	.143E-11	.560E-11	.237E-10	.110E-09	.131E-08	.638E-08	.110E-07	.170E-07
50	.698E-16	.234E-15	.892E-14	.102E-12	.588E-12	.376E-11	.270E-10	.641E-09	.480E-08	.952E-08	.166E-07

TAFEL DER PARABOLISCHEN CHIQUADRATVERTEILUNG

Q(D>Z) = 1-F(Z;NUE,P,BETA)

D: = X_N-BETA+PX
Z: = 0
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

B E T A = 6.0

Φ (-BETA) = .990E-09

R	6.0	7.0	8.0	10.0	12.0	15.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	.08	.071	.063	.050	.042	.033	.025	.013	.005	.003	.001
NUE											
2	.698E-09	.725E-09	.747E-09	.782E-09	.808E-09	.837E-09	.869E-09	.925E-09	.964E-09	.978E-09	.990E-09
3	.486E-09	.524E-09	.557E-09	.611E-09	.652E-09	.700E-09	.756E-09	.857E-09	.932E-09	.960E-09	.983E-09
4	.335E-09	.376E-09	.413E-09	.475E-09	.525E-09	.585E-09	.656E-09	.794E-09	.901E-09	.941E-09	.979E-09
5	.237E-09	.276E-09	.312E-09	.375E-09	.429E-09	.494E-09	.576E-09	.742E-09	.878E-09	.931E-09	.977E-09
6	.165E-09	.200E-09	.233E-09	.294E-09	.347E-09	.415E-09	.503E-09	.691E-09	.852E-09	.916E-09	.973E-09
7	.115E-09	.144E-09	.174E-09	.230E-09	.281E-09	.348E-09	.439E-09	.642E-09	.826E-09	.902E-09	.970E-09
8	.795E-10	.104E-09	.129E-09	.179E-09	.227E-09	.292E-09	.383E-09	.597E-09	.802E-09	.889E-09	.967E-09
9	.551E-10	.751E-10	.963E-10	.140E-09	.184E-09	.245E-09	.334E-09	.556E-09	.778E-09	.875E-09	.964E-09
10	.382E-10	.541E-10	.716E-10	.109E-09	.148E-09	.205E-09	.291E-09	.517E-09	.755E-09	.862E-09	.960E-09
12	.182E-10	.279E-10	.394E-10	.663E-10	.964E-10	.144E-09	.221E-09	.447E-09	.711E-09	.836E-09	.954E-09
14	.863E-11	.144E-10	.216E-10	.401E-10	.625E-10	.101E-09	.167E-09	.386E-09	.669E-09	.811E-09	.948E-09
16	.407E-11	.735E-11	.118E-10	.242E-10	.405E-10	.701E-10	.127E-09	.333E-09	.630E-09	.786E-09	.943E-09
18	.191E-11	.374E-11	.642E-11	.145E-10	.261E-10	.488E-10	.956E-10	.288E-09	.593E-09	.763E-09	.937E-09
20	.889E-12	.189E-11	.347E-11	.868E-11	.168E-10	.339E-10	.721E-10	.248E-09	.558E-09	.740E-09	.931E-09
25	.129E-12	.338E-12	.735E-12	.237E-11	.551E-11	.135E-10	.355E-10	.171E-09	.480E-09	.686E-09	.917E-09
30	.180E-13	.587E-13	.151E-12	.634E-12	.178E-11	.534E-11	.173E-10	.118E-09	.412E-09	.635E-09	.904E-09
35	.244E-14	.989E-14	.304E-13	.166E-12	.564E-12	.208E-11	.836E-11	.810E-10	.354E-09	.589E-09	.890E-09
40	.321E-15	.162E-14	.597E-14	.427E-13	.176E-12	.798E-12	.401E-11	.555E-10	.303E-09	.545E-09	.877E-09
50	.508E-17	.404E-16	.214E-15	.267E-14	.164E-13	.114E-12	.898E-12	.258E-10	.223E-09	.467E-09	.851E-09

TAFEL DER PARABOLISCHEN CHIQUADRATVERTEILUNG

Q(D>Z) = 1-F(Z!NUE,P,BETA)

BETA = 6.5

D: = X_N-BETA+PX
Z: = 0
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ (-BETA) = .404E-10

R	6.5	7.0	8.0	10.0	12.0	15.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	.08	.071	.063	.050	.042	.033	.025	.013	.005	.003	.001
NUE											
2	.285E-10	.290E-10	.299E-10	.314E-10	.325E-10	.337E-10	.351E-10	.375E-10	.392E-10	.398E-10	.403E-10
3	.198E-10	.206E-10	.219E-10	.242E-10	.259E-10	.279E-10	.303E-10	.346E-10	.378E-10	.390E-10	.401E-10
4	.137E-10	.145E-10	.160E-10	.185E-10	.206E-10	.230E-10	.260E-10	.319E-10	.365E-10	.382E-10	.398E-10
5	.971E-11	.105E-10	.119E-10	.144E-10	.166E-10	.193E-10	.226E-10	.296E-10	.354E-10	.378E-10	.397E-10
6	.678E-11	.744E-11	.873E-11	.111E-10	.133E-10	.160E-10	.196E-10	.274E-10	.343E-10	.371E-10	.396E-10
7	.472E-11	.528E-11	.641E-11	.857E-11	.106E-10	.133E-10	.169E-10	.254E-10	.332E-10	.365E-10	.395E-10
8	.329E-11	.375E-11	.469E-11	.660E-11	.845E-11	.110E-10	.146E-10	.235E-10	.322E-10	.359E-10	.393E-10
9	.228E-11	.266E-11	.344E-11	.508E-11	.674E-11	.912E-11	.126E-10	.217E-10	.311E-10	.353E-10	.392E-10
10	.159E-11	.188E-11	.251E-11	.390E-11	.537E-11	.755E-11	.109E-10	.201E-10	.301E-10	.348E-10	.391E-10
12	.761E-12	.938E-12	.134E-11	.230E-11	.340E-11	.518E-11	.813E-11	.172E-10	.282E-10	.336E-10	.388E-10
14	.364E-12	.466E-12	.712E-12	.135E-11	.215E-11	.354E-11	.605E-11	.147E-10	.265E-10	.325E-10	.385E-10
16	.173E-12	.230E-12	.377E-12	.792E-12	.136E-11	.242E-11	.450E-11	.126E-10	.248E-10	.315E-10	.383E-10
18	.817E-13	.113E-12	.198E-12	.463E-12	.854E-12	.165E-11	.334E-11	.107E-10	.232E-10	.305E-10	.380E-10
20	.384E-13	.555E-13	.104E-12	.269E-12	.535E-12	.112E-11	.247E-11	.916E-11	.218E-10	.295E-10	.378E-10
25	.571E-14	.913E-14	.204E-13	.686E-13	.165E-12	.423E-12	.116E-11	.616E-11	.185E-10	.272E-10	.372E-10
30	.825E-15	.146E-14	.389E-14	.171E-13	.500E-13	.158E-12	.542E-12	.413E-11	.157E-10	.250E-10	.366E-10
35	.116E-15	.228E-15	.726E-15	.420E-14	.149E-13	.582E-13	.250E-12	.276E-11	.133E-10	.230E-10	.360E-10
40	.158E-16	.346E-16	.132E-15	.101E-14	.439E-14	.212E-13	.115E-12	.184E-11	.113E-10	.212E-10	.354E-10
50	.272E-18	.741E-18	.411E-17	.553E-16	.363E-15	.272E-14	.236E-13	.814E-12	.812E-11	.180E-10	.343E-10

TAFEL DER PARABOLISCHEN CHIQUADRATVERTEILUNG

Q(D>Z) = 1-F(Z!NUE,P,BETA)

BETA = 7.0

D: = X_N-BETA+PX
Z: = 0
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ (-BETA) = .129E-11

R	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0	15.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	.07	.063	.056	.050	.042	.033	.025	.013	.005	.003	.001
NUE											
2	.910E-12	.940E-12	.966E-12	.988E-12	.102E-11	.106E-11	.111E-11	.119E-11	.125E-11	.127E-11	.129E-11
3	.635E-12	.678E-12	.716E-12	.749E-12	.806E-12	.871E-12	.948E-12	.109E-11	.120E-11	.124E-11	.128E-11
4	.440E-12	.486E-12	.528E-12	.566E-12	.632E-12	.711E-12	.808E-12	.100E-11	.116E-11	.122E-11	.127E-11
5	.311E-12	.355E-12	.396E-12	.434E-12	.503E-12	.588E-12	.697E-12	.926E-12	.112E-11	.120E-11	.127E-11
6	.218E-12	.257E-12	.295E-12	.330E-12	.397E-12	.483E-12	.597E-12	.853E-12	.108E-11	.118E-11	.126E-11
7	.152E-12	.186E-12	.219E-12	.251E-12	.313E-12	.396E-12	.512E-12	.785E-12	.105E-11	.116E-11	.126E-11
8	.106E-12	.134E-12	.162E-12	.191E-12	.246E-12	.325E-12	.438E-12	.722E-12	.101E-11	.114E-11	.125E-11
9	.739E-13	.964E-13	.120E-12	.145E-12	.194E-12	.266E-12	.375E-12	.665E-12	.976E-12	.112E-11	.125E-11
10	.514E-13	.694E-13	.890E-13	.110E-12	.153E-12	.218E-12	.321E-12	.612E-12	.942E-12	.110E-11	.124E-11
12	.248E-13	.359E-13	.487E-13	.629E-13	.944E-13	.146E-12	.235E-12	.518E-12	.879E-12	.106E-11	.123E-11
14	.119E-13	.185E-13	.265E-13	.359E-13	.582E-13	.979E-13	.172E-12	.438E-12	.820E-12	.102E-11	.123E-11
16	.570E-14	.947E-14	.144E-13	.205E-13	.358E-13	.654E-13	.125E-12	.371E-12	.765E-12	.987E-12	.122E-11
18	.271E-14	.484E-14	.779E-14	.116E-13	.220E-13	.436E-13	.914E-13	.314E-12	.714E-12	.953E-12	.121E-11
20	.129E-14	.246E-14	.420E-14	.658E-14	.134E-13	.290E-13	.665E-13	.265E-12	.666E-12	.920E-12	.120E-11
25	.196E-15	.447E-15	.883E-15	.157E-14	.390E-14	.104E-13	.299E-13	.174E-12	.559E-12	.843E-12	.118E-11
30	.289E-16	.792E-16	.182E-15	.366E-15	.111E-14	.367E-14	.133E-13	.113E-12	.469E-12	.772E-12	.116E-11
35	.418E-17	.137E-16	.368E-16	.840E-16	.313E-15	.128E-14	.590E-14	.740E-13	.394E-12	.707E-12	.114E-11
40	.589E-18	.233E-17	.728E-17	.189E-16	.866E-16	.444E-15	.259E-14	.481E-13	.330E-12	.647E-12	.112E-11
50	.109E-19	.630E-19	.269E-18	.913E-18	[illegible]	[illegible]	[illegible]89E-15	.202E-13	.232E-12	.542E-12	.108E-11

TAFEL DER PARABOLISCHEN CHIQUADRATVERTEILUNG

Q(D>Z) = 1-F(Z!NUE,P,BETA)

BETA = 2.0

D: = X_N-BETA+PX
Z: = 0
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ (-BETA) = .228E-01

NUE \ R	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	13.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	-.25	-.125	-.083	-.063	-.050	-.038	-.025	-.013	-.005	-.003	-.001
2	.500E-01	.324E-01	.285E-01	.268E-01	.259E-01	.251E-01	.242E-01	.235E-01	.231E-01	.229E-01	.228E-01
3	.897E-01	.451E-01	.353E-01	.314E-01	.293E-01	.276E-01	.257E-01	.241E-01	.233E-01	.230E-01	.228E-01
4	.139E+00	.602E-01	.431E-01	.365E-01	.330E-01	.301E-01	.272E-01	.248E-01	.235E-01	.230E-01	.228E-01
5	.197E+00	.784E-01	.523E-01	.423E-01	.372E-01	.331E-01	.289E-01	.256E-01	.238E-01	.233E-01	.228E-01
6	.262E+00	.996E-01	.626E-01	.487E-01	.417E-01	.362E-01	.307E-01	.264E-01	.241E-01	.234E-01	.228E-01
7	.331E+00	.124E+00	.742E-01	.558E-01	.467E-01	.395E-01	.325E-01	.271E-01	.244E-01	.235E-01	.229E-01
8	.403E+00	.151E+00	.873E-01	.636E-01	.520E-01	.431E-01	.344E-01	.279E-01	.247E-01	.236E-01	.229E-01
9	.475E+00	.181E+00	.102E+00	.721E-01	.579E-01	.469E-01	.364E-01	.287E-01	.249E-01	.238E-01	.229E-01
10	.544E+00	.214E+00	.118E+00	.815E-01	.641E-01	.509E-01	.385E-01	.296E-01	.252E-01	.239E-01	.229E-01
12	.670E+00	.286E+00	.154E+00	.103E+00	.782E-01	.598E-01	.430E-01	.313E-01	.258E-01	.242E-01	.230E-01
14	.773E+00	.365E+00	.196E+00	.127E+00	.943E-01	.698E-01	.479E-01	.332E-01	.264E-01	.245E-01	.230E-01
16	.851E+00	.447E+00	.243E+00	.155E+00	.113E+00	.811E-01	.533E-01	.351E-01	.270E-01	.248E-01	.231E-01
18	.906E+00	.528E+00	.294E+00	.186E+00	.133E+00	.935E-01	.591E-01	.371E-01	.277E-01	.251E-01	.231E-01
20	.942E+00	.606E+00	.349E+00	.221E+00	.156E+00	.107E+00	.654E-01	.392E-01	.283E-01	.254E-01	.232E-01
25	.984E+00	.770E+00	.492E+00	.319E+00	.222E+00	.148E+00	.833E-01	.449E-01	.300E-01	.261E-01	.233E-01
30	.995E+00	.881E+00	.631E+00	.428E+00	.300E+00	.196E+00	.105E+00	.513E-01	.318E-01	.269E-01	.235E-01
35	.998E+00	.945E+00	.750E+00	.539E+00	.387E+00	.253E+00	.129E+00	.584E-01	.336E-01	.277E-01	.236E-01
40	.998E+00	.977E+00	.842E+00	.645E+00	.478E+00	.316E+00	.158E+00	.662E-01	.356E-01	.285E-01	.238E-01
50	.999E+00	.996E+00	.948E+00	.816E+00	.654E+00	.455E+00	.225E+00	.841E-01	.397E-01	.302E-01	.241E-01

TAFEL DER PARABOLISCHEN CHIQUADRATVERTEILUNG

Q(D>Z) = 1-F(Z!NUE,P,BETA)

BETA = 2.5

D: = X_N-BETA+PX
Z: = 0
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ (-BETA) = .621E-02

NUE \ R	2.5	4.0	6.0	8.0	10.0	13.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	-.20	-.125	-.083	-.063	-.050	-.038	-.025	-.013	-.005	-.003	-.001
2	.142E-01	.979E-02	.821E-02	.759E-02	.726E-02	.699E-02	.670E-02	.645E-02	.631E-02	.627E-02	.623E-02
3	.276E-01	.150E-01	.108E-01	.925E-02	.847E-02	.784E-02	.719E-02	.667E-02	.638E-02	.629E-02	.623E-02
4	.461E-01	.217E-01	.139E-01	.111E-01	.981E-02	.876E-02	.771E-02	.688E-02	.645E-02	.631E-02	.623E-02
5	.706E-01	.304E-01	.176E-01	.134E-01	.114E-01	.981E-02	.831E-02	.716E-02	.656E-02	.638E-02	.623E-02
6	.101E+00	.412E-01	.221E-01	.159E-01	.131E-01	.109E-01	.892E-02	.741E-02	.665E-02	.642E-02	.624E-02
7	.138E+00	.544E-01	.274E-01	.189E-01	.150E-01	.122E-01	.956E-02	.767E-02	.674E-02	.646E-02	.625E-02
8	.181E+00	.703E-01	.336E-01	.222E-01	.172E-01	.135E-01	.103E-01	.795E-02	.684E-02	.651E-02	.626E-02
9	.229E+00	.889E-01	.408E-01	.260E-01	.196E-01	.150E-01	.110E-01	.823E-02	.693E-02	.655E-02	.626E-02
10	.281E+00	.110E+00	.492E-01	.303E-01	.223E-01	.166E-01	.118E-01	.852E-02	.703E-02	.660E-02	.627E-02
12	.393E+00	.162E+00	.693E-01	.406E-01	.286E-01	.203E-01	.135E-01	.912E-02	.723E-02	.669E-02	.629E-02
14	.507E+00	.223E+00	.947E-01	.533E-01	.361E-01	.246E-01	.154E-01	.977E-02	.743E-02	.678E-02	.630E-02
16	.614E+00	.293E+00	.125E+00	.688E-01	.452E-01	.296E-01	.175E-01	.105E-01	.764E-02	.688E-02	.632E-02
18	.709E+00	.369E+00	.162E+00	.872E-01	.559E-01	.355E-01	.198E-01	.112E-01	.785E-02	.697E-02	.634E-02
20	.788E+00	.448E+00	.203E+00	.109E+00	.685E-01	.422E-01	.225E-01	.120E-01	.808E-02	.707E-02	.636E-02
25	.917E+00	.637E+00	.326E+00	.177E+00	.108E+00	.632E-01	.304E-01	.141E-01	.865E-02	.733E-02	.640E-02
30	.972E+00	.789E+00	.464E+00	.264E+00	.161E+00	.912E-01	.403E-01	.166E-01	.927E-02	.759E-02	.645E-02
35	.991E+00	.890E+00	.601E+00	.365E+00	.227E+00	.127E+00	.527E-01	.194E-01	.993E-02	.786E-02	.650E-02
40	.997E+00	.949E+00	.723E+00	.473E+00	.305E+00	.171E+00	.679E-01	.227E-01	.106E-01	.814E-02	.655E-02
50	.999E+00	.991E+00	.890E+00	.680E+00	.479E+00	.281E+00	.108E+00	.305E-01	.121E-01	.872E-02	.665E-02

TAFEL DER PARABOLISCHEN CHIQUADRATVERTEILUNG

Q(D>Z) = 1-F(Z;NUE,P,BETA)

TAFEL DER PARABOLISCHEN CHIQUADRATVERTEILUNG

BETA = 3.0

Q(D>Z) = 1-F(Z;NUE,P,BETA)

D: = X_N-BETA+PX
Z: = 0
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ (-BETA) = .135E-02

R	3.0	4.0	6.0	8.0	10.0	13.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	-.17	-.125	-.083	-.063	-.050	-.038	-.025	-.013	-.005	-.003	-.001
NUE											
2	.316E-02	.240E-02	.190E-02	.172E-02	.163E-02	.155E-02	.147E-02	.141E-02	.138E-02	.136E-02	.136E-02
3	.662E-02	.413E-02	.266E-02	.219E-02	.196E-02	.178E-02	.161E-02	.147E-02	.139E-02	.137E-02	.136E-02
4	.118E-01	.653E-02	.362E-02	.274E-02	.234E-02	.203E-02	.174E-02	.152E-02	.141E-02	.138E-02	.136E-02
5	.193E-01	.990E-02	.485E-02	.342E-02	.279E-02	.233E-02	.190E-02	.159E-02	.144E-02	.139E-02	.136E-02
6	.297E-01	.144E-01	.640E-02	.423E-02	.331E-02	.265E-02	.207E-02	.166E-02	.146E-02	.140E-02	.136E-02
7	.434E-01	.204E-01	.834E-02	.519E-02	.391E-02	.302E-02	.225E-02	.173E-02	.149E-02	.141E-02	.136E-02
8	.610E-01	.280E-01	.107E-01	.633E-02	.459E-02	.342E-02	.244E-02	.180E-02	.151E-02	.143E-02	.136E-02
9	.826E-01	.376E-01	.136E-01	.768E-02	.539E-02	.388E-02	.265E-02	.188E-02	.154E-02	.144E-02	.136E-02
10	.108E+00	.493E-01	.171E-01	.926E-02	.629E-02	.438E-02	.287E-02	.196E-02	.156E-02	.145E-02	.137E-02
12	.172E+00	.798E-01	.262E-01	.132E-01	.850E-02	.557E-02	.337E-02	.212E-02	.161E-02	.147E-02	.137E-02
14	.251E+00	.120E+00	.387E-01	.185E-01	.113E-01	.702E-02	.395E-02	.230E-02	.167E-02	.150E-02	.137E-02
16	.340E+00	.171E+00	.552E-01	.254E-01	.149E-01	.880E-02	.461E-02	.249E-02	.172E-02	.152E-02	.138E-02
18	.434E+00	.232E+00	.762E-01	.341E-01	.194E-01	.109E-01	.537E-02	.270E-02	.178E-02	.155E-02	.138E-02
20	.528E+00	.300E+00	.102E+00	.450E-01	.249E-01	.135E-01	.623E-02	.292E-02	.184E-02	.157E-02	.139E-02
25	.735E+00	.487E+00	.189E+00	.834E-01	.441E-01	.222E-01	.895E-02	.355E-02	.199E-02	.164E-02	.140E-02
30	.874E+00	.665E+00	.305E+00	.140E+00	.731E-01	.350E-01	.126E-01	.430E-02	.216E-02	.171E-02	.141E-02
35	.948E+00	.805E+00	.438E+00	.215E+00	.114E+00	.531E-01	.175E-01	.519E-02	.234E-02	.178E-02	.142E-02
40	.981E+00	.899E+00	.573E+00	.307E+00	.167E+00	.774E-01	.239E-01	.623E-02	.253E-02	.185E-02	.144E-02
50	.997E+00	.979E+00	.796E+00	.516E+00	.308E+00	.148E+00	.424E-01	.889E-02	.296E-02	.201E-02	.146E-02

TAFEL DER PARABOLISCHEN CHIQUADRATVERTEILUNG

BETA = 3.5

Q(D>Z) = 1-F(Z;NUE,P,BETA)

D: = X_N-BETA+PX
Z: = 0
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ (-BETA) = .233E-03

R	3.5	4.0	6.0	8.0	10.0	13.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	-.14	-.125	-.083	-.063	-.050	-.038	-.025	-.013	-.005	-.003	-.001
NUE											
2	.554E-03	.475E-03	.351E-03	.310E-03	.290E-03	.274E-03	.258E-03	.245E-03	.238E-03	.235E-03	.234E-03
3	.123E-02	.939E-03	.529E-03	.413E-03	.361E-03	.322E-03	.285E-03	.256E-03	.241E-03	.237E-03	.234E-03
4	.230E-02	.164E-02	.765E-03	.540E-03	.445E-03	.376E-03	.313E-03	.268E-03	.245E-03	.238E-03	.234E-03
5	.399E-02	.271E-02	.109E-02	.702E-03	.548E-03	.440E-03	.347E-03	.282E-03	.251E-03	.241E-03	.234E-03
6	.652E-02	.428E-02	.152E-02	.904E-03	.669E-03	.513E-03	.382E-03	.296E-03	.255E-03	.243E-03	.234E-03
7	.102E-01	.651E-02	.208E-02	.115E-02	.815E-03	.596E-03	.421E-03	.310E-03	.260E-03	.246E-03	.235E-03
8	.152E-01	.958E-02	.282E-02	.146E-02	.987E-03	.692E-03	.463E-03	.325E-03	.265E-03	.248E-03	.235E-03
9	.219E-01	.137E-01	.376E-02	.184E-02	.119E-02	.801E-03	.509E-03	.340E-03	.270E-03	.250E-03	.236E-03
10	.307E-01	.190E-01	.495E-02	.230E-02	.143E-02	.925E-03	.560E-03	.357E-03	.275E-03	.252E-03	.236E-03
12	.554E-01	.344E-01	.830E-02	.353E-02	.205E-02	.123E-02	.675E-03	.392E-03	.285E-03	.257E-03	.237E-03
14	.911E-01	.572E-01	.133E-01	.528E-02	.288E-02	.161E-02	.811E-03	.430E-03	.296E-03	.262E-03	.238E-03
16	.139E+00	.889E-01	.206E-01	.773E-02	.400E-02	.211E-02	.972E-03	.472E-03	.307E-03	.267E-03	.238E-03
18	.198E+00	.130E+00	.306E-01	.111E-01	.548E-02	.273E-02	.116E-02	.518E-03	.319E-03	.272E-03	.239E-03
20	.266E+00	.181E+00	.441E-01	.155E-01	.741E-02	.351E-02	.139E-02	.567E-03	.331E-03	.277E-03	.240E-03
25	.464E+00	.341E+00	.958E-01	.332E-01	.149E-01	.637E-02	.212E-02	.712E-03	.364E-03	.290E-03	.243E-03
30	.657E+00	.523E+00	.177E+00	.634E-01	.277E-01	.110E-01	.319E-02	.889E-03	.399E-03	.304E-03	.245E-03
35	.807E+00	.691E+00	.285E+00	.110E+00	.479E-01	.183E-01	.471E-02	.111E-02	.437E-03	.319E-03	.247E-03
40	.905E+00	.820E+00	.412E+00	.174E+00	.778E-01	.291E-01	.683E-02	.137E-02	.479E-03	.334E-03	.250E-03
50	.983E+00	.955E+00	.668E+00	.351E+00	.172E+00	.655E-01	.136E-01	.208E-02	.574E-03	.367E-03	.255E-03

TAFEL DER PARABOLISCHEN CHIQUADRATVERTEILUNG

Q(D>Z) = 1-F(Z!NUE,P,BETA)

BETA = 4.0

D: = X_N-BETA+PX
Z: = 0
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ (-BETA) = .317E-04

NUE \ R	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	15.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	-.13	-.083	-.063	-.050	-.042	-.033	-.025	-.013	-.005	-.003	-.001
2	.764E-04	.516E-04	.443E-04	.409E-04	.389E-04	.372E-04	.356E-04	.335E-04	.324E-04	.321E-04	.318E-04
3	.178E-03	.846E-04	.622E-04	.529E-04	.478E-04	.436E-04	.399E-04	.353E-04	.330E-04	.323E-04	.318E-04
4	.346E-03	.131E-03	.852E-04	.674E-04	.582E-04	.507E-04	.446E-04	.372E-04	.336E-04	.326E-04	.319E-04
5	.627E-03	.198E-03	.116E-03	.857E-04	.710E-04	.593E-04	.500E-04	.394E-04	.345E-04	.330E-04	.319E-04
6	.108E-02	.293E-03	.155E-03	.108E-03	.860E-04	.690E-04	.559E-04	.416E-04	.352E-04	.333E-04	.320E-04
7	.177E-02	.426E-03	.207E-03	.136E-03	.104E-03	.801E-04	.624E-04	.439E-04	.359E-04	.337E-04	.320E-04
8	.280E-02	.608E-03	.273E-03	.170E-03	.125E-03	.929E-04	.697E-04	.463E-04	.367E-04	.340E-04	.321E-04
9	.427E-02	.855E-03	.357E-03	.212E-03	.150E-03	.108E-03	.777E-04	.488E-04	.375E-04	.344E-04	.321E-04
10	.634E-02	.118E-02	.464E-03	.262E-03	.180E-03	.124E-03	.866E-04	.515E-04	.383E-04	.347E-04	.322E-04
12	.129E-01	.219E-02	.767E-03	.398E-03	.256E-03	.165E-03	.107E-03	.573E-04	.399E-04	.355E-04	.323E-04
14	.239E-01	.384E-02	.123E-02	.594E-03	.361E-03	.218E-03	.133E-03	.637E-04	.416E-04	.362E-04	.325E-04
16	.408E-01	.647E-02	.194E-02	.873E-03	.503E-03	.287E-03	.163E-03	.708E-04	.434E-04	.370E-04	.326E-04
18	.651E-01	.104E-01	.297E-02	.126E-02	.694E-03	.375E-03	.201E-03	.786E-04	.453E-04	.378E-04	.327E-04
20	.978E-01	.162E-01	.444E-02	.181E-02	.949E-03	.487E-03	.246E-03	.873E-04	.473E-04	.386E-04	.329E-04
25	.217E+00	.419E-01	.111E-01	.413E-02	.199E-02	.912E-03	.402E-03	.113E-03	.525E-04	.407E-04	.332E-04
30	.380E+00	.900E-01	.244E-01	.869E-02	.393E-02	.165E-02	.646E-03	.146E-03	.583E-04	.429E-04	.336E-04
35	.556E+00	.165E+00	.480E-01	.169E-01	.735E-02	.287E-02	.102E-02	.187E-03	.647E-04	.452E-04	.340E-04
40	.714E+00	.267E+00	.854E-01	.306E-01	.130E-01	.484E-02	.157E-02	.240E-03	.718E-04	.477E-04	.343E-04
50	.913E+00	.518E+00	.210E+00	.824E-01	.354E-01	.124E-01	.356E-02	.387E-03	.881E-04	.530E-04	.351E-04

TAFEL DER PARABOLISCHEN CHIQUADRATVERTEILUNG

Q(D>Z) = 1-F(Z!NUE,P,BETA)

BETA = 4.5

D: = X_N-BETA+PX
Z: = 0
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ (-BETA) = .340E-05

NUE \ R	4.5	6.0	8.0	10.0	12.0	15.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	-.11	-.083	-.063	-.050	-.042	-.033	-.025	-.013	-.005	-.003	-.001
2	.827E-05	.604E-05	.501E-05	.455E-05	.430E-05	.407E-05	.388E-05	.362E-05	.349E-05	.345E-05	.342E-05
3	.199E-04	.109E-04	.745E-05	.613E-05	.544E-05	.488E-05	.441E-05	.384E-05	.356E-05	.348E-05	.342E-05
4	.400E-04	.181E-04	.107E-04	.811E-05	.682E-05	.581E-05	.500E-05	.407E-05	.364E-05	.351E-05	.342E-05
5	.753E-04	.293E-04	.153E-04	.107E-04	.855E-05	.693E-05	.569E-05	.434E-05	.374E-05	.356E-05	.343E-05
6	.135E-03	.462E-04	.215E-04	.140E-04	.106E-04	.823E-05	.646E-05	.461E-05	.382E-05	.360E-05	.343E-05
7	.231E-03	.712E-04	.298E-04	.181E-04	.132E-04	.976E-05	.732E-05	.490E-05	.391E-05	.364E-05	.344E-05
8	.382E-03	.108E-03	.411E-04	.234E-04	.163E-04	.115E-04	.829E-05	.520E-05	.401E-05	.368E-05	.345E-05
9	.613E-03	.160E-03	.561E-04	.301E-04	.201E-04	.136E-04	.938E-05	.552E-05	.410E-05	.373E-05	.346E-05
10	.956E-03	.234E-03	.758E-04	.386E-04	.248E-04	.161E-04	.106E-04	.587E-05	.420E-05	.377E-05	.346E-05
12	.216E-02	.478E-03	.136E-03	.623E-04	.371E-04	.222E-04	.135E-04	.661E-05	.440E-05	.386E-05	.348E-05
14	.447E-02	.925E-03	.236E-03	.988E-04	.549E-04	.306E-04	.172E-04	.745E-05	.461E-05	.395E-05	.349E-05
16	.856E-02	.170E-02	.398E-03	.154E-03	.805E-04	.418E-04	.218E-04	.839E-05	.484E-05	.404E-05	.351E-05
18	.153E-01	.300E-02	.655E-03	.237E-03	.117E-03	.567E-04	.275E-04	.944E-05	.507E-05	.414E-05	.353E-05
20	.255E-01	.506E-02	.105E-02	.358E-03	.167E-03	.766E-04	.346E-04	.106E-04	.532E-05	.424E-05	.354E-05
25	.733E-01	.158E-01	.309E-02	.940E-03	.394E-03	.158E-03	.608E-04	.142E-04	.598E-05	.450E-05	.359E-05
30	.161E+00	.400E-01	.789E-02	.226E-02	.873E-03	.312E-03	.105E-03	.189E-04	.673E-05	.477E-05	.363E-05
35	.288E+00	.847E-01	.178E-01	.497E-02	.182E-02	.595E-03	.176E-03	.251E-04	.756E-05	.506E-05	.368E-05
40	.441E+00	.155E+00	.360E-01	.101E-01	.358E-02	.109E-02	.291E-03	.332E-04	.849E-05	.537E-05	.372E-05
50	.732E+00	.367E+00	.111E+00	.336E-01	.118E-01	.331E-02	.750E-03	.572E-04	[illegible]	[illegible]	.381E-05

TAFEL DER PARABOLISCHEN CHIQUADRATVERTEILUNG

Q(D>Z) = 1-F(Z;NUE,P,BETA)

BETA = 5.0

D: = X_N-BETA+PX
Z: = 0
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ (-BETA) = .287E-06

NUE	R 5.0 P -.10	6.0 -.083	8.0 -.063	10.0 -.050	12.0 -.042	15.0 -.033	20.0 -.025	40.0 -.013	100.0 -.005	200.0 -.003	1000.0 -.001
2	.703E-06	.562E-06	.448E-06	.400E-06	.374E-06	.351E-06	.332E-06	.308E-06	.295E-06	.292E-06	.289E-06
3	.174E-05	.113E-05	.710E-06	.562E-06	.489E-06	.431E-06	.384E-06	.329E-06	.302E-06	.294E-06	.289E-06
4	.359E-05	.203E-05	.108E-05	.773E-06	.632E-06	.525E-06	.442E-06	.351E-06	.309E-06	.297E-06	.289E-06
5	.694E-05	.353E-05	.161E-05	.106E-05	.815E-06	.640E-06	.511E-06	.377E-06	.319E-06	.302E-06	.290E-06
6	.128E-04	.593E-05	.238E-05	.143E-05	.104E-05	.776E-06	.589E-06	.403E-06	.327E-06	.306E-06	.290E-06
7	.227E-04	.973E-05	.346E-05	.193E-05	.133E-05	.940E-06	.677E-06	.431E-06	.335E-06	.310E-06	.291E-06
8	.390E-04	.156E-04	.498E-05	.258E-05	.169E-05	.114E-05	.778E-06	.460E-06	.344E-06	.314E-06	.292E-06
9	.652E-04	.245E-04	.710E-05	.343E-05	.215E-05	.137E-05	.894E-06	.492E-06	.353E-06	.318E-06	.292E-06
10	.106E-03	.379E-04	.100E-04	.454E-05	.271E-05	.165E-05	.103E-05	.526E-06	.363E-06	.322E-06	.293E-06
12	.263E-03	.862E-04	.195E-04	.782E-05	.428E-05	.238E-05	.135E-05	.601E-06	.382E-06	.330E-06	.294E-06
14	.600E-03	.185E-03	.366E-04	.132E-04	.669E-05	.341E-05	.176E-05	.686E-06	.402E-06	.339E-06	.296E-06
16	.127E-02	.375E-03	.668E-04	.220E-04	.103E-04	.485E-05	.230E-05	.783E-06	.424E-06	.348E-06	.297E-06
18	.252E-02	.724E-03	.118E-03	.359E-04	.157E-04	.685E-05	.299E-05	.893E-06	.447E-06	.357E-06	.299E-06
20	.468E-02	.134E-02	.204E-03	.576E-04	.237E-04	.961E-05	.388E-05	.102E-05	.471E-06	.366E-06	.301E-06
25	.174E-01	.511E-02	.714E-03	.175E-03	.632E-04	.218E-04	.731E-05	.141E-05	.536E-06	.391E-06	.305E-06
30	.485E-01	.154E-01	.215E-02	.482E-03	.158E-03	.475E-04	.135E-04	.194E-05	.611E-06	.417E-06	.309E-06
35	.108E+00	.381E-01	.562E-02	.121E-02	.368E-03	.995E-04	.244E-04	.267E-05	.695E-06	.446E-06	.313E-06
40	.200E+00	.798E-01	.130E-01	.278E-02	.808E-03	.200E-03	.432E-04	.364E-05	.791E-06	.476E-06	.317E-06
50	.461E+00	.235E+00	.506E-01	.116E-01	.326E-02	.722E-03	.127E-03	.670E-05	.102E-05	.541E-06	.326E-06

TAFEL DER PARABOLISCHEN CHIQUADRATVERTEILUNG

Q(D>Z) = 1-F(Z;NUE,P,BETA)

D: = X_N-BETA+PX
Z: = 0
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

BETA = 5.5

Φ (-BETA) = .190E-07

NUE	R 5.5 P -.09	6.0 -.083	8.0 -.063	10.0 -.050	12.0 -.042	15.0 -.033	20.0 -.025	40.0 -.013	100.0 -.005	200.0 -.003	1000.0 -.001
2	.468E-07	.416E-07	.316E-07	.277E-07	.256E-07	.238E-07	.224E-07	.206E-07	.196E-07	.194E-07	.191E-07
3	.119E-06	.938E-07	.537E-07	.407E-07	.347E-07	.300E-07	.263E-07	.221E-07	.202E-07	.196E-07	.191E-07
4	.249E-06	.184E-06	.863E-07	.584E-07	.462E-07	.374E-07	.308E-07	.238E-07	.207E-07	.198E-07	.191E-07
5	.493E-06	.344E-06	.136E-06	.829E-07	.614E-07	.466E-07	.361E-07	.257E-07	.213E-07	.201E-07	.192E-07
6	.933E-06	.619E-06	.211E-06	.117E-06	.811E-07	.578E-07	.422E-07	.276E-07	.220E-07	.204E-07	.192E-07
7	.170E-05	.108E-05	.322E-06	.163E-06	.107E-06	.715E-07	.493E-07	.298E-07	.226E-07	.207E-07	.193E-07
8	.302E-05	.185E-05	.485E-06	.226E-06	.139E-06	.883E-07	.576E-07	.320E-07	.232E-07	.210E-07	.193E-07
9	.521E-05	.308E-05	.723E-06	.311E-06	.182E-06	.109E-06	.671E-07	.345E-07	.239E-07	.213E-07	.194E-07
10	.878E-05	.504E-05	.107E-05	.427E-06	.236E-06	.134E-06	.782E-07	.371E-07	.246E-07	.216E-07	.194E-07
12	.235E-04	.128E-04	.226E-05	.787E-06	.394E-06	.202E-06	.106E-06	.430E-07	.260E-07	.222E-07	.195E-07
14	.582E-04	.305E-04	.461E-05	.142E-05	.650E-06	.301E-06	.143E-06	.497E-07	.276E-07	.228E-07	.196E-07
16	.135E-03	.685E-04	.912E-05	.252E-05	.106E-05	.447E-06	.192E-06	.575E-07	.292E-07	.235E-07	.197E-07
18	.293E-03	.146E-03	.175E-04	.439E-05	.170E-05	.658E-06	.257E-06	.665E-07	.309E-07	.242E-07	.198E-07
20	.601E-03	.295E-03	.326E-04	.750E-05	.270E-05	.962E-06	.344E-06	.769E-07	.328E-07	.249E-07	.199E-07
25	.287E-02	.140E-02	.137E-03	.265E-04	.818E-05	.242E-05	.698E-06	.110E-06	.378E-07	.267E-07	.200E-07
30	.102E-01	.514E-02	.487E-03	.843E-04	.231E-04	.581E-05	.139E-05	.157E-06	.436E-07	.287E-07	.203E-07
35	.284E-01	.150E-01	.149E-02	.243E-03	.606E-04	.134E-04	.269E-05	.223E-06	.503E-07	.308E-07	.206E-07
40	.649E-01	.364E-01	.400E-02	.637E-03	.149E-03	.296E-04	.512E-05	.315E-06	.579E-07	.331E-07	.209E-07
50	.214E+00	.136E+00	.201E-01	.338E-02	.749E-03	.128E-03	.173E-04	.620E-06	.766E-07	.381E-07	.212E-07

T A F E L   D E R   P A R A B O L I S C H E N   C H I Q U A D R A T V E R T E I L U N G

Q(D>Z) = 1-F(Z*NUE,P,BETA)

D: = X_N-BETA+PX
Z: = 0
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

B E T A = 6.0

Φ(-BETA) = .990E-09

R	6.0	7.0	8.0	10.0	12.0	15.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	-.08	-.071	-.063	-.050	-.042	-.033	-.025	-.013	-.005	-.003	-.001
N U E											
2	.245E-08	.200E-08	.176E-08	.150E-08	.138E-08	.127E-08	.118E-08	.108E-08	.102E-08	.101E-08	.996E-09
3	.630E-08	.421E-08	.323E-08	.233E-08	.194E-08	.164E-08	.141E-08	.117E-08	.105E-08	.102E-08	.996E-09
4	.135E-07	.792E-08	.550E-08	.349E-08	.267E-08	.209E-08	.168E-08	.126E-08	.108E-08	.103E-08	.998E-09
5	.271E-07	.143E-07	.917E-08	.516E-08	.366E-08	.267E-08	.201E-08	.137E-08	.112E-08	.105E-08	.100E-08
6	.523E-07	.252E-07	.150E-07	.756E-08	.498E-08	.339E-08	.238E-08	.149E-08	.116E-08	.107E-08	.100E-08
7	.977E-07	.433E-07	.240E-07	.110E-07	.675E-08	.429E-08	.283E-08	.161E-08	.119E-08	.108E-08	.101E-08
8	.177E-06	.729E-07	.380E-07	.158E-07	.910E-08	.542E-08	.335E-08	.175E-08	.123E-08	.110E-08	.101E-08
9	.315E-06	.121E-06	.593E-07	.226E-07	.122E-07	.684E-08	.397E-08	.190E-08	.127E-08	.112E-08	.101E-08
10	.546E-06	.197E-06	.915E-07	.320E-07	.163E-07	.860E-08	.470E-08	.205E-08	.131E-08	.113E-08	.101E-08
12	.155E-05	.501E-06	.212E-06	.634E-07	.289E-07	.135E-07	.656E-08	.241E-08	.139E-08	.117E-08	.102E-08
14	.413E-05	.121E-05	.471E-06	.123E-06	.504E-07	.211E-07	.913E-08	.283E-08	.148E-08	.121E-08	.103E-08
16	.103E-04	.281E-05	.101E-05	.233E-06	.866E-07	.327E-07	.127E-07	.332E-08	.158E-08	.124E-08	.103E-08
18	.243E-04	.622E-05	.210E-05	.432E-06	.147E-06	.502E-07	.175E-07	.390E-08	.168E-08	.128E-08	.104E-08
20	.544E-04	.132E-04	.424E-05	.787E-06	.247E-06	.766E-07	.241E-07	.456E-08	.179E-08	.132E-08	.105E-08
25	.326E-03	.740E-04	.215E-04	.326E-05	.851E-06	.214E-06	.528E-07	.677E-08	.209E-08	.143E-08	.106E-08
30	.147E-02	.331E-03	.917E-04	.120E-04	.273E-05	.569E-06	.113E-06	.999E-08	.244E-08	.155E-08	.108E-08
35	.516E-02	.121E-02	.333E-03	.401E-04	.812E-05	.145E-05	.237E-06	.147E-07	.285E-08	.167E-08	.110E-08
40	.147E-01	.371E-02	.104E-02	.121E-03	.225E-04	.354E-05	.484E-06	.215E-07	.333E-08	.181E-08	.111E-08
50	.710E-01	.220E-01	.687E-02	.825E-03	.142E-03	.185E-04	.189E-05	.452E-07	.452E-08	.211E-08	.115E-08

T A F E L   D E R   P A R A B O L I S C H E N   C H I Q U A D R A T V E R T E I L U N G

Q(D>Z) = 1-F(Z*NUE,P,BETA)

D: = X_N-BETA+PX
Z: = 0
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

B E T A = 6.5

Φ (-BETA) = .404E-10

R	6.5	7.0	8.0	10.0	12.0	15.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	-.08	-.071	-.063	-.050	-.042	-.033	-.025	-.013	-.005	-.003	-.001
N U E											
2	.100E-09	.900E-10	.772E-10	.644E-10	.581E-10	.531E-10	.490E-10	.442E-10	.418E-10	.411E-10	.406E-10
3	.261E-09	.211E-09	.154E-09	.105E-09	.850E-10	.704E-10	.597E-10	.482E-10	.432E-10	.417E-10	.406E-10
4	.565E-09	.427E-09	.280E-09	.165E-09	.121E-09	.921E-10	.722E-10	.526E-10	.445E-10	.422E-10	.408E-10
5	.116E-08	.827E-09	.493E-09	.255E-09	.172E-09	.120E-09	.875E-10	.576E-10	.462E-10	.431E-10	.408E-10
6	.227E-08	.155E-08	.849E-09	.389E-09	.242E-09	.157E-09	.106E-09	.629E-10	.477E-10	.438E-10	.410E-10
7	.431E-08	.282E-08	.143E-08	.587E-09	.338E-09	.203E-09	.127E-09	.686E-10	.494E-10	.445E-10	.411E-10
8	.799E-08	.501E-08	.238E-08	.877E-09	.470E-09	.263E-09	.154E-09	.749E-10	.511E-10	.453E-10	.412E-10
9	.145E-07	.876E-08	.390E-08	.130E-08	.651E-09	.339E-09	.185E-09	.818E-10	.528E-10	.460E-10	.413E-10
10	.257E-07	.150E-07	.631E-08	.192E-08	.897E-09	.436E-09	.222E-09	.893E-10	.546E-10	.468E-10	.415E-10
12	.771E-07	.424E-07	.159E-07	.408E-08	.168E-08	.717E-09	.321E-09	.106E-09	.584E-10	.484E-10	.417E-10
14	.217E-06	.113E-06	.387E-07	.847E-08	.311E-08	.117E-08	.460E-09	.127E-09	.625E-10	.500E-10	.420E-10
16	.578E-06	.289E-06	.906E-07	.172E-07	.566E-08	.189E-08	.659E-09	.151E-09	.669E-10	.517E-10	.423E-10
18	.146E-05	.703E-06	.205E-06	.342E-07	.102E-07	.304E-08	.940E-09	.179E-09	.716E-10	.535E-10	.426E-10
20	.352E-05	.164E-05	.448E-06	.666E-07	.180E-07	.485E-08	.134E-08	.213E-09	.766E-10	.553E-10	.428E-10
25	.258E-04	.114E-04	.277E-05	.324E-06	.712E-07	.150E-07	.316E-08	.327E-09	.907E-10	.601E-10	.436E-10
30	.145E-03	.628E-04	.143E-04	.140E-05	.260E-06	.445E-07	.731E-08	.500E-09	.107E-09	.654E-10	.443E-10
35	.638E-03	.279E-03	.618E-04	.542E-05	.880E-06	.126E-06	.165E-07	.761E-09	.127E-09	.711E-10	.451E-10
40	.226E-02	.101E-02	.228E-03	.188E-04	.277E-05	.340E-06	.364E-07	.115E-08	.150E-09	.774E-10	.459E-10
50	.164E-01	.807E-02	.202E-02	.169E-03	.221E-04	.216E-05	.165E-06	.260E-08	.209E-09	.914E-10	.474E-10

TAFEL DER PARABOLISCHEN CHIQUADRATVERTEILUNG

Q(D>Z) = 1-F(Z;NUE,P,BETA)

BETA = 7.0

D: = X_N-BETA+PX
Z: = 0
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ (-BETA) = .129E-11

R	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0	15.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	-.07	-.063	-.056	-.050	-.042	-.033	-.025	-.013	-.005	-.003	-.001
NUE											
2	.320E-11	.267E-11	.236E-11	.216E-11	.192E-11	.174E-11	.159E-11	.142E-11	.134E-11	.131E-11	.130E-11
3	.846E-11	.584E-11	.452E-11	.376E-11	.294E-11	.237E-11	.197E-11	.156E-11	.139E-11	.133E-11	.130E-11
4	.185E-10	.113E-10	.798E-11	.617E-11	.434E-11	.319E-11	.243E-11	.171E-11	.143E-11	.135E-11	.130E-11
5	.382E-10	.212E-10	.138E-10	.996E-11	.638E-11	.427E-11	.299E-11	.189E-11	.149E-11	.138E-11	.130E-11
6	.761E-10	.385E-10	.232E-10	.158E-10	.927E-11	.570E-11	.368E-11	.208E-11	.154E-11	.141E-11	.131E-11
7	.147E-09	.684E-10	.386E-10	.249E-10	.134E-10	.757E-11	.451E-11	.229E-11	.160E-11	.143E-11	.131E-11
8	.277E-09	.119E-09	.633E-10	.388E-10	.192E-10	.100E-10	.553E-11	.252E-11	.166E-11	.146E-11	.132E-11
9	.510E-09	.205E-09	.103E-09	.598E-10	.275E-10	.132E-10	.677E-11	.277E-11	.172E-11	.148E-11	.132E-11
10	.925E-09	.348E-09	.165E-09	.914E-10	.390E-10	.175E-10	.827E-11	.304E-11	.178E-11	.151E-11	.133E-11
12	.289E-08	.965E-09	.411E-09	.209E-09	.777E-10	.301E-10	.123E-10	.367E-11	.192E-11	.157E-11	.134E-11
14	.855E-08	.256E-08	.995E-09	.467E-09	.152E-09	.514E-10	.183E-10	.443E-11	.206E-11	.162E-11	.134E-11
16	.240E-07	.654E-08	.233E-08	.102E-08	.294E-09	.870E-10	.270E-10	.535E-11	.222E-11	.168E-11	.135E-11
18	.643E-07	.161E-07	.532E-08	.217E-08	.559E-09	.146E-09	.398E-10	.646E-11	.239E-11	.174E-11	.136E-11
20	.165E-06	.383E-07	.118E-07	.452E-08	.105E-08	.244E-09	.584E-10	.778E-11	.257E-11	.181E-11	.137E-11
25	.144E-05	.290E-06	.776E-07	.260E-07	.476E-08	.843E-09	.150E-09	.124E-10	.308E-11	.198E-11	.140E-11
30	.985E-05	.182E-05	.438E-06	.132E-06	.199E-07	.278E-08	.375E-09	.196E-10	.369E-11	.217E-11	.142E-11
35	.535E-04	.949E-05	.214E-05	.597E-06	.770E-07	.874E-08	.915E-09	.310E-10	.443E-11	.237E-11	.145E-11
40	.235E-03	.418E-04	.912E-05	.241E-05	.275E-06	.262E-07	.218E-08	.486E-10	.530E-11	.259E-11	.148E-11
50	.258E-02	.508E-03	.112E-03	.286E-04	.281E-05	.204E-06	.115E-07	.118E-09	.759E-11	.310E-11	.153E-11

Anhang 3

Tafeln für die Versagenswahrscheinlichkeit bei Schmiegekugeln (= Tafeln der nichtzentralen Chi-Quadratverteilung)

TAFEL DER NICHTZENTRALEN CHIQUADRATVERTEILUNG

$Q\ [X^2_\nu(\text{LAMBDA})>X] = 1 - F\ (X;\text{NUE},\text{LAMBDA})$

BETA = 2.0

X: = R*R
NUE: FREIHEITSGRAD
LAMBDA: NICHTZENTRALITAETSPARAMETER
= (R-BETA)**2 [=SUMME(DELTA(I)*DELTA(I))]

Φ(-BETA) = .228E-01

NUE \ R	2.0	4	6	8	10	13	20	40	100	200	1000
1	.455E-01	.228E-01	.228E-01	.228E-01	.228E-01	.228E-01	.228E-01	.228E-01	.228E-01	.228E-01	.228E-01
2	.135E+00	.341E-01	.289E-01	.269E-01	.259E-01	.251E-01	.242E-01	.235E-01	.230E-01	.229E-01	.228E-01
3	.261E+00	.497E-01	.362E-01	.317E-01	.295E-01	.277E-01	.257E-01	.242E-01	.233E-01	.230E-01	.228E-01
4	.406E+00	.704E-01	.451E-01	.372E-01	.335E-01	.304E-01	.274E-01	.249E-01	.236E-01	.232E-01	.228E-01
5	.549E+00	.970E-01	.557E-01	.435E-01	.378E-01	.334E-01	.291E-01	.257E-01	.239E-01	.233E-01	.229E-01
6	.677E+00	.130E+00	.680E-01	.506E-01	.427E-01	.366E-01	.309E-01	.264E-01	.241E-01	.234E-01	.229E-01
7	.780E+00	.170E+00	.824E-01	.585E-01	.480E-01	.401E-01	.327E-01	.272E-01	.244E-01	.236E-01	.229E-01
8	.857E+00	.216E+00	.989E-01	.674E-01	.538E-01	.439E-01	.347E-01	.281E-01	.247E-01	.237E-01	.229E-01
9	.911E+00	.268E+00	.118E+00	.773E-01	.602E-01	.479E-01	.368E-01	.289E-01	.250E-01	.239E-01	.230E-01
10	.947E+00	.325E+00	.139E+00	.883E-01	.672E-01	.522E-01	.390E-01	.297E-01	.253E-01	.240E-01	.230E-01
12	.983E+00	.449E+00	.188E+00	.114E+00	.829E-01	.618E-01	.436E-01	.315E-01	.259E-01	.243E-01	.230E-01
14	.995E+00	.576E+00	.247E+00	.144E+00	.101E+00	.726E-01	.487E-01	.334E-01	.265E-01	.246E-01	.231E-01
16	.999E+00	.693E+00	.314E+00	.179E+00	.123E+00	.849E-01	.543E-01	.353E-01	.272E-01	.249E-01	.232E-01
18	.100E+01	.791E+00	.388E+00	.218E+00	.147E+00	.986E-01	.603E-01	.374E-01	.278E-01	.252E-01	.232E-01
20	.100E+01	.866E+00	.466E+00	.263E+00	.174E+00	.114E+00	.669E-01	.395E-01	.285E-01	.255E-01	.233E-01
25	.100E+01	.966E+00	.657E+00	.391E+00	.254E+00	.159E+00	.857E-01	.453E-01	.301E-01	.262E-01	.234E-01
30	.100E+01	.994E+00	.813E+00	.531E+00	.351E+00	.215E+00	.108E+00	.518E-01	.319E-01	.270E-01	.235E-01
35	.100E+01	.999E+00	.914E+00	.667E+00	.458E+00	.281E+00	.135E+00	.589E-01	.338E-01	.278E-01	.237E-01
40	.100E+01	.100E+01	.967E+00	.783E+00	.567E+00	.355E+00	.165E+00	.668E-01	.357E-01	.286E-01	.238E-01
50	.100E+01	.100E+01	.997E+00	.930E+00	.765E+00	.517E+00	.239E+00	.851E-01	.398E-01	.303E-01	.241E-01

T A F E L D E R N I C H T Z E N T R A L E N C H I Q U A D R A T V E R T E I L U N G

Q $[X_\nu^2$(LAMBDA)>X] = 1 - F (X;NUE,LAMBDA)

B E T A = 2.5

X: = R*R
NUE: FREIHEITSGRAD
LAMBDA: NICHTZENTRALITAETSPARAMETER
= (?-BETA)**2 [=SUMME(DELTA(I)*DELTA(I))]

Φ(-BETA) = .621E-02

NUE \ R	2.5	4	6	8	10	13	20	40	100	200	1000
1	.124E-01	.621E-02	.621E-02	.621E-02	.621E-02	.621E-02	.621E-02	.621E-02	.621E-02	.621E-02	.621E-02
2	.439E-01	.108E-01	.839E-02	.766E-02	.730E-02	.700E-02	.669E-02	.644E-02	.630E-02	.625E-02	.622E-02
3	.100E+00	.179E-01	.112E-01	.940E-02	.855E-02	.788E-02	.721E-02	.668E-02	.639E-02	.630E-02	.623E-02
4	.181E+00	.286E-01	.148E-01	.115E-01	.998E-02	.885E-02	.776E-02	.692E-02	.648E-02	.634E-02	.624E-02
5	.283E+00	.439E-01	.194E-01	.139E-01	.116E-01	.993E-02	.835E-02	.718E-02	.657E-02	.639E-02	.624E-02
6	.396E+00	.648E-01	.251E-01	.168E-01	.135E-01	.111E-01	.898E-02	.744E-02	.667E-02	.643E-02	.625E-02
7	.511E+00	.923E-01	.321E-01	.202E-01	.156E-01	.124E-01	.965E-02	.771E-02	.676E-02	.648E-02	.626E-02
8	.619E+00	.127E+00	.407E-01	.242E-01	.180E-01	.139E-01	.104E-01	.798E-02	.686E-02	.653E-02	.627E-02
9	.715E+00	.169E+00	.509E-01	.288E-01	.207E-01	.155E-01	.111E-01	.827E-02	.696E-02	.657E-02	.628E-02
10	.794E+00	.219E+00	.632E-01	.340E-01	.238E-01	.172E-01	.119E-01	.857E-02	.706E-02	.662E-02	.629E-02
12	.903E+00	.336E+00	.942E-01	.470E-01	.310E-01	.212E-01	.137E-01	.919E-02	.726E-02	.671E-02	.631E-02
14	.960E+00	.467E+00	.135E+00	.636E-01	.399E-01	.259E-01	.157E-01	.985E-02	.746E-02	.681E-02	.632E-02
16	.985E+00	.598E+00	.186E+00	.844E-01	.509E-01	.315E-01	.179E-01	.105E-01	.767E-02	.690E-02	.634E-02
18	.995E+00	.710E+00	.248E+00	.110E+00	.641E-01	.381E-01	.204E-01	.113E-01	.789E-02	.700E-02	.636E-02
20	.999E+00	.812E+00	.318E+00	.140E+00	.797E-01	.457E-01	.232E-01	.121E-01	.811E-02	.710E-02	.638E-02
25	.100E+01	.949E+00	.517E+00	.240E+00	.131E+00	.701E-01	.315E-01	.143E-01	.869E-02	.735E-02	.642E-02
30	.100E+01	.990E+00	.709E+00	.367E+00	.202E+00	.104E+00	.422E-01	.168E-01	.931E-02	.761E-02	.647E-02
35	.100E+01	.999E+00	.852E+00	.511E+00	.292E+00	.147E+00	.557E-01	.196E-01	.996E-02	.788E-02	.651E-02
40	.100E+01	.100E+01	.937E+00	.652E+00	.396E+00	.202E+00	.724E-01	.229E-01	.107E-01	.816E-02	.656E-02
50	.100E+01	.100E+01	.993E+00	.867E+00	.619E+00	.341E+00	.117E+00	.309E-01	.122E-01	.873E-02	.665E-02

T A F E L D E R N I C H T Z E N T R A L E N C H I Q U A D R A T V E R T E I L U N G

Q $[X_\nu^2$(LAMBDA)>X] = 1 - F (X;NUE,LAMBDA)

B E T A = 3.0

X: = R*R
NUE: FREIHEITSGRAD
LAMBDA: NICHTZENTRALITAETSPARAMETER
= (P-BETA)**2 [=SUMME(DELTA(I)*DELTA(I))]

Φ(-BETA) = .135E-02

NUE \ R	3.0	4	6	8	10	13	20	40	100	200	1000
1	.270E-02	.135E-02	.135E-02	.135E-02	.135E-02	.135E-02	.135E-02	.135E-02	.135E-02	.135E-02	.135E-02
2	.111E-01	.289E-02	.197E-02	.174E-02	.164E-02	.156E-02	.148E-02	.141E-02	.137E-02	.136E-02	.135E-02
3	.293E-01	.578E-02	.283E-02	.224E-02	.198E-02	.179E-02	.161E-02	.147E-02	.140E-02	.137E-02	.135E-02
4	.611E-01	.108E-01	.401E-02	.285E-02	.239E-02	.206E-02	.176E-02	.153E-02	.142E-02	.138E-02	.136E-02
5	.109E+00	.191E-01	.562E-02	.362E-02	.287E-02	.236E-02	.192E-02	.160E-02	.144E-02	.140E-02	.136E-02
6	.174E+00	.317E-01	.777E-02	.456E-02	.344E-02	.271E-02	.209E-02	.167E-02	.147E-02	.141E-02	.136E-02
7	.253E+00	.501E-01	.106E-01	.572E-02	.411E-02	.310E-02	.227E-02	.174E-02	.149E-02	.142E-02	.136E-02
8	.342E+00	.752E-01	.143E-01	.713E-02	.489E-02	.353E-02	.247E-02	.181E-02	.152E-02	.143E-02	.137E-02
9	.437E+00	.108E+00	.190E-01	.884E-02	.581E-02	.403E-02	.269E-02	.189E-02	.154E-02	.144E-02	.137E-02
10	.532E+00	.149E+00	.250E-01	.109E-01	.686E-02	.458E-02	.292E-02	.197E-02	.157E-02	.145E-02	.137E-02
12	.703E+00	.254E+00	.415E-01	.163E-01	.950E-02	.589E-02	.345E-02	.214E-02	.162E-02	.148E-02	.137E-02
14	.831E+00	.383E+00	.558E-01	.238E-01	.130E-01	.752E-02	.405E-02	.232E-02	.167E-02	.150E-02	.138E-02
16	.913E+00	.521E+00	.996E-01	.339E-01	.175E-01	.955E-02	.475E-02	.252E-02	.173E-02	.153E-02	.138E-02
18	.960E+00	.651E+00	.144E+00	.474E-01	.233E-01	.120E-01	.555E-02	.273E-02	.179E-02	.155E-02	.139E-02
20	.983E+00	.763E+00	.200E+00	.648E-01	.307E-01	.150E-01	.647E-02	.295E-02	.184E-02	.158E-02	.139E-02
25	.999E+00	.932E+00	.383E+00	.129E+00	.576E-01	.256E-01	.939E-02	.359E-02	.200E-02	.164E-02	.140E-02
30	.100E+01	.987E+00	.592E+00	.228E+00	.100E+00	.416E-01	.134E-01	.436E-02	.217E-02	.171E-02	.142E-02
35	.100E+01	.998E+00	.774E+00	.357E+00	.162E+00	.649E-01	.188E-01	.526E-02	.235E-02	.178E-02	.143E-02
40	.100E+01	.100E+01	.896E+00	.504E+00	.244E+00	.973E-01	.260E-01	.633E-02	.254E-02	.186E-02	.144E-02
50	.100E+01	.100E+01	.987E+00	.775E+00	.456E+00	.194E+00	.472E-01	.906E-02	.297E-02	.201E-02	.146E-02

TAFEL DER NICHTZENTRALEN CHIQUADRATVERTEILUNG

Q [X^2_ν(LAMBDA)>X] = 1 - F (X;NUE,LAMBDA)

BETA = 3.5

X: = R*R
NUE: FREIHEITSGRAD
LAMBDA: NICHTZENTRALITAETSPARAMETER
= (R-BETA)**2 [=SUMME(DELTA(I)*DELTA(I))]

Φ(-BETA) = .233E-03

NUE \ R	3.5	4	6	8	10	13	20	40	100	200	1000
1	.465E-03	.236E-03	.233E-03	.233E-03	.233E-03	.233E-03	.233E-03	.233E-03	.233E-03	.233E-03	.233E-03
2	.219E-02	.737E-03	.371E-03	.316E-03	.293E-03	.275E-03	.258E-03	.244E-03	.237E-03	.235E-03	.233E-03
3	.657E-02	.195E-02	.582E-03	.427E-03	.367E-03	.324E-03	.286E-03	.257E-03	.242E-03	.237E-03	.234E-03
4	.156E-01	.450E-02	.898E-03	.572E-03	.458E-03	.382E-03	.316E-03	.269E-03	.246E-03	.239E-03	.234E-03
5	.315E-01	.931E-02	.136E-02	.762E-03	.570E-03	.449E-03	.349E-03	.283E-03	.251E-03	.242E-03	.234E-03
6	.566E-01	.176E-01	.204E-02	.101E-02	.707E-03	.527E-03	.386E-03	.297E-03	.256E-03	.244E-03	.235E-03
7	.926E-01	.306E-01	.300E-02	.133E-02	.874E-03	.617E-03	.426E-03	.311E-03	.261E-03	.246E-03	.235E-03
8	.140E+00	.498E-01	.434E-02	.173E-02	.108E-02	.721E-03	.471E-03	.327E-03	.266E-03	.249E-03	.236E-03
9	.200E+00	.764E-01	.619E-02	.225E-02	.132E-02	.841E-03	.519E-03	.343E-03	.271E-03	.251E-03	.236E-03
10	.269E+00	.111E+00	.870E-02	.289E-02	.161E-02	.979E-03	.572E-03	.360E-03	.276E-03	.253E-03	.237E-03
12	.426E+00	.207E+00	.164E-01	.472E-02	.238E-02	.132E-02	.693E-03	.395E-03	.287E-03	.258E-03	.237E-03
14	.586E+00	.331E+00	.292E-01	.750E-02	.347E-02	.177E-02	.837E-03	.434E-03	.298E-03	.263E-03	.238E-03
16	.727E+00	.470E+00	.490E-01	.116E-01	.498E-02	.234E-02	.101E-02	.477E-03	.309E-03	.268E-03	.239E-03
18	.834E+00	.608E+00	.781E-01	.175E-01	.706E-02	.309E-02	.121E-02	.524E-03	.321E-03	.273E-03	.240E-03
20	.907E+00	.729E+00	.118E+00	.259E-01	.985E-02	.404E-02	.145E-02	.574E-03	.333E-03	.278E-03	.241E-03
25	.984E+00	.919E+00	.270E+00	.615E-01	.214E-01	.766E-02	.225E-02	.721E-03	.365E-03	.291E-03	.243E-03
30	.998E+00	.984E+00	.478E+00	.127E+00	.426E-01	.138E-01	.344E-02	.903E-03	.401E-03	.305E-03	.246E-03
35	.100E+01	.998E+00	.686E+00	.227E+00	.781E-01	.239E-01	.515E-02	.112E-02	.439E-03	.320E-03	.248E-03
40	.100E+01	.100E+01	.844E+00	.361E+00	.132E+00	.396E-01	.758E-02	.140E-02	.481E-03	.335E-03	.250E-03
50	.100E+01	.100E+01	.978E+00	.662E+00	.304E+00	.950E-01	.156E-01	.213E-02	.576E-03	.367E-03	.255E-03

TAFEL DER NICHTZENTRALEN CHIQUADRATVERTEILUNG

Q [X^2_ν(LAMBDA)>X] = 1 - F (X;NUE,LAMBDA)

BETA = 4.0

X: = R*R
NUE: FREIHEITSGRAD
LAMBDA: NICHTZENTRALITAETSPARAMETER
= (R-BETA)**2 [=SUMME(DELTA(I)*DELTA(I))]

Φ (-BETA) = .317E-04

NUE \ R	4.0	6	8	10	12	15	20	40	100	200	1000
1	.633E-04	.317E-04	.317E-04	.317E-04	.317E-04	.317E-04	.317E-04	.317E-04	.317E-04	.317E-04	.317E-04
2	.335E-03	.565E-04	.456E-04	.414E-04	.392E-04	.373E-04	.356E-04	.335E-04	.324E-04	.320E-04	.317E-04
3	.113E-02	.986E-04	.651E-04	.540E-04	.484E-04	.438E-04	.400E-04	.354E-04	.331E-04	.324E-04	.318E-04
4	.302E-02	.169E-03	.923E-04	.700E-04	.596E-04	.515E-04	.450E-04	.374E-04	.338E-04	.327E-04	.319E-04
5	.684E-02	.283E-03	.130E-03	.905E-04	.732E-04	.603E-04	.505E-04	.395E-04	.345E-04	.331E-04	.319E-04
6	.138E-01	.464E-03	.182E-03	.117E-03	.897E-04	.706E-04	.566E-04	.418E-04	.353E-04	.334E-04	.320E-04
7	.251E-01	.747E-03	.252E-03	.149E-03	.110E-03	.825E-04	.634E-04	.441E-04	.360E-04	.338E-04	.321E-04
8	.424E-01	.118E-02	.346E-03	.191E-03	.134E-03	.963E-04	.710E-04	.466E-04	.368E-04	.341E-04	.321E-04
9	.669E-01	.182E-02	.473E-03	.243E-03	.163E-03	.112E-03	.794E-04	.492E-04	.376E-04	.345E-04	.322E-04
10	.996E-01	.277E-02	.641E-03	.308E-03	.197E-03	.131E-03	.888E-04	.519E-04	.384E-04	.349E-04	.323E-04
12	.191E+00	.602E-02	.115E-02	.488E-03	.289E-03	.176E-03	.111E-03	.579E-04	.401E-04	.356E-04	.324E-04
14	.313E+00	.122E-01	.201E-02	.762E-03	.418E-03	.236E-03	.138E-03	.644E-04	.418E-04	.364E-04	.326E-04
16	.453E+00	.230E-01	.341E-02	.117E-02	.598E-03	.315E-03	.171E-03	.717E-04	.436E-04	.371E-04	.327E-04
18	.593E+00	.406E-01	.563E-02	.177E-02	.849E-03	.418E-03	.211E-03	.797E-04	.455E-04	.379E-04	.328E-04
20	.717E+00	.674E-01	.902E-02	.265E-02	.119E-02	.551E-03	.260E-03	.886E-04	.475E-04	.387E-04	.330E-04
25	.915E+00	.186E+00	.260E-01	.671E-02	.268E-02	.107E-02	.433E-03	.115E-03	.528E-04	.408E-04	.333E-04
30	.983E+00	.379E+00	.635E-01	.155E-01	.566E-02	.201E-02	.709E-03	.148E-03	.586E-04	.430E-04	.337E-04
35	.998E+00	.600E+00	.133E+00	.327E-01	.113E-01	.365E-02	.114E-02	.191E-03	.650E-04	.454E-04	.340E-04
40	.100E+01	.787E+00	.240E+00	.630E-01	.212E-01	.639E-02	.179E-02	.245E-03	.721E-04	.478E-04	.344E-04
50	.100E+01	.967E+00	.538E+00	.182E+00	.631E-01	.177E-01	.422E-02	.397E-03	.884E-04	.530E-04	.351E-04

T A F E L   D E R   N I C H T Z E N T R A L E N   C H I Q U A D R A T V E R T E I L U N G

Q [X^2_ν(LAMBDA)>X] = 1 - F (X;NUE,LAMBDA)

X: = R*R
NUE: FREIHEITSGRAD
LAMBDA: NICHTZENTRALITAETSPARAMETER
= (R-BETA)**2 [=SUMME(DELTA(I)*DELTA(I))]

B E T A = 4.5

Φ(-BETA) = .340E-05

NUE \ R	4.5	6	8	10	12	15	20	40	100	200	1000
1	.679E-05	.340E-05	.340E-05	.340E-05	.340E-05	.340E-05	.340E-05	.340E-05	.340E-05	.340E-05	.340E-05
2	.401E-04	.701E-05	.522E-05	.464E-05	.434E-05	.409E-05	.388E-05	.362E-05	.348E-05	.344E-05	.340E-05
3	.151E-03	.141E-04	.796E-05	.630E-05	.553E-05	.492E-05	.443E-05	.385E-05	.357E-05	.348E-05	.341E-05
4	.446E-03	.274E-04	.120E-04	.853E-05	.702E-05	.591E-05	.505E-05	.410E-05	.365E-05	.352E-05	.342E-05
5	.112E-02	.519E-04	.180E-04	.115E-04	.890E-05	.708E-05	.576E-05	.436E-05	.374E-05	.356E-05	.343E-05
6	.250E-02	.958E-04	.268E-04	.154E-04	.112E-04	.848E-05	.655E-05	.464E-05	.383E-05	.361E-05	.343E-05
7	.505E-02	.172E-03	.394E-04	.206E-04	.142E-04	.101E-04	.746E-05	.493E-05	.392E-05	.365E-05	.344E-05
8	.943E-02	.300E-03	.575E-04	.274E-04	.178E-04	.121E-04	.848E-05	.524E-05	.402E-05	.369E-05	.345E-05
9	.164E-01	.512E-03	.833E-04	.362E-04	.223E-04	.144E-04	.963E-05	.557E-05	.412E-05	.374E-05	.346E-05
10	.270E-01	.849E-03	.119E-03	.478E-04	.279E-04	.171E-04	.109E-04	.592E-05	.422E-05	.378E-05	.347E-05
12	.625E-01	.217E-02	.240E-03	.819E-04	.433E-04	.241E-04	.140E-04	.669E-05	.442E-05	.387E-05	.348E-05
14	.122E+00	.507E-02	.465E-03	.138E-03	.665E-04	.338E-04	.180E-04	.755E-05	.464E-05	.396E-05	.350E-05
16	.209E+00	.108E-01	.873E-03	.229E-03	.101E-03	.470E-04	.230E-04	.851E-05	.486E-05	.406E-05	.352E-05
18	.319E+00	.213E-01	.158E-02	.372E-03	.152E-03	.651E-04	.293E-04	.959E-05	.510E-05	.416E-05	.353E-05
20	.442E+00	.389E-01	.278E-02	.596E-03	.225E-03	.895E-04	.372E-04	.108E-04	.534E-05	.426E-05	.355E-05
25	.734E+00	.130E+00	.993E-02	.179E-02	.580E-03	.193E-03	.667E-04	.145E-04	.601E-05	.451E-05	.359E-05
30	.910E+00	.302E+00	.292E-01	.486E-02	.140E-02	.402E-03	.117E-03	.193E-04	.676E-05	.479E-05	.363E-05
35	.978E+00	.525E+00	.720E-01	.119E-01	.316E-02	.805E-03	.202E-03	.257E-04	.759E-05	.507E-05	.368E-05
40	.996E+00	.733E+00	.150E+00	.264E-01	.672E-02	.156E-02	.342E-03	.341E-04	.852E-05	.538E-05	.372E-05
50	.100E+01	.954E+00	.419E+00	.977E-01	.251E-01	.520E-02	.926E-03	.590E-04	.107E-04	.604E-05	.381E-05

T A F E L   D E R   N I C H T Z E N T R A L E N   C H I Q U A D R A T V E R T E I L U N G

Q [X^2_ν(LAMBDA)>X] = 1 - F (X;NUE,LAMBDA)

X: = R*R
NUE: FREIHEITSGRAD
LAMBDA: NICHTZENTRALITAETSPARAMETER
= (R-BETA)**2 [=SUMME(DELTA(I)*DELTA(I))]

B E T A = 5.0

Φ(-BETA) = .287E-06

NUE \ R	5.0	6	8	10	12	15	20	40	100	200	1000
1	.573E-06	.287E-06	.287E-06	.287E-06	.287E-06	.287E-06	.287E-06	.287E-06	.287E-06	.287E-06	.287E-06
2	.373E-05	.729E-06	.476E-06	.410E-06	.379E-06	.354E-06	.333E-06	.308E-06	.294E-06	.291E-06	.287E-06
3	.154E-04	.177E-05	.792E-06	.584E-06	.499E-06	.435E-06	.386E-06	.330E-06	.302E-06	.295E-06	.287E-06
4	.503E-04	.413E-05	.127E-05	.827E-06	.656E-06	.535E-06	.447E-06	.353E-06	.310E-06	.298E-06	.287E-06
5	.139E-03	.921E-05	.205E-05	.117E-05	.859E-06	.657E-06	.517E-06	.378E-06	.319E-06	.302E-06	.287E-06
6	.341E-03	.197E-04	.326E-05	.164E-05	.112E-05	.805E-06	.599E-06	.405E-06	.327E-06	.306E-06	.287E-06
7	.759E-03	.404E-04	.515E-05	.229E-05	.146E-05	.985E-06	.692E-06	.434E-06	.336E-06	.310E-06	.287E-06
8	.155E-02	.798E-04	.804E-05	.318E-05	.190E-05	.120E-05	.799E-06	.464E-06	.345E-06	.315E-06	.288E-06
9	.297E-02	.152E-03	.124E-04	.439E-05	.246E-05	.147E-05	.922E-06	.497E-06	.354E-06	.319E-06	.289E-06
10	.535E-02	.279E-03	.190E-04	.605E-05	.317E-05	.179E-05	.106E-05	.532E-06	.364E-06	.323E-06	.290E-06
12	.148E-01	.851E-03	.432E-04	.113E-04	.524E-05	.263E-05	.141E-05	.609E-06	.384E-06	.331E-06	.291E-06
14	.346E-01	.230E-02	.944E-04	.207E-04	.857E-05	.386E-05	.186E-05	.696E-06	.404E-06	.340E-06	.293E-06
16	.698E-01	.555E-02	.198E-03	.371E-04	.138E-04	.562E-05	.246E-05	.796E-06	.426E-06	.349E-06	.294E-06
18	.125E+00	.121E-01	.401E-03	.654E-04	.221E-04	.814E-05	.323E-05	.909E-06	.449E-06	.358E-06	.296E-06
20	.201E+00	.241E-01	.780E-03	.113E-03	.349E-04	.117E-04	.423E-05	.104E-05	.473E-06	.368E-06	.297E-06
25	.462E+00	.953E-01	.350E-02	.410E-03	.104E-03	.282E-04	.818E-05	.144E-05	.539E-06	.392E-06	.301E-06
30	.725E+00	.248E+00	.126E-01	.132E-02	.289E-03	.653E-04	.155E-04	.199E-05	.613E-06	.419E-06	.305E-06
35	.895E+00	.468E+00	.370E-01	.381E-02	.749E-03	.145E-03	.288E-04	.274E-05	.698E-06	.447E-06	.309E-06
40	.969E+00	.689E+00	.895E-01	.983E-02	.181E-02	.311E-03	.526E-04	.375E-05	.794E-06	.476E-06	.314E-06
50	.999E+00	.943E+00	.315E+00	.476E-01	.867E-02	.127E-02	.164E-03	.695E-05	.102E-05	.542E-06	.322E-06

Anhang 4

Tafeln für einen Korrekturfaktor für den Sicherheitsindex ß

T A F E L D E S F A K T O R S R O H F U E R D E N S I C H E R H E I T S I N D E X B E T A

DIESE TAFELWERTE KORRESPONDIEREN MIT DEN TAFELWERTEN (PF) DER
PARABOLISCHEN CHIQUDRATVERTEILUNG FUER BETA = 2.0

B E T A = 2.0

ROH = KOREKTURFAKTOR FUER BETA
= ϕ^{-1}(PF)/BETA
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

ϕ (-BETA) = .228E-01

R	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	13.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	.25	.125	.083	.063	.050	.038	.025	.013	.005	.003	.001
NUE											
2	1.082	1.049	1.035	1.027	1.022	1.017	1.011	1.006	1.002	1.001	1.000
3	1.164	1.099	1.071	1.056	1.046	1.036	1.024	1.013	1.005	1.003	1.001
4	1.244	1.149	1.107	1.084	1.069	1.055	1.037	1.020	1.009	1.005	1.002
5	1.318	1.195	1.141	1.110	1.091	1.071	1.048	1.025	1.010	1.005	1.002
6	1.391	1.242	1.175	1.137	1.113	1.089	1.060	1.031	1.013	1.007	1.002
7	1.463	1.289	1.210	1.164	1.135	1.107	1.072	1.037	1.015	1.008	1.002
8	1.534	1.335	1.244	1.191	1.157	1.124	1.083	1.043	1.018	1.009	1.002
9	1.602	1.380	1.277	1.218	1.180	1.142	1.095	1.049	1.020	1.011	1.003
10	1.670	1.425	1.311	1.245	1.202	1.159	1.107	1.055	1.023	1.012	1.003
12	1.800	1.513	1.377	1.298	1.246	1.194	1.131	1.068	1.028	1.015	1.004
14	1.927	1.600	1.443	1.350	1.289	1.229	1.154	1.080	1.033	1.017	1.004
16	2.049	1.684	1.507	1.402	1.332	1.264	1.178	1.092	1.038	1.019	1.005
18	2.167	1.767	1.571	1.453	1.375	1.298	1.201	1.104	1.043	1.022	1.005
20	2.282	1.849	1.634	1.504	1.418	1.332	1.224	1.116	1.048	1.024	1.006
25	2.557	2.047	1.788	1.630	1.524	1.418	1.282	1.146	1.060	1.031	1.007
30	2.817	2.238	1.939	1.754	1.628	1.502	1.340	1.176	1.072	1.037	1.008
35	3.065	2.422	2.085	1.875	1.731	1.586	[illegible]	[illegible]	1.085	1.043	1.009
40	3.302	2.601	2.228	1.994	1.833	1.668	[illegible]	[illegible]	1.097	1.049	1.010
50	3.750	2.943	2.506	2.226	2.032	1.832	[illegible]	[illegible]	1.121	1.061	1.013

T A F E L   D E S   F A K T O R S   R O H   F U E R   D E N   S I C H E R H E I T S I N D E X   B E T A

DIESE TAFELWERTE KORRESPONDIEREN MIT DEN TAFELWERTEN (PF) DER
PARABOLISCHEN CHIQUDRATVERTEILUNG FUER BETA = 2.5

B E T A = 2.5

ROH = KOREKTURFAKTOR FUER BETA
= Φ^{-1}(PF)/BETA
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ (-BETA) = .621E-02

R	2.5	4.0	6.0	8.0	10.0	13.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	.20	.125	.083	.063	.050	.038	.025	.013	.005	.003	.001
NUE											
2	1.053	1.038	1.027	1.021	1.017	1.014	1.009	1.005	1.002	1.001	1.000
3	1.107	1.076	1.055	1.043	1.036	1.028	1.019	1.010	1.004	1.002	1.001
4	1.160	1.115	1.083	1.066	1.054	1.043	1.029	1.015	1.007	1.004	1.001
5	1.209	1.150	1.109	1.086	1.071	1.056	1.038	1.020	1.008	1.004	1.001
6	1.259	1.187	1.136	1.107	1.088	1.070	1.047	1.025	1.010	1.005	1.001
7	1.307	1.222	1.163	1.128	1.106	1.084	1.057	1.029	1.012	1.006	1.002
8	1.355	1.258	1.189	1.149	1.123	1.098	1.066	1.034	1.014	1.007	1.002
9	1.402	1.293	1.216	1.170	1.141	1.112	1.075	1.039	1.016	1.008	1.002
10	1.448	1.328	1.242	1.191	1.158	1.125	1.085	1.044	1.018	1.009	1.002
12	1.539	1.397	1.293	1.233	1.193	1.153	1.103	1.054	1.022	1.011	1.003
14	1.627	1.464	1.344	1.274	1.227	1.180	1.122	1.063	1.026	1.013	1.003
16	1.712	1.530	1.395	1.314	1.261	1.208	1.140	1.073	1.030	1.015	1.004
18	1.796	1.595	1.445	1.355	1.295	1.235	1.159	1.083	1.034	1.017	1.004
20	1.877	1.658	1.494	1.395	1.328	1.262	1.177	1.092	1.038	1.019	1.004
25	2.073	1.813	1.615	1.493	1.411	1.329	1.223	1.116	1.048	1.024	1.005
30	2.260	1.963	1.733	1.590	1.494	1.395	1.269	1.140	1.058	1.029	1.006
35	2.439	2.108	1.848	1.686	1.575	1.461	1.315	1.164	1.067	1.034	1.007
40	2.612	2.248	1.961	1.779	1.655	1.527	1.360	1.188	1.077	1.039	1.008
50	2.939	2.518	2.179	1.963	1.812	1.656	1.451	1.236	1.097	1.049	1.010

T A F E L   D E S   F A K T O R S   R O H   F U E R   D E N   S I C H E R H E I T S I N D E X   B E T A

DIESE TAFELWERTE KORRESPONDIEREN MIT DEN TAFELWERTEN (PF) DER
PARABOLISCHEN CHIQUDRATVERTEILUNG FUER BETA = 3.0

B E T A = 3.0

ROH = KOREKTURFAKTOR FUER BETA
= Φ^{-1}(PF)/BETA
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ (-BETA) = .135E-02

R	3.0	4.0	6.0	8.0	10.0	13.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	.17	.125	.083	.063	.050	.038	.025	.013	.005	.003	.001
NUE											
2	1.037	1.030	1.022	1.017	1.014	1.011	1.007	1.004	1.001	1.001	1.000
3	1.075	1.061	1.045	1.035	1.029	1.023	1.016	1.008	1.003	1.002	1.001
4	1.113	1.092	1.067	1.053	1.044	1.035	1.024	1.013	1.006	1.003	1.001
5	1.148	1.121	1.089	1.070	1.058	1.046	1.031	1.016	1.007	1.004	1.001
6	1.183	1.150	1.110	1.087	1.072	1.057	1.039	1.020	1.008	1.004	1.001
7	1.218	1.179	1.132	1.104	1.087	1.069	1.047	1.024	1.010	1.005	1.001
8	1.253	1.208	1.153	1.122	1.101	1.080	1.054	1.028	1.012	1.006	1.002
9	1.287	1.236	1.175	1.139	1.115	1.091	1.062	1.032	1.013	1.007	1.002
10	1.320	1.264	1.196	1.156	1.129	1.103	1.070	1.036	1.015	1.008	1.002
12	1.386	1.320	1.238	1.189	1.157	1.125	1.085	1.044	1.018	1.009	1.002
14	1.451	1.374	1.279	1.223	1.185	1.148	1.100	1.052	1.022	1.011	1.003
16	1.514	1.428	1.321	1.256	1.213	1.170	1.116	1.060	1.025	1.013	1.003
18	1.576	1.480	1.361	1.289	1.241	1.193	1.131	1.068	1.028	1.014	1.003
20	1.636	1.532	1.401	1.322	1.268	1.215	1.146	1.076	1.031	1.016	1.004
25	1.783	1.659	1.500	1.403	1.337	1.270	1.184	1.096	1.040	1.020	1.004
30	1.924	1.781	1.597	1.482	1.404	1.325	1.222	1.116	1.048	1.024	1.005
35	2.060	1.899	1.691	1.560	1.470	1.379	1.260	1.136	1.056	1.028	1.006
40	2.191	2.014	1.783	1.637	1.536	1.433	1.297	1.156	1.064	1.032	1.007
50	2.442	2.236	1.962	1.787	1.665	1.539	1.371	1.196	1.080	1.041	1.008

T A F E L   D E S   F A K T O R S   R O H   F U E R   D E N   S I C H E R H E I T S I N D E X   B E T A

DIESE TAFELWERTE KORRESPONDIFREN MIT DEN TAFELWERTEN (PF) DER
PARABOLISCHEN CHIQUDRATVERTEILUNG FUER BETA = 3.5

B E T A = 3.5

ROH = KOREKTURFAKTOR FUER BETA
= Φ^{-1} (PF)/BETA
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ(-BETA) = .233E-03

R	3.5	4.0	6.0	8.0	10.0	13.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	.14	.125	.083	.063	.050	.038	.025	.013	.005	.003	.001
N U E											
2	1.027	1.025	1.018	1.014	1.012	1.009	1.006	1.003	1.001	1.001	1.000
3	1.055	1.050	1.037	1.029	1.024	1.019	1.013	1.007	1.003	1.001	1.000
4	1.084	1.076	1.056	1.045	1.037	1.030	1.020	1.011	1.005	1.003	1.001
5	1.110	1.100	1.074	1.059	1.049	1.039	1.026	1.014	1.006	1.003	1.001
6	1.136	1.124	1.092	1.073	1.061	1.048	1.033	1.017	1.007	1.004	1.001
7	1.162	1.148	1.110	1.088	1.073	1.058	1.039	1.021	1.009	1.004	1.001
8	1.188	1.172	1.128	1.102	1.085	1.068	1.046	1.024	1.010	1.005	1.001
9	1.214	1.196	1.146	1.116	1.097	1.077	1.052	1.027	1.011	1.006	1.001
10	1.240	1.219	1.163	1.130	1.109	1.087	1.059	1.031	1.013	1.007	1.002
12	1.290	1.265	1.199	1.159	1.132	1.106	1.072	1.038	1.016	1.008	1.002
14	1.339	1.311	1.233	1.187	1.156	1.125	1.085	1.045	1.018	1.009	1.002
16	1.388	1.356	1.268	1.215	1.179	1.144	1.098	1.051	1.021	1.011	1.002
18	1.435	1.400	1.302	1.243	1.203	1.162	1.111	1.058	1.024	1.012	1.003
20	1.482	1.443	1.336	1.270	1.226	1.181	1.124	1.065	1.027	1.014	1.003
25	1.596	1.549	1.419	1.338	1.283	1.228	1.156	1.082	1.034	1.017	1.004
30	1.706	1.652	1.500	1.405	1.340	1.274	1.188	1.099	1.041	1.021	1.004
35	1.812	1.752	1.579	1.471	1.396	1.320	1.220	1.116	1.048	1.024	1.005
40	1.916	1.849	1.657	1.536	1.452	1.365	1.252	1.133	1.055	1.028	1.006
50	2.114	2.035	1.808	1.663	1.561	1.455	1.315	1.167	1.069	1.035	1.007

T A F E L   D E S   F A K T O R S   R O H   F U E R   D E N   S I C H E R H E I T S I N D E X   B E T A

DIESE TAFELWERTE KORRESPONDIEREN MIT DEN TAFELWERTEN (PF) DER
PARABOLISCHEN CHIQUDRATVERTEILUNG FUER BETA = 4.0

B E T A = 4.0

ROH = KOREKTURFAKTOR FUER BETA
= Φ^{-1} (PF)/BETA
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ(-BETA) = .317E-04

R	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	15.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	.13	.083	.063	.050	.042	.033	.025	.013	.005	.003	.001
N U E											
2	1.021	1.016	1.012	1.010	1.009	1.007	1.005	1.003	1.001	1.000	1.000
3	1.043	1.032	1.025	1.021	1.018	1.015	1.011	1.006	1.002	1.001	1.000
4	1.064	1.048	1.038	1.032	1.027	1.022	1.017	1.009	1.004	1.002	1.001
5	1.084	1.063	1.050	1.042	1.036	1.029	1.023	1.012	1.005	1.003	1.001
6	1.105	1.078	1.063	1.052	1.045	1.037	1.028	1.015	1.006	1.003	1.001
7	1.125	1.094	1.075	1.062	1.053	1.044	1.034	1.018	1.007	1.004	1.001
8	1.146	1.109	1.087	1.073	1.062	1.051	1.040	1.021	1.009	1.004	1.001
9	1.166	1.124	1.099	1.083	1.071	1.059	1.045	1.024	1.010	1.005	1.001
10	1.186	1.139	1.112	1.093	1.080	1.066	1.051	1.027	1.011	1.006	1.001
12	1.225	1.169	1.136	1.114	1.098	1.080	1.062	1.033	1.014	1.007	1.002
14	1.264	1.199	1.160	1.134	1.115	1.095	1.074	1.039	1.016	1.008	1.002
16	1.302	1.229	1.184	1.154	1.132	1.109	1.085	1.045	1.018	1.009	1.002
18	1.340	1.258	1.208	1.174	1.150	1.124	1.096	1.051	1.021	1.011	1.002
20	1.377	1.287	1.232	1.194	1.167	1.138	1.107	1.056	1.023	1.012	1.003
25	1.468	1.358	1.290	1.244	1.210	1.174	1.135	1.071	1.029	1.015	1.003
30	1.556	1.428	1.348	1.293	1.253	1.209	1.163	1.086	1.036	1.018	1.004
35	1.642	1.496	1.404	1.341	1.295	1.245	1.191	1.101	1.042	1.021	1.004
40	1.725	1.563	1.460	1.389	1.337	1.280	1.218	1.115	1.048	1.024	1.005
50	1.886	1.693	1.570	1.483	1.419	1.349	1.273	1.145	1.060	1.030	1.006

TAFEL DES FAKTORS ROH FUER DEN SICHERHEITSINDEX BETA

DIESE TAFELWERTE KORRESPONDIEREN MIT DEN TAFELWERTEN (PF) DER PARABOLISCHEN CHIQUDRATVERTEILUNG FUER BETA = 4.5

BETA = 4.5

ROH = KOREKTURFAKTOR FUER BETA
= Φ^{-1}(PF)/BETA
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ (-BETA) = .340E-05

R	4.5	6.0	8.0	10.0	12.0	15.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	.11	.083	.063	.050	.042	.033	.025	.013	.005	.003	.001
NUE											
2	1.017	1.013	1.011	1.009	1.008	1.006	1.005	1.002	1.001	1.000	1.000
3	1.034	1.027	1.022	1.018	1.016	1.013	1.010	1.005	1.002	1.001	1.000
4	1.051	1.041	1.033	1.028	1.024	1.020	1.015	1.008	1.003	1.002	1.000
5	1.067	1.054	1.044	1.036	1.031	1.026	1.020	1.010	1.004	1.002	1.000
6	1.083	1.068	1.054	1.045	1.039	1.032	1.025	1.013	1.005	1.003	1.001
7	1.100	1.081	1.065	1.054	1.047	1.039	1.030	1.016	1.007	1.003	1.001
8	1.116	1.094	1.076	1.063	1.054	1.045	1.035	1.018	1.008	1.004	1.001
9	1.132	1.108	1.087	1.072	1.062	1.051	1.040	1.021	1.009	1.004	1.001
10	1.148	1.121	1.097	1.081	1.070	1.058	1.045	1.024	1.010	1.005	1.001
12	1.180	1.147	1.118	1.099	1.085	1.071	1.055	1.029	1.012	1.006	1.001
14	1.211	1.173	1.139	1.117	1.101	1.083	1.065	1.034	1.014	1.007	1.002
16	1.242	1.199	1.160	1.135	1.116	1.096	1.075	1.039	1.016	1.008	1.002
18	1.272	1.224	1.181	1.152	1.131	1.109	1.084	1.045	1.018	1.009	1.002
20	1.303	1.249	1.202	1.170	1.146	1.121	1.094	1.050	1.021	1.010	1.002
25	1.377	1.311	1.253	1.213	1.184	1.153	1.119	1.063	1.026	1.013	1.003
30	1.449	1.372	1.303	1.256	1.221	1.184	1.143	1.076	1.031	1.016	1.003
35	1.519	1.432	1.353	1.298	1.258	1.215	1.168	1.089	1.037	1.019	1.004
40	1.588	1.490	1.402	1.340	1.295	1.246	1.192	1.102	1.042	1.021	1.004
50	1.721	1.604	1.498	1.423	1.367	1.307	1.240	1.128	1.053	1.027	1.005

TAFEL DES FAKTORS ROH FUER DEN SICHERHEITSINDEX BETA

DIESE TAFELWERTE KORRESPONDIEREN MIT DEN TAFELWERTEN (PF) DER PARABOLISCHEN CHIQUDRATVERTEILUNG FUER BETA = 5.0

BETA = 5.0

ROH = KOREKTURFAKTOR FUER BETA
= Φ^{-1} (PF)/BETA
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ (-BETA) = .287E-06

R	5.0	6.0	8.0	10.0	12.0	15.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	.10	.083	.063	.050	.042	.033	.025	.013	.005	.003	.001
NUE											
2	1.013	1.012	1.009	1.008	1.007	1.005	1.004	1.002	1.001	1.000	1.000
3	1.027	1.024	1.019	1.016	1.014	1.011	1.009	1.005	1.002	1.001	1.000
4	1.041	1.036	1.029	1.024	1.021	1.017	1.013	1.007	1.003	1.002	1.000
5	1.054	1.048	1.038	1.032	1.028	1.023	1.018	1.009	1.004	1.002	1.000
6	1.068	1.060	1.048	1.040	1.034	1.029	1.022	1.012	1.005	1.002	1.000
7	1.081	1.071	1.057	1.048	1.041	1.034	1.027	1.014	1.006	1.003	1.001
8	1.094	1.083	1.067	1.056	1.048	1.040	1.031	1.016	1.007	1.003	1.001
9	1.108	1.095	1.076	1.064	1.055	1.046	1.035	1.019	1.008	1.004	1.001
10	1.121	1.106	1.086	1.072	1.062	1.051	1.040	1.021	1.009	1.004	1.001
12	1.147	1.129	1.104	1.088	1.076	1.063	1.049	1.026	1.011	1.005	1.001
14	1.172	1.152	1.123	1.103	1.089	1.074	1.058	1.030	1.013	1.006	1.001
16	1.198	1.175	1.142	1.119	1.103	1.085	1.066	1.035	1.015	1.007	1.002
18	1.223	1.197	1.160	1.135	1.116	1.096	1.075	1.040	1.017	1.008	1.002
20	1.248	1.219	1.178	1.150	1.130	1.108	1.084	1.045	1.018	1.009	1.002
25	1.309	1.274	1.223	1.189	1.163	1.136	1.106	1.056	1.023	1.012	1.002
30	1.369	1.328	1.268	1.227	1.196	1.163	1.128	1.068	1.028	1.014	1.003
35	1.428	1.381	1.312	1.264	1.229	1.191	1.149	1.080	1.033	1.017	1.003
40	1.485	1.432	1.355	1.301	1.262	1.218	1.171	1.091	1.038	1.019	1.004
50	1.597	1.534	1.440	1.375	1.326	1.273	1.214	1.115	1.048	1.024	1.005

TAFEL DES FAKTORS ROH FUER DEN SICHERHEITSINDEX BETA

DIESE TAFELWERTE KORRESPONDIEREN MIT DEN TAFELWERTEN (PF) DER
PARABOLISCHEN CHIQUDRATVERTEILUNG FUER BETA = 5.5

B E T A = 5.5

ROH = KOREKTURFAKTOR FUER BETA
 = ϕ-1(PF)/BETA
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
 = 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

ϕ (-BETA) = .190E-07

R	5.5	6.0	8.0	10.0	12.0	15.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	.09	.083	.063	.050	.042	.033	.025	.013	.005	.003	.001
N U E											
2	1.011	1.010	1.008	1.007	1.006	1.005	1.004	1.002	1.001	1.000	1.000
3	1.023	1.021	1.017	1.014	1.012	1.010	1.008	1.004	1.002	1.001	1.000
4	1.034	1.032	1.026	1.022	1.019	1.016	1.012	1.006	1.003	1.001	1.000
5	1.045	1.042	1.034	1.029	1.025	1.020	1.016	1.008	1.003	1.002	1.000
6	1.056	1.053	1.043	1.036	1.031	1.026	1.020	1.011	1.004	1.002	1.000
7	1.067	1.063	1.051	1.043	1.037	1.031	1.024	1.013	1.005	1.003	1.000
8	1.078	1.074	1.060	1.050	1.043	1.036	1.028	1.015	1.006	1.003	1.001
9	1.089	1.084	1.068	1.057	1.049	1.041	1.032	1.017	1.007	1.004	1.001
10	1.100	1.094	1.076	1.064	1.055	1.046	1.036	1.019	1.008	1.004	1.001
12	1.122	1.115	1.093	1.078	1.068	1.056	1.044	1.023	1.010	1.005	1.001
14	1.143	1.135	1.110	1.092	1.080	1.066	1.052	1.028	1.011	1.006	1.001
16	1.165	1.155	1.126	1.106	1.092	1.076	1.060	1.032	1.013	1.007	1.002
18	1.186	1.175	1.143	1.120	1.104	1.087	1.068	1.036	1.015	1.008	1.002
20	1.207	1.195	1.159	1.134	1.116	1.097	1.075	1.040	1.017	1.008	1.002
25	1.259	1.244	1.199	1.169	1.146	1.122	1.095	1.051	1.021	1.011	1.003
30	1.309	1.292	1.239	1.203	1.176	1.147	1.115	1.061	1.026	1.013	1.003
35	1.359	1.339	1.279	1.236	1.205	1.171	1.134	1.072	1.030	1.015	1.003
40	1.408	1.386	1.317	1.270	1.235	1.196	1.154	1.082	1.034	1.017	1.004
50	1.503	1.476	1.394	1.336	1.292	1.245	1.193	1.104	1.043	1.022	[illegible]

TAFEL DES FAKTORS ROH FUER DEN SICHERHEITSINDEX BETA

DIESE TAFELWERTE KORRESPONDIEREN MIT DEN TAFELWERTEN (PF) DER
PARABOLISCHEN CHIQUDRATVERTEILUNG FUER BETA = 6.0

B E T A = 6.0

ROH = KOREKTURFAKTOR FUER BETA
 = ϕ-1(PF)/BETA
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
 = 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

ϕ (-BETA) = .990E-09

R	6.0	7.0	8.0	10.0	12.0	15.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	.08	.071	.063	.050	.042	.033	.025	.013	.005	.003	.001
N U E											
2	1.009	1.008	1.007	1.006	1.005	1.004	1.003	1.002	1.001	1.000	1.000
3	1.019	1.017	1.015	1.013	1.011	1.009	1.007	1.004	1.001	1.001	1.000
4	1.029	1.026	1.023	1.020	1.017	1.014	1.011	1.006	1.002	1.001	1.000
5	1.038	1.034	1.031	1.026	1.022	1.018	1.014	1.008	1.003	1.002	1.000
6	1.047	1.042	1.038	1.032	1.028	1.023	1.018	1.010	1.004	1.002	1.000
7	1.057	1.051	1.046	1.039	1.033	1.028	1.022	1.011	1.005	1.002	1.000
8	1.066	1.059	1.054	1.045	1.039	1.032	1.025	1.013	1.006	1.003	1.000
9	1.075	1.067	1.061	1.051	1.045	1.037	1.029	1.015	1.006	1.003	1.001
10	1.085	1.076	1.069	1.058	1.050	1.042	1.032	1.017	1.007	1.004	1.001
12	1.103	1.092	1.084	1.071	1.061	1.051	1.040	1.021	1.009	1.004	1.001
14	1.121	1.109	1.099	1.083	1.072	1.060	1.047	1.025	1.010	1.005	1.001
16	1.139	1.125	1.114	1.096	1.083	1.069	1.054	1.029	1.012	1.006	1.001
18	1.157	1.141	1.128	1.109	1.094	1.078	1.061	1.033	1.014	1.007	1.002
20	1.175	1.157	1.143	1.121	1.105	1.087	1.068	1.037	1.015	1.008	1.002
25	1.219	1.197	1.179	1.152	1.132	1.110	1.086	1.046	1.019	1.010	1.002
30	1.262	1.237	1.215	1.183	1.159	1.133	1.104	1.056	1.023	1.012	1.003
35	1.305	1.275	1.251	1.213	1.186	1.155	1.122	1.066	1.027	1.014	1.003
40	1.347	1.313	1.286	1.244	1.212	1.178	1.140	1.075	1.031	1.016	1.004
50	1.429	1.388	1.355	1.303	1.264	1.222	1.175	1.094	1.039	1.020	1.004

TAFEL DES FAKTORS ROH FUER DEN SICHERHEITSINDEX BETA

DIESE TAFELWERTE KORRESPONDIEREN MIT DEN TAFELWERTEN (PF) DER PARABOLISCHEN CHIQUDRATVERTEILUNG FUER BETA = 6.5

BETA = 6.5

ROH = KORREKTURFAKTOR FUER BETA
= Φ^{-1}(PF)/BETA
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ (-BETA) = .404E-10

R	6.5	7.0	8.0	10.0	12.0	15.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	.08	.071	.063	.050	.042	.033	.025	.013	.005	.003	.001
NUE											
2	1.008	1.007	1.007	1.006	1.005	1.004	1.003	1.002	1.000	1.000	1.000
3	1.016	1.015	1.014	1.012	1.010	1.008	1.006	1.003	1.001	1.001	1.000
4	1.024	1.023	1.021	1.018	1.015	1.013	1.010	1.005	1.002	1.001	1.000
5	1.032	1.031	1.028	1.023	1.020	1.017	1.013	1.007	1.003	1.001	1.000
6	1.040	1.038	1.035	1.029	1.025	1.021	1.016	1.009	1.004	1.002	1.000
7	1.048	1.046	1.042	1.035	1.030	1.025	1.020	1.011	1.004	1.002	1.000
8	1.056	1.053	1.048	1.041	1.035	1.029	1.023	1.012	1.005	1.003	1.000
9	1.064	1.061	1.055	1.047	1.040	1.034	1.026	1.014	1.006	1.003	1.000
10	1.072	1.069	1.062	1.053	1.046	1.038	1.030	1.016	1.007	1.003	1.001
12	1.088	1.084	1.076	1.064	1.056	1.046	1.036	1.019	1.008	1.004	1.001
14	1.104	1.098	1.089	1.076	1.066	1.055	1.043	1.023	1.010	1.005	1.001
16	1.119	1.113	1.103	1.087	1.076	1.063	1.049	1.026	1.011	1.006	1.001
18	1.135	1.128	1.116	1.099	1.086	1.071	1.056	1.030	1.013	1.006	1.001
20	1.150	1.143	1.130	1.110	1.095	1.080	1.063	1.034	1.014	1.007	1.001
25	1.188	1.179	1.163	1.138	1.120	1.100	1.079	1.042	1.018	1.009	1.002
30	1.225	1.214	1.195	1.166	1.145	1.121	1.095	1.051	1.021	1.011	1.002
35	1.262	1.250	1.228	1.194	1.169	1.142	1.111	1.060	1.025	1.013	1.002
40	1.298	1.284	1.260	1.221	1.193	1.162	1.128	1.069	1.029	1.015	1.003
50	1.370	1.352	1.322	1.276	1.241	1.202	1.160	1.087	1.036	1.018	1.004

TAFEL DES FAKTORS ROH FUER DEN SICHERHEITSINDEX BETA

DIESE TAFELWERTE KORRESPONDIEREN MIT DEN TAFELWERTEN (PF) DER PARABOLISCHEN CHIQUDRATVERTEILUNG FUER BETA = 7.0

BETA = 7.0

ROH = KORREKTURFAKTOR FUER BETA
= Φ^{-1} (PF)/BETA
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ (-BETA) = .129E-11

R	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0	15.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	.07	.063	.056	.050	.042	.033	.025	.013	.005	.003	.001
NUE											
2	1.007	1.006	1.006	1.005	1.004	1.004	1.003	1.001	1.000	1.000	1.000
3	1.014	1.013	1.012	1.011	1.009	1.008	1.006	1.003	1.001	1.001	1.000
4	1.021	1.019	1.018	1.016	1.014	1.012	1.009	1.005	1.002	1.001	1.000
5	1.028	1.025	1.023	1.021	1.018	1.015	1.012	1.006	1.003	1.001	1.000
6	1.035	1.032	1.029	1.027	1.023	1.019	1.015	1.008	1.003	1.002	1.000
7	1.042	1.038	1.035	1.032	1.028	1.023	1.018	1.010	1.004	1.002	1.000
8	1.049	1.044	1.040	1.037	1.032	1.027	1.021	1.011	1.005	1.002	1.000
9	1.056	1.050	1.046	1.043	1.037	1.031	1.024	1.013	1.005	1.003	1.000
10	1.062	1.057	1.052	1.048	1.042	1.035	1.027	1.015	1.006	1.003	1.001
12	1.076	1.069	1.063	1.059	1.051	1.042	1.033	1.018	1.007	1.004	1.001
14	1.090	1.082	1.075	1.069	1.060	1.050	1.039	1.021	1.009	1.004	1.001
16	1.103	1.094	1.086	1.080	1.069	1.058	1.045	1.024	1.010	1.005	1.001
18	1.117	1.106	1.097	1.090	1.078	1.066	1.051	1.028	1.012	1.006	1.001
20	1.130	1.118	1.109	1.101	1.087	1.073	1.058	1.031	1.013	1.007	1.001
25	1.163	1.149	1.137	1.126	1.110	1.092	1.073	1.039	1.016	1.008	1.002
30	1.196	1.179	1.164	1.152	1.133	1.111	1.088	1.047	1.020	1.010	1.002
35	1.228	1.208	1.192	1.177	1.155	1.130	1.103	1.056	1.023	1.012	1.002
40	1.259	1.237	1.219	1.203	1.177	1.149	1.117	1.064	1.027	1.014	1.003
50	1.322	1.295	1.272	1.252	1.221	1.186	1.147	1.080	1.034	1.017	1.003

TAFEL DES FAKTORS ROH FUER DEN SICHERHEITSINDEX BETA

DIESE TAFELWERTE KORRESPONDIFREN MIT DEN TAFELWERTEN (PF) DER
PARABOLISCHEN CHIQUDRATVERTEILUNG FUER BETA = 2.0

BETA = 2.0

ROH = KOREKTURFAKTOR FUER BETA
= Φ^{-1}(PF)/BETA
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ(-BETA) = .228E-01

R	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	13.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	-.25	-.125	-.083	-.063	-.050	-.038	-.025	-.013	-.005	-.003	-.001
NUE											
2	.823	.923	.952	.965	.973	.979	.987	.993	.997	.998	.999
3	.671	.847	.904	.931	.946	.959	.974	.988	.995	.998	.999
4	.543	.777	.858	.897	.919	.940	.962	.982	.994	.998	.999
5	.426	.708	.812	.863	.892	.919	.949	.975	.991	.996	.999
6	.319	.642	.767	.829	.866	.898	.936	.969	.988	.994	.999
7	.218	.578	.723	.796	.839	.878	.923	.963	.986	.993	.999
8	.122	.516	.679	.763	.813	.858	.910	.956	.983	.992	.999
9	.031	.455	.636	.730	.787	.838	.897	.950	.981	.991	.999
10		.396	.593	.698	.761	.818	.884	.944	.978	.990	.999
12		.282	.510	.633	.709	.778	.859	.931	.973	.987	.998
14		.172	.428	.570	.657	.739	.833	.918	.968	.985	.998
16		.067	.349	.507	.606	.699	.807	.906	.963	.982	.997
18			.271	.446	.556	.660	.781	.893	.958	.980	.997
20			.194	.385	.506	.621	.756	.880	.953	.977	.996
25			.009	.235	.382	.523	.692	.848	.941	.971	.995
30				.091	.261	.427	.628	.816	.928	.964	.994
35					.143	.333	.565	.785	.915	.958	.992
40					.027	.239	.502	.753	.902	.952	.991
50						.057	.377	.689	.877	.939	.988

TAFEL DES FAKTORS ROH FUER DEN SICHERHEITSINDEX BETA

DIESE TAFELWERTE KORRESPONDIFREN MIT DEN TAFELWERTEN (PF) DER
PARABOLISCHEN CHIQUDRATVERTEILUNG FUER BETA = 2.5

BETA = 2.5

ROH = KOREKTURFAKTOR FUER BETA
= Φ^{-1}(PF)/BETA
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ(-BETA) = .621E-02

R	2.5	4.0	6.0	8.0	10.0	13.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	-.20	-.125	-.083	-.063	-.050	-.038	-.025	-.013	-.005	-.003	-.001
NUE											
2	.877	.934	.960	.971	.978	.983	.989	.995	.998	.999	1.000
3	.767	.868	.919	.942	.955	.967	.979	.990	.996	.998	1.000
4	.674	.808	.881	.914	.934	.950	.969	.985	.995	.998	1.000
5	.589	.750	.842	.886	.911	.934	.958	.980	.992	.996	1.000
6	.509	.695	.805	.859	.890	.917	.948	.975	.990	.995	.999
7	.435	.641	.768	.831	.868	.901	.937	.970	.988	.994	.999
8	.364	.590	.732	.804	.846	.884	.927	.965	.986	.994	.999
9	.297	.539	.697	.777	.825	.868	.917	.960	.984	.993	.999
10	.232	.490	.661	.750	.804	.852	.906	.955	.982	.992	.999
12	.109	.395	.592	.698	.761	.819	.885	.944	.979	.990	.998
14		.305	.525	.645	.719	.787	.865	.934	.974	.988	.998
16		.218	.459	.594	.677	.755	.844	.924	.970	.986	.998
18		.134	.395	.543	.636	.723	.823	.914	.966	.984	.997
20		.053	.332	.493	.595	.691	.802	.903	.962	.982	.997
25			.180	.371	.494	.612	.750	.878	.952	.977	.996
30			.036	.253	.395	.534	.699	.852	.942	.971	.995
35				.138	.299	.457	.648	.827	.932	.966	.994
40				.027	.204	.381	.597	.801	.922	.961	.993
50					.021	.232	.496	.750	.901	.951	.991

T A F E L   D E S   F A K T O R S   R O H   F U E R   D E N   S I C H E R H E I T S I N D E X   B E T A

DIESE TAFELWERTE KORRESPONDIEREN MIT DEN TAFELWERTEN (PF) DER
PARABOLISCHEN CHIQUDRATVERTEILUNG FUER BETA = 3.0

B E T A = 3.0

ROH = KOREKTURFAKTOR FUER BETA
= Φ^{-1} (PF)/BETA
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ(-BETA) = .135E-02

R	3.0	4.0	6.0	8.0	10.0	13.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	-.17	-.125	-.083	-.063	-.050	-.038	-.025	-.013	-.005	-.003	-.001
NUE											
2	.910	.940	.965	.975	.981	.986	.991	.996	.998	.999	1.000
3	.826	.881	.929	.950	.962	.972	.982	.992	.997	.999	1.000
4	.755	.827	.895	.926	.943	.958	.974	.988	.996	.998	1.000
5	.690	.777	.862	.902	.924	.943	.965	.983	.994	.997	1.000
6	.629	.729	.830	.878	.905	.929	.956	.979	.992	.996	.999
7	.571	.682	.798	.854	.887	.915	.947	.975	.990	.995	.999
8	.516	.637	.767	.831	.868	.902	.938	.970	.989	.995	.999
9	.463	.593	.736	.808	.850	.888	.929	.966	.987	.994	.999
10	.412	.551	.706	.785	.832	.874	.921	.962	.985	.993	.999
12	.315	.469	.646	.740	.796	.846	.903	.953	.982	.991	.999
14	.224	.391	.589	.695	.760	.819	.886	.945	.979	.990	.998
16	.138	.316	.532	.651	.724	.792	.868	.936	.975	.988	.998
18	.055	.244	.477	.608	.689	.764	.851	.928	.972	.986	.998
20		.175	.423	.565	.654	.737	.833	.919	.968	.985	.997
25		.011	.293	.461	.568	.670	.789	.897	.960	.980	.996
30			.170	.360	.484	.604	.746	.876	.951	.976	.996
35			.052	.263	.402	.539	.703	.854	.943	.972	.995
40				.168	.322	.474	.660	.833	.934	.968	.994
50					.167	.349	.575	.790	.918	.959	.992

T A F E L   D E S   F A K T O R S   R O H   F U E R   D E N   S I C H E R H E I T S I N D E X   B E T A

DIESE TAFELWERTE KORRESPONDIEREN MIT DEN TAFELWERTEN (PF) DER
PARABOLISCHEN CHIQUDRATVERTEILUNG FUER BETA = 3.5

B E T A = 3.5

ROH = KOREKTURFAKTOR FUER BETA
= Φ^{-1} (PF)/BETA
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ(-BETA) = .233E-03

R	3.5	4.0	6.0	8.0	10.0	13.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	-.14	-.125	-.083	-.063	-.050	-.038	-.025	-.013	-.005	-.003	-.001
NUE											
2	.932	.944	.968	.978	.983	.988	.992	.996	.998	.999	1.000
3	.865	.888	.936	.955	.966	.975	.985	.993	.997	.999	1.000
4	.810	.840	.905	.934	.950	.963	.977	.989	.996	.998	1.000
5	.758	.795	.876	.913	.933	.950	.969	.985	.994	.997	1.000
6	.709	.751	.847	.892	.917	.938	.962	.982	.993	.997	.999
7	.663	.710	.819	.871	.900	.926	.954	.978	.992	.996	.999
8	.619	.669	.791	.850	.884	.914	.946	.974	.990	.995	.999
9	.576	.631	.764	.830	.868	.902	.939	.971	.989	.995	.999
10	.535	.593	.737	.810	.852	.890	.931	.967	.987	.994	.999
12	.456	.520	.685	.770	.820	.866	.916	.960	.984	.992	.999
14	.381	.451	.633	.731	.789	.842	.901	.952	.982	.991	.998
16	.310	.385	.584	.692	.758	.818	.885	.945	.979	.990	.998
18	.243	.322	.535	.654	.727	.794	.870	.937	.976	.988	.998
20	.178	.261	.487	.616	.696	.770	.855	.930	.973	.987	.998
25	.026	.117	.373	.525	.621	.712	.817	.911	.966	.983	.997
30			.265	.436	.548	.654	.779	.893	.958	.979	.996
35			.162	.351	.476	.597	.742	.874	.951	.976	.995
40			.063	.268	.406	.541	.705	.856	.944	.972	.995
50				.110	.270	.432	.631	.819	.929	.965	.993

T A F E L   D E S   F A K T O R S   R O H   F U E R   D E N   S I C H E R H E I T S I N D E X   B E T A

DIESE TAFELWERTE KORRESPONDIEREN MIT DEN TAFELWERTEN (PF) DER PARABOLISCHEN CHIQUDRATVERTEILUNG FUER BETA = 3.0

B E T A = 3.0

T A F E L   D E S   F A K T O R S   R O H   F U E R   D E N   S I C H E R H E I T S I N D E X   B E T A

DIESE TAFELWERTE KORRESPONDIEREN MIT DEN TAFELWERTEN (PF) DER
PARABOLISCHEN CHIQUDRATVERTEILUNG FUER BETA = 4.0

B E T A = 4.0

ROH = KOREKTURFAKTOR FUER BETA
= Φ^{-1}(PF)/BETA
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ(-BETA) = .317E-04

R	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	15.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	-.13	-.083	-.063	-.050	-.042	-.033	-.025	-.013	-.005	-.003	-.001
NUE											
2	.947	.971	.980	.985	.988	.991	.993	.997	.999	.999	1.000
3	.893	.940	.959	.969	.975	.981	.986	.993	.997	.999	1.000
4	.848	.913	.940	.954	.963	.972	.980	.990	.996	.998	1.000
5	.807	.886	.921	.939	.951	.962	.973	.987	.995	.998	1.000
6	.767	.859	.902	.925	.939	.953	.966	.984	.994	.997	.999
7	.729	.834	.883	.910	.927	.944	.959	.981	.993	.996	.999
8	.693	.809	.864	.896	.916	.934	.952	.977	.991	.996	.999
9	.657	.784	.846	.881	.904	.925	.946	.974	.990	.995	.999
10	.623	.760	.828	.867	.892	.916	.939	.971	.989	.995	.999
12	.557	.713	.792	.839	.869	.898	.925	.964	.986	.993	.999
14	.495	.666	.757	.810	.845	.879	.912	.958	.984	.992	.999
16	.435	.622	.722	.783	.822	.861	.898	.951	.981	.991	.998
18	.378	.578	.688	.755	.799	.843	.885	.945	.979	.990	.998
20	.324	.535	.654	.728	.776	.825	.871	.938	.976	.988	.998
25	.195	.432	.572	.660	.720	.779	.838	.922	.970	.985	.997
30	.076	.335	.493	.595	.665	.735	.804	.906	.963	.982	.997
35		.243	.416	.531	.610	.691	.771	.889	.957	.979	.996
40		.155	.342	.468	.556	.647	.738	.873	.951	.976	.995
50			.201	.347	.452	.561	.673	.841	.938	.969	.994

T A F E L   D E S   F A K T O R S   R O H   F U E R   D E N   S I C H E R H E I T S I N D E X   B E T A

DIESE TAFELWERTE KORRESPONDIEREN MIT DEN TAFELWERTEN (PF) DER
PARABOLISCHEN CHIQUDRATVERTEILUNG FUER BETA = 4.5

B E T A = 4.5

ROH = KOREKTURFAKTOR FUER BETA
= Φ^{-1}(PF)/BETA
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ(-BETA) = .340E-05

R	4.5	6.0	8.0	10.0	12.0	15.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	-.11	-.083	-.063	-.050	-.042	-.033	-.025	-.013	-.005	-.003	-.001
NUE											
2	.957	.972	.981	.986	.989	.991	.994	.997	.999	.999	1.000
3	.913	.944	.962	.972	.977	.983	.988	.994	.998	.999	1.000
4	.876	.918	.944	.958	.967	.974	.982	.991	.997	.998	1.000
5	.842	.893	.927	.944	.956	.966	.975	.988	.995	.998	1.000
6	.810	.869	.909	.931	.945	.957	.969	.985	.994	.997	.999
7	.778	.845	.892	.918	.934	.949	.963	.983	.993	.997	.999
8	.748	.822	.875	.905	.923	.941	.957	.980	.992	.996	.999
9	.718	.800	.858	.892	.912	.932	.951	.977	.991	.996	.999
10	.690	.778	.842	.879	.902	.924	.945	.974	.990	.995	.999
12	.634	.734	.809	.853	.881	.907	.933	.968	.988	.994	.999
14	.581	.692	.777	.827	.860	.891	.921	.962	.985	.993	.999
16	.530	.651	.745	.802	.839	.874	.908	.956	.983	.992	.998
18	.481	.611	.714	.777	.818	.858	.896	.951	.981	.991	.998
20	.434	.572	.684	.752	.797	.841	.884	.945	.979	.989	.998
25	.323	.478	.609	.691	.746	.801	.854	.930	.973	.987	.997
30	.220	.389	.536	.631	.696	.760	.824	.916	.967	.984	.997
35	.124	.305	.467	.573	.646	.720	.794	.901	.962	.981	.996
40	.033	.226	.400	.516	.598	.681	.764	.886	.956	.978	.996
50		.076	.272	.407	.503	.603	.706	.857	.944	.973	.995

T A F E L D E S F A K T O R S R O H F U E R D E N S I C H E R H E I T S I N D E X B E T A

T A F E L D E S F A K T O R S R O H F U E R D E N S I C H E R H E I T S I N D E X B E T A

DIESE TAFELWERTE KORRESPONDIEREN MIT DEN TAFELWERTEN (PF) DER
PARABOLISCHEN CHIQUADRATVERTEILUNG FUER BETA = 5.0

B E T A = 5.0

ROH = KOREKTURFAKTOR FUER BETA
= ϕ^{-1} (PF)/BETA
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

ϕ(-BETA) = .287E-06

R	5.0	6.0	8.0	10.0	12.0	15.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	-.10	-.083	-.063	-.050	-.042	-.033	-.025	-.013	-.005	-.003	-.001
NUE											
2	.965	.974	.983	.987	.990	.992	.994	.997	.999	.999	1.000
3	.928	.946	.964	.974	.979	.984	.989	.995	.998	.999	1.000
4	.898	.922	.948	.961	.969	.976	.983	.992	.997	.999	1.000
5	.869	.898	.931	.948	.959	.969	.977	.989	.996	.998	1.000
6	.842	.876	.915	.936	.949	.961	.972	.987	.995	.997	.999
7	.816	.854	.899	.924	.939	.953	.966	.984	.994	.997	.999
8	.790	.833	.884	.912	.929	.945	.961	.982	.993	.996	.999
9	.765	.812	.868	.900	.919	.938	.955	.979	.992	.996	.999
10	.741	.791	.853	.888	.910	.930	.950	.976	.991	.995	.999
12	.693	.751	.823	.864	.890	.915	.939	.971	.989	.994	.999
14	.648	.712	.793	.840	.871	.900	.927	.966	.987	.993	.999
16	.604	.674	.764	.817	.852	.885	.916	.960	.985	.992	.999
18	.561	.637	.735	.794	.832	.870	.905	.955	.983	.991	.998
20	.520	.601	.707	.771	.814	.855	.894	.950	.981	.990	.998
25	.422	.514	.638	.715	.767	.817	.867	.937	.976	.988	.998
30	.332	.432	.571	.660	.721	.781	.839	.923	.970	.985	.997
35	.248	.355	.507	.607	.675	.744	.812	.910	.965	.983	.997
40	.168	.281	.445	.555	.631	.708	.785	.897	.960	.980	.996
50	.019	.144	.328	.454	.54[illegible]	.637	.732	.871	.950	.975	.995

T A F E L D E S F A K T O R S R O H F U E R D E N S I C H E R H E I T S I N D E X B E T A

DIESE TAFELWERTE KORRESPONDIEREN MIT DEN TAFELWERTEN (PF) DER
PARABOLISCHEN CHIQUADRATVERTEILUNG FUER BETA = 5.5

B E T A = 5.5

ROH = KOREKTURFAKTOR FUER BETA
= ϕ^{-1} (PF)/BETA
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

ϕ(-BETA) = .190E-07

R	5.5	6.0	8.0	10.0	12.0	15.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	-.09	-.083	-.063	-.050	-.042	-.033	-.025	-.013	-.005	-.003	-.001
NUE											
2	.971	.974	.983	.988	.990	.993	.995	.997	.999	.999	1.000
3	.940	.947	.966	.975	.980	.985	.989	.995	.998	.999	1.000
4	.914	.924	.950	.963	.971	.978	.984	.993	.997	.999	1.000
5	.890	.903	.935	.952	.962	.971	.979	.990	.996	.998	1.000
6	.867	.882	.920	.940	.952	.964	.974	.988	.995	.998	.999
7	.844	.861	.905	.929	.943	.957	.969	.985	.994	.997	.999
8	.823	.841	.890	.917	.934	.949	.964	.983	.993	.997	.999
9	.802	.822	.876	.906	.925	.942	.959	.981	.993	.996	.999
10	.781	.803	.862	.895	.916	.935	.954	.978	.992	.996	.999
12	.740	.765	.834	.873	.898	.921	.943	.973	.990	.995	.999
14	.701	.729	.806	.851	.880	.907	.933	.969	.988	.994	.999
16	.662	.693	.779	.830	.862	.893	.923	.964	.986	.993	.999
18	.625	.659	.752	.808	.844	.879	.913	.959	.984	.992	.998
20	.589	.625	.726	.787	.827	.866	.903	.954	.982	.991	.998
25	.502	.543	.662	.735	.784	.831	.877	.942	.978	.989	.998
30	.422	.467	.600	.684	.741	.797	.852	.930	.973	.987	.997
35	.346	.394	.540	.634	.699	.763	.827	.918	.968	.984	.997
40	.275	.326	.482	.586	.658	.730	.802	.906	.964	.982	.996
50	.144	.199	.373	.493	.577	.665	.753	.882	.954	.977	.995

TAFEL DES FAKTORS ROH FUER DEN SICHERHEITSINDEX BETA

TAFEL DES FAKTORS ROH FUER DEN SICHERHEITSINDEX BETA

DIESE TAFELWERTE KORRESPONDIEREN MIT DEN TAFELWERTEN (PF) DER
PARABOLISCHEN CHIQUDRATVERTEILUNG FUER BETA = 6.0

BETA = 6.0

ROH = KOREKTURFAKTOR FUER BETA
= Φ^{-1}(PF)/BETA
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ(-BETA) = .990E-09

R	6.0	7.0	8.0	10.0	12.0	15.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	-.08	-.071	-.063	-.050	-.042	-.033	-.025	-.013	-.005	-.003	-.001
NUE											
2	.975	.981	.984	.988	.991	.993	.995	.998	.999	.999	1.000
3	.949	.960	.967	.976	.982	.986	.990	.995	.998	.999	1.000
4	.927	.942	.952	.965	.973	.979	.985	.993	.997	.999	1.000
5	.906	.925	.938	.954	.964	.973	.981	.991	.996	.998	1.000
6	.886	.908	.924	.943	.955	.966	.976	.989	.996	.998	.999
7	.867	.892	.910	.933	.947	.959	.971	.987	.995	.997	.999
8	.849	.876	.896	.922	.938	.953	.966	.984	.994	.997	.999
9	.830	.861	.883	.912	.929	.946	.962	.982	.993	.997	.999
10	.812	.845	.869	.901	.921	.940	.957	.980	.992	.996	.999
12	.777	.815	.843	.881	.904	.927	.947	.975	.991	.995	.999
14	.743	.786	.817	.860	.888	.914	.938	.971	.989	.994	.999
16	.710	.757	.792	.840	.871	.901	.928	.967	.987	.994	.999
18	.677	.728	.767	.820	.854	.888	.919	.962	.985	.993	.999
20	.645	.700	.742	.800	.838	.875	.910	.958	.984	.992	.998
25	.568	.632	.682	.751	.798	.843	.886	.946	.979	.990	.998
30	.496	.567	.623	.704	.758	.811	.863	.935	.975	.988	.997
35	.428	.505	.567	.657	.719	.780	.839	.924	.971	.986	.997
40	.363	.446	.513	.612	.680	.749	.816	.913	.967	.983	.997
50	.245	.336	.411	.525	.605	.688	.771	.891	.958	.979	.996

TAFEL DES FAKTORS ROH FUER DEN SICHERHEITSINDEX BETA

DIESE TAFELWERTE KORRESPONDIEREN MIT DEN TAFELWERTEN (PF) DER
PARABOLISCHEN CHIQUDRATVERTEILUNG FUER BETA = 6.5

BETA = 6.5

ROH = KORREKTURFAKTOR FUER BETA
= Φ^{-1}(PF)/BETA
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

Φ(-BETA) = .404E-10

R	6.5	7.0	8.0	10.0	12.0	15.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	-.08	-.071	-.063	-.050	-.042	-.033	-.025	-.013	-.005	-.003	-.001
NUE											
2	.979	.981	.985	.989	.991	.993	.995	.998	.999	.999	1.000
3	.956	.961	.968	.977	.982	.987	.991	.996	.998	.999	1.000
4	.937	.944	.954	.967	.974	.981	.986	.994	.998	.999	1.000
5	.919	.927	.940	.956	.966	.974	.982	.992	.997	.998	1.000
6	.902	.912	.927	.946	.958	.968	.977	.990	.996	.998	.999
7	.885	.896	.914	.936	.949	.962	.973	.987	.995	.998	.999
8	.869	.882	.901	.926	.941	.956	.968	.985	.994	.997	.999
9	.853	.867	.888	.916	.933	.949	.964	.983	.994	.997	.999
10	.838	.852	.876	.906	.925	.943	.960	.981	.993	.996	.999
12	.807	.824	.851	.887	.910	.931	.951	.977	.991	.996	.999
14	.777	.796	.827	.868	.894	.919	.942	.973	.990	.995	.999
16	.748	.769	.803	.849	.878	.907	.933	.969	.988	.994	.999
18	.719	.742	.779	.830	.863	.894	.924	.965	.986	.993	.999
20	.691	.716	.756	.811	.848	.882	.915	.961	.985	.993	.998
25	.623	.652	.699	.766	.810	.852	.893	.950	.981	.991	.998
30	.558	.590	.644	.721	.772	.823	.872	.940	.977	.989	.998
35	.496	.531	.591	.677	.735	.793	.850	.929	.973	.987	.997
40	.437	.475	.539	.634	.699	.764	.828	.919	.969	.985	.997
50	.329	.370	.442	.552	.62[illegible]	.707	.785	.898	.961	.981	.996

TAFEL DES FAKTORS ROH FUER DEN SICHERHEITSINDEX BETA

DIESE TAFELWERTE KORRESPONDIEREN MIT DEN TAFELWERTEN (PF) DER PARABOLISCHEN CHIQUADRATVERTEILUNG FUER BETA = 7.0

BETA = 7.0

Φ (-BETA) = .129E-11

ROH = KOREKTURFAKTOR FUER BETA
= Φ^{-1}(PF)/BETA
NUE: = FREIHEITSGRAD
P: = PARAMETER DES ROTATIONSPARABOLOIDES
= 1/(2*R)
R: = KRUEMMUNGSRADIUS

R	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0	15.0	20.0	40.0	100.0	200.0	1000.0
P	-.07	-.063	-.056	-.050	-.042	-.033	-.025	-.013	-.005	-.003	-.001
NUE											
2	.981	.985	.988	.989	.992	.994	.996	.998	.999	.999	1.000
3	.961	.969	.974	.978	.983	.987	.991	.996	.998	.999	1.000
4	.945	.955	.963	.968	.975	.982	.987	.994	.998	.999	1.000
5	.930	.942	.951	.958	.967	.976	.983	.992	.997	.998	1.000
6	.915	.929	.940	.948	.960	.970	.979	.990	.996	.998	.999
7	.900	.917	.929	.939	.952	.964	.974	.988	.995	.998	.999
8	.886	.905	.919	.929	.944	.958	.970	.986	.995	.997	.999
9	.872	.893	.908	.920	.937	.952	.966	.984	.994	.997	.999
10	.859	.881	.898	.911	.929	.946	.962	.982	.993	.997	.999
12	.832	.858	.877	.892	.914	.935	.954	.979	.992	.996	.999
14	.806	.835	.857	.874	.899	.923	.945	.975	.990	.995	.999
16	.780	.812	.837	.856	.885	.912	.937	.971	.989	.994	.999
18	.754	.790	.817	.839	.870	.900	.929	.967	.987	.994	.999
20	.729	.768	.798	.821	.856	.889	.920	.963	.986	.993	.999
25	.668	.714	.749	.778	.820	.861	.900	.953	.982	.991	.998
30	.610	.662	.702	.735	.784	.833	.879	.944	.978	.989	.998
35	.553	.611	.657	.694	.750	.805	.859	.934	.975	.988	.997
40	.500	.562	.612	.653	.715	.778	.839	.924	.971	.986	.997
50	.400	.469	.527	.575	.649	.724	.798	.905	.964	.982	.996

Literaturverzeichnis

[1] First Order Reliability Concepts for Design Codes, Bulletin d' Information No. 112, Paris, Juli 1976

[2] Paloheimo, E.: Eine Bemessungsmethode, die sich auf variierende Fraktilen gründet, Symposium: Sicherheit von Betonbauten in Berlin, Deutscher Betonverein, Wiesbaden, 1973

[3] Fießler, B; Hawranek, R.; Rackwitz, R.: Numerische Methoden probabilistischer Bemessungsverfahren und Sicherheitsnachweise, Berichte zur Sicherheitstheorie der Bauwerke, Heft 14/1976, SFB 96, München 1976

[4] Lind, N.C.: Formulation of Probabilistic Design, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol.103, EM2, 1977

[5] Ditlevsen, O.: Structural Reliability and the Invariance Problem, Solid Mechanics Division, University of Waterloo, Rep. No. 22, Waterloo, Ontario, 1973

[6] Hasofer, A.M.; Lind, N.C.: An Exact and Invariant First Order Reliability Format, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 100, EM1, 1974

[7] Hasofer, A.M.: Reliability and Failure Probability, 1973, nicht veröffentlicht

[8] Veneziano, D.: Contributions to Second Moment Reliability Theory, Res. Rep. R 74-33, Dept. of Civ. Eng., M.I.T., 1974

[9] Ditlevsen, O.: Evaluation of the Effect on Structural Reliability of Slight Deviations from Hyperplane Limit State Surfaces, DIALOG 2-76, Danmarks Ingeniørakademi, Lyngby, 1976

[10] Abramowitz, M.; Stegun, J.A.: Handbook of Mathematical Functions, Dover Publ., New York, 1972

[11] Anderson, O.; Popp, W.; Schaffranek, M.; Steinmetz, D.; Stenger, H.: Schätzen und Testen, Springer-Verlag 1976

[12] Johnson, N.L.: On an Extension of the Connexion between Poisson and χ^2-Distributions, Biometrika, 46, 352-363, 1959

[13] Bargmann, R.E.; Ghosh, S.P.: Noncentral-Statistical Distribution Programs for a Computer Language, IBM Research Report R.G.-1231, 1964

[14] Sauer, R.; Szabo, J.: Mathematische Hilfsmittel des Ingenieurs, Teil IV, Springer-Verlag, 1970

[15] Wetzel, W.; Jöhnk, M.-D.; Naeve, P.: Statistische Tabellen, Berlin 1967

[16] Fießler, B.; Neumann, H.-J.; Rackwitz, R.: Quadratic Limit State Criteria in Structural Reliability, noch nicht veröffentlicht

[17] Imhof, J.P.: Computing the Distribution of Quadratic Forms in Normal Variables, Biometrika, 48, 419-426, 1961

[18] Johnson, N.I.; Kotz, S.: Distributions in Statistics, Continuous Univariate Distribution, 2, Houghton Mifflin Comp., Boston, 1970

In der Berichtsreihe sind bisher erschienen:

Heft 1/1972	Mathematische Hilfsmittel zur Sicherheitstheorie	(7 Beiträge)
Heft 2/1973	Seminarvorträge zur Sicherheitstheorie	(7 Beiträge)
Heft 3/1973	Beiträge zur Zuverlässigkeit von Betonbauwerken	(11 Beiträge)
Heft 4/1973	Wahrscheinlichkeitstheoretische Untersuchung der Knicksicherheit von schlanken Stahlbetonstützen	O. Knappe R. Rackwitz
Heft 5/1974	Zur Sicherheitstheorie im konstruktiven Stahlbau	Chr. Petersen R. Hawranek
Heft 6/1975	Monte Carlo-Studie zur Zuverlässigkeit von durchlaufenden Stahlbetondecken in Bürogebäuden	U. Kraemer R. Rackwitz E. Grasser
Heft 7/1973	Festigkeitsverhalten von Fichtenbrettschichtholz; Teil 1: Versuchseinrichtung für Kurzzeit-Druckversuche	P. Glos W. Maier U. Weigle
Heft 8/1975	Sicherheit gedrückter Stahlstützen, Teil I: Grundlagenvergleich mit den Versuchen der Europäischen Konvention der Stahlbauverbände am Profil IPE 160	R. Hawranek Chr. Petersen
Heft 9/1975	Zur Sicherheit von statisch beanspruchten HV-Verbindungen unter besonderem Bezug auf die DASt-Richtlinien der Jahre 1956, 1963 und 1974	R. Hawranek
Heft 10/1975	Deterministische und stochastische Analyse des Tragverhaltens von Stahlbetonbauteilen unter Last- und Zwangbeanspruchungen	G. Thielen
Heft 11/1976	Statistische Untersuchungen von geometrischen Abweichungen an ausgeführten Stahlbetonbauteilen, Teil 1: Geometrische Imperfektionen bei Stahlbetonstützen	G. Maaß R. Rackwitz
Heft 12/1976	Wahrscheinlichkeitstheoretische Analyse der Lebensdauerverteilung nach Freudenthal et al.	B. Krzykacz M. Kersken-Bradley
Heft 13/1976	Studien für ein stochastisches Modell der Betondruckfestigkeit, Teil 1: Untersuchung zur Betondruckfestigkeit im Bauwerk sowie zum Qualitätsangebot von Beton	R. Rackwitz K.F. Müller G. Maaß
Heft 14/1976	Numerische Methoden probabilistischer Bemessungsverfahren und Sicherheitsnachweise	B. Fießler H. Hawranek R. Rackwitz

Heft 15/1976	Die Anwendung der Bayesschen statistischen Entscheidungstheorie auf Probleme der Qualitätskontrolle von Beton	R. Rackwitz
Heft 16/1977	Zur Ermittlung optimaler Sortiermethoden bei der Herstellung von Brettschichtbauteilen	M. Kersken-Bradley W. Maier
Heft 17/1977	Zwei Anwendungen der Zuverlässigkeitstheorie erster Ordnung bei zeitlich veränderlichen Lasten	R. Rackwitz B. Fießler
Heft 18/1977	Zuverlässigkeitsuntersuchungen an Brettschichtträgern, bemessen nach DIN 1052	M. Kersken-Bradley
Heft 19/1977	Zur Untersuchung stationärer Lastwirkungsprozesse von statisch reagierenden Straßen- und Eisenbahnbrücken mit der Spektralmethode	T. Geidner
Heft 20/1977	Zur Verteilung der Parameter der Wöhlerlinie für St 37 und St 52	R. Quel
Heft 21/1977	Einige Beiträge zur Zuverlässigkeit von Bauwerken	R. Rackwitz