

Einarbeitung der Grundlagen zur
Festlegung von Sicherheitsanforderungen
für bauliche Anlagen in DIN 4071
- Grundbruchberechnungen

T 1983

T 1983

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

FORSCHUNGSBERICHT

Einarbeitung der Grundlagen zur Festlegung von
Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen
in DIN 4017 - Grundbruchberechnungen

Abschlußbericht zum Forschungsauftrag des
Institutes für Bautechnik Berlin (IfB)
(IV 1-5-435/85)

Februar 1987

Lehr- und Forschungsgebiet "Unterirdisches Bauen, Grundbau und
Bodenmechanik" der Bergischen Universität - GH Wuppertal
(Federführung)

Walz

(o. Prof. Dr.-Ing. B. Walz)

Genske

(Dipl.-Ing. Dipl.-Geol. D. Genske)

Lehrstuhl für Bodenmechanik und Felsmechanik der
TU Fridericiana Karlsruhe

Gudehus

(o. Prof. Dr.-Ing. G. Gudehus)

Schwing

(Dipl.-Ing. E. Schwing)

Lehrstuhl und Prüfamnt für Grundbau und Bodenmechanik der
TU München

Floss

(o. Prof. Dr.-Ing. R. Floss)

Peintinger

(Dipl.-Ing. Peintinger)

Soos

(Akad. Dir. Dipl.-Ing. von Soos)

LGA Nürnberg

Kany

(Prof. Dr.-Ing. M. Kany)

Sieler

(Dipl.-Ing. U. Sieler)

Forschende Stellen

- Lehr- und Forschungsgebiet "Unterirdisches Bauen, Grundbau und Bodenmechanik" der Bergischen Universität - GH Wuppertal
o. Prof. Dr.-Ing. B. Walz, Dipl.-Ing. Dipl.-Geol. D. Genske
(Federführung)

- Lehrstuhl für Bodenmechanik und Felsmechanik der
TU Fridericiana Karlsruhe
o. Prof. Dr.-Ing. G. Gudehus, Dipl.-Ing. E. Schwing

- Lehrstuhl und Prüfamnt für Grundbau und Bodenmechanik der
TU München
o. Prof. Dr.-Ing. R. Floss, Akad. Dir. Dipl.-Ing. von Soos,
Ing. Civ. Claudio Scheu, Dipl.-Ing. Peintinger

- LGA Nürnberg
Prof. Dr.-Ing. M. Kany, Dipl.-Ing. U. Sieler

Zusammenfassung

In der DIN 4017 - Grundbruchberechnungen - werden zwei mögliche Sicherheitsnachweise vorgeschlagen: Erstens die Reduzierung der Grundbruchlast durch einen globalen Sicherheitsfaktor und zweitens die Modifizierung des Reibungswinkels und der Kohäsion mit angemessenen Teilsicherheitsbeiwerten. Die Größe der Sicherheitsbeiwerte wurde ausschließlich empirisch bestimmt. In Übereinstimmung mit den Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen (GruSiBau 1981, DIN) sind Teilsicherheitsbeiwerte festzulegen, die die stochastische Natur der Parameter berücksichtigen und eine festgelegte Versagenswahrscheinlichkeit gewährleisten. Dieses Forschungsprojekt befaßt sich mit der Herleitung entsprechender Teilsicherheitsbeiwerte für die DIN 4017.

Summary

The DIN 4017 Standard - Analysis of Bearing Capacity for Raft Foundations - considers two ways of applying the factor of safety: Firstly by reducing the ultimate bearing capacity by means of a global factor of safety and secondly by modifying the friction angle and the cohesion with adequate partial safety factors. The absolute values of these safety factors are based upon an entirely empirical basis. In accordance with the *Principles Concerning the Specifications of Safety Requirements for Structures* (Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen (GruSiBau 1981, DIN)) partial safety factors are to be established, which take into account the stochastic nature of the relevant parameters and provide a certain probability of failure. This research project deals with the design of partial safety factors for the DIN 4017 Standard.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Rahmen	1
2 Ziele und Arbeitsweise	1
3 Mechanisches Modell	3
4 Stochastisches Modell	4
4.1 Scherparameter	4
4.2 Geometrische Größen	5
4.3 Bodenwichte	6
4.4 Einwirkungen	6
4.5 Zusammenfassung	7
5 Parallelrechnung GruSiBau/DIN 4017	8
6 Untersuchungsergebnisse	10
6.1 Lotrecht-mittige Beanspruchung	10
6.2 Lotrecht-außermittige Beanspruchung	11
6.3 Schräg-mittige Belastung	13
6.4 Schräg und außermittig belastete Fundamente	14
6.4.1 Fundamente für eingespannte Stützen	14
6.4.2 Staumauern	16
7 Praxisgerechte Teilsicherheitsbeiwerte - Zusammenfassung und Ausblick	18
8 Literatur	21

Anhänge

Abbildungen

1 Rahmen

Am 11.9.1985 erteilte das Institut für Bautechnik in Berlin der TU Karlsruhe, der TU München, der LGA Nürnberg und der Bergischen Universität - GH Wuppertal (Federführung) den Auftrag, die DIN 4017 - Grundbruch einer probabilistischen Überarbeitung im Sinne der "Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen (1980)" (GruSiBau) zu unterziehen. Konkret geht es bei diesem Pilotprojekt um die Erarbeitung von Teilsicherheitsbeiwerten für die Neufassung dieser Norm.

2 Ziele und Arbeitsweise

Auf der Grundlage der in den GruSiBau 1981 festgelegten Empfehlungen waren für die Grundbruchnorm DIN 4017 probabilistisch abgesicherte Teilsicherheitsbeiwerte herzuleiten. Weiterhin mußte überprüft werden, ob mit dem in den GruSiBau vorgesehenen allgemeinen, homogenen und invarianten Sicherheitsniveau eine nach dem bisherigen Stand der Technik wirtschaftliche Bemessung von Flachgründungen erfolgen kann. Ganz allgemein sollte das Forschungsvorhaben auch zur Weiterentwicklung und Harmonisierung der internationalen Regelwerke zum Thema Grundbruch beitragen.

Eine probabilistische Analyse des Grundbruchproblems bei nicht bindigen Böden wurde bereits von SCHULTZE & POTTHARST (1981) durchgeführt. Über diese Arbeit hinausgehend sollten in dieser Untersuchung insbesondere eingehen

- der Einfluß der Kohäsion und Erarbeitung entsprechender Teilsicherheitsbeiwerte,
- Untersuchung des Einflusses der Lastausmitte,
- probabilistische Untersuchung eines schrägen Lastangriffes.

Die Untersuchungen waren möglichst dimensionsfrei durchzuführen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollten die statistischen Eigenschaften der Bodenkennwerte festgelegt werden. Das stochastische Modell für die basisvariablen Beanspruchungen war vom Institut für Bautechnik (Dr. Biedermann/Dr. Hanisch) bzw. Dr. Pottharst vorzu-

geben (Antrag d. Forschungsvorhabens vom 15.5.1985, Seite 2).

Die Richtlinien zur Bearbeitung des Forschungsvorhabens und deren Fortschritte wurden von der Betreuergruppe am 6.12.1985 in Frankfurt, am 6.3.1986 in Nürnberg und am 10.10.1986 in Berlin diskutiert. Die Sachbearbeiter trafen sich am 18.11.1985 in Wuppertal, am 4.2.1986 in Karlsruhe, am 6.3.1986 in Nürnberg, am 9.5.1986 in München, am 24.7.1986 in Wuppertal und am 29.1.1987 in München.

Die generelle Vorgehensweise bei der Herleitung von Teilsicherheitsbeiwerten zeigt das Ablaufdiagramm der Abb. 1. Das mechanische Modell - in diesem Fall repräsentiert durch die Grundbruchbedingung im Sinne der DIN 4017 - und das stochastische Modell für alle in das mechanische Modell einfließenden Parameter werden formuliert. Es wird überprüft, inwieweit die Einführung eines Modellfaktors möglich ist. Die Bestimmung der verschiedenen Teilsicherheitsbeiwerte ist nun nach zwei Wegen möglich:

1. Direkte Ermittlung über die global getrennten Wichtungsfaktoren unter Berücksichtigung der vereinfachenden Annahmen in der GruSiBau (1981: 31).
2. Iterative Ermittlung über die exakte Bestimmung der Wichtungsfaktoren mit einem geeigneten Programmsystem (z. B. FORM nach FIESSLER 1979).

In dieser Forschungsarbeit wurde der zweite Weg beschrritten. Hierbei ergeben sich in Abhängigkeit von der Variation der Kennwerte schwankende Teilsicherheitsbeiwerte. Gewünscht sind aber konstante Teilsicherheitsbeiwerte. Im nächsten Schritt werden diese konstanten Teilsicherheitsbeiwerte abgeschätzt. Dadurch ergibt sich - wie bei der direkten Ermittlung - ein mitunter stark schwankendes Sicherheitsniveau. Durch Rückrechnung ist daher zu überprüfen, ob das von POTTHARST (1986: 19) empfohlene Toleranzmaß im Sicherheitsniveau

$$\beta = 4,7 \pm 0,5$$

gewährleistet bleibt. Unter der Voraussetzung eines zutreffenden stochastischen Modells wird davon ausgegangen, daß die mit den konstanten Teilsicherheitsbeiwerten durchgeführte Bemessung weder zu stark zur unsicheren, noch zu stark zur unwirtschaftlichen Bemessung abweicht.

3 Mechanisches Modell

Das mechanische Modell ist durch die Grundbruchgleichung der DIN 4017 festgelegt. In Übereinstimmung mit der Betreuergruppe wurde von der Gültigkeit dieses mechanischen Modells ausgegangen. Ein von 1,0 abweichender Modellfaktor konnte stochastisch nicht abgesichert werden. Die Grundbruchgleichung wurde zur übersichtlicheren Bearbeitung in eine dimensionslose Form gebracht

$$S^o = \frac{V_b}{B'^2 \cdot A \cdot \gamma_2} = \left[\frac{\gamma_1}{\gamma_2} \cdot \frac{D}{B'} \cdot N_d \cdot v'_d \cdot \kappa_d + N_b \cdot v'_b \cdot \kappa_b + \frac{c}{\gamma_2 \cdot B'} \cdot N_c \cdot v'_c \cdot \kappa_c \right] \cdot K.$$

Darin bedeuten

S^o	dimensionslose Beanspruchung
V_b	lotrechte Komponente der Grundbruchlast (kN)
B, B'	rechnerische Breite (m) für den schräg in Richtung der Seite B außermittig belasteten Gründungskörper $B' = B - 2e, e =$ Ausmitte (m)
A	Länge (m) des Gründungskörpers
D	geringste Gründungstiefe (m) unter Geländeoberfläche bzw. Kellerfußboden
c	Kohäsion des Bodens (kN/m^2)
N_c	Tragfähigkeitsbeiwert für den Einfluß der Kohäsion c nach DIN 4017
N_d	Tragfähigkeitsbeiwert für den Einfluß der seitlichen Auflast $\gamma_1 \cdot D$ nach DIN 4017
N_b	Tragfähigkeitsbeiwert für den Einfluß der Gründungsbreite B nach DIN 4017
v'_d, v'_b, v'_c	Formbeiwerte für den Einfluß der Grundrißform nach DIN 4017

γ_1	Wichte des Bodens oberhalb der Gründungssohle (kN/m^3)
γ_2	Wichte des Bodens unterhalb der Gründungssohle (kN/m^3)
$\kappa_d, \kappa_b, \kappa_c$	Neigungsbeiwerte nach DIN 4017, Teil 2, als Funktion der Neigung der Resultierenden δ_x in der Sohlfuge
$K = 1,0$	globaler Modellfaktor.

In Abbildung 2 ist der Versagensmechanismus bei schräger und außermittiger Belastung dargestellt.

4 Stochastisches Modell

4.1 Scherparameter

Die Festlegung des Verteilungstypes und des Variationskoeffizienten der Parameter Reibungswinkel ϕ und Kohäsion c stellte sich als eines der schwierigsten Probleme heraus. Sowohl für den Reibungswinkel als auch für die Kohäsion wurde als Verteilungstyp die Log-Normalverteilung festgelegt, eine physikalisch durchaus einleuchtende Vorgehensweise.

Im Einvernehmen mit der Betreuergruppe wurde vereinbart, für ϕ einen Variationskoeffizienten von 7,5 % festzulegen. Hierfür sprechen

- die Angaben von v. Soos, auf die bereits RACKWITZ und PEINTINGER (1981: 218) hinweisen,
- die Angaben von POTTHARST (in SCHULTZE & POTTHARST 1980: 8 ff), der zusätzlich eine Autokorrelationsfunktion berücksichtigte, sich jedoch nur auf nicht bindige Böden bezog.

Als Variationskoeffizient für die Kohäsion wurde ein Wert in der Größenordnung von 20 % vorgeschlagen, der zwar kleiner als der maximal beobachtete Variationskoeffizient ist, andererseits aber in der Größenordnung der Angaben von RACKWITZ und PEINTINGER (1981) liegt.

Der Einfluß der von diesen Werten abweichenden Variationskoeffizienten wurde für lotrecht-mittig beanspruchte Fundamente untersucht (Anhang 1).

Hinsichtlich der Möglichkeiten, den Variationskoeffizienten mittels Autokorrelation zu reduzieren, ist die wissenschaftliche Diskussion noch offen. Von Soos wies in seinem Vortrag im Rahmen des Seminars "Sicherheit im Grundbau" in Nürnberg (1986) darauf hin, daß der Ansatz einer Autokorrelation bei der Festlegung von Bodenparametern noch nicht ausreichend geklärt ist.

Neben der Festlegung von Verteilungstypen und Variationskoeffizienten mußten typische Scherparameter festgelegt werden, mit denen die Arbeitsgruppen in Karlsruhe, München, Nürnberg und Wuppertal arbeiten sollten. Auf der Grundlage der Vorschläge von Herrn von Soos (München) und Herrn Walz (Wuppertal) wurde eine Datenbasis für die Scherparameter erarbeitet. Dabei wurde von einer Zuordnung von Reibungswinkel und Kohäsion ausgegangen. Der Erfahrung nach haben bindige Böden mit hohem Reibungswinkel nur eine niedrige Kohäsion, bei kleinen Reibungswinkeln ist die Kohäsion andererseits umso höher. Abb. 3 veranschaulicht diesen Sachverhalt.

Den weiteren Untersuchungen wurde eine möglichst realistische Kombination von Reibungswinkel und Kohäsion zugrunde gelegt. Die Tabelle 1 zeigt die gewählte Datenbasis.

4.2 Geometrische Größen

In Übereinstimmung mit Untersuchungen von POTTHARST (in SCHULTZE & POTTHARST 1980: 6) wurde davon ausgegangen, daß die Abmessungen des Fundamentes keine streuenden Größen sind. Die Variationskoeffizienten von Breite, Tiefe und Länge des Fundamentes sind demnach im Vergleich zu den Streuungsmaßen von Reibungswinkel und Kohäsion vernachlässigbar.

Untersuchungen zu einer streuenden, geometrisch bedingten Lastausmitte sind in Abschnitt 6.2 erläutert.

4.3 Bodenwichte

In einer ersten grundlegenden Untersuchung wurde davon ausgegangen, daß sowohl Reibungswinkel ϕ und die Kohäsion, als auch die Wichten oberhalb und unterhalb der Gründungssohle streuen. Die Wichte wurde normalverteilt mit einem Variationskoeffizienten von 10 % angenommen. Für diese Situation wurden die Wichtungsfaktoren α_i (GruSiBau 1981: 28) und die daraus berechenbaren Teilsicherheitsbeiwerte über die ϕ -c-Kombination aufgetragen (Abb. 4).

Diese Untersuchung ergab einen vernachlässigbar kleinen Einfluß der streuenden Wichte oberhalb und unterhalb der Gründungssohle auf das Sicherheitsniveau ausgelasteter Fundamente. Dies bestätigt die Untersuchungen von GÄSSLER (1982: 31). In den weiteren Untersuchungen wurde daher davon ausgegangen, daß die Wichten deterministisch festgelegt werden dürfen.

4.4 Einwirkungen

Alle untersuchten Einwirkungen sind als streuende Größen definiert. Ein stochastisches Modell lag vor für Eigengewichtslasten und Bürohausnutzlasten (vgl. POTTHARST in SCHULTZE & POTTHARST 1980: 20 f).

Zu den stochastischen Eigenschaften anderer Verkehrslasten, wie Brücken- oder Windlasten, sowie deren Kombinationsbeiwerte, liegen bislang nur wenige Untersuchungen vor (BACHMANN 1981, HOSSER, KÖNIG & THEILE 1985).

Es wurden daher vereinfachende Parameterstudien durchgeführt, in denen die stochastischen Eigenschaften der Einwirkungen variiert wurden. Entsprechende Untersuchungen sind in Abschnitt 6.2 bis 6.4 dargestellt.

Eine zusätzliche Erschwernis mußte bei lotrecht-außermittigen und schrägen Lasten beachtet werden. Hier ist die von POTTHARST (1977: 40) durchgeführte globale Trennung von Lasten- und Festigkeitseinflüssen nicht mehr möglich. Sowohl die Berechnung der um die doppelte Ausmitte reduzierten Breite des außermittig belaste-

ten Fundamentes, als auch die Neigungsbeiwerte bei schräg beanspruchten Fundamenten sind lastabhängig. In Abschnitt 6.2 und 6.3 wird dieses Problem aufgegriffen.

Bei den durchgeführten Untersuchungen wurde in Übereinstimmung mit den GruSiBau (1981: 35) generell von einem Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_f = \gamma_S^0 = 1,3$, sowohl für die ständige als auch für die veränderliche Einwirkung ausgegangen. In einer abschließenden Studie wurde in Übereinstimmung mit Untersuchungen von HOSSER et al (1985:4) im Lastfall Eigengewicht von einem $\gamma_{OS}^0 = 1,35$ ausgegangen.

Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{sys} für Ungenauigkeiten im mechanischen Modell und Systemempfindlichkeiten (GruSiBau 1981: 37) wurde nach Rücksprache mit Herrn Dr. Hanisch vom Institut für Bautechnik (24.1.1986) gleich 1,0 gesetzt.

4.5 Zusammenfassung

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über das stochastische Modell der streuenden, haltenden und treibenden Komponenten der Grundbruchformel (siehe Seite 8).

Als streuende Größen wurden die Scherbeiwerte (Reibungswinkel und Kohäsion), sowie die Einwirkungen (ständige und veränderliche Lasten) festgelegt.

Als deterministisch wurden die geometrischen Abmessungen des Fundamentes, die Einbindetiefe und die Wichten des Bodens oberhalb und unterhalb der Fundamente festgelegt.

Parameter	Verteilungstyp ¹⁾	Variationskoeffizient (-)
Reibungswinkel φ	LN, $\tau = \frac{1}{2} \bar{\varphi}$ ³⁾	0,05, 0,075, 0,10
Kohäsion c	LN, $\tau = 0$	0,1, 0,2, 0,3
- vertikale Last, ständig G	N	0,05, 0,075, 0,10
- vertikale Last, veränderlich V		
- Bürohausnutzlast Q	ExI	0,63 ²⁾
- resultierende Last aus einem Lastarrangement	N	variierend
- horizontale Last H	ExI	0,05, 0,075, 0,1 ⁴⁾
	N	0,10 ⁵⁾
- Lastneigungsfaktor H/V	N	0,0, 0,05, 0,10, 0,20 ⁶⁾

1) N = Normalverteilung, LN = Log-Normalverteilung, ExI = Extremwert TYP I-Verteilung, τ = linksseitige Begrenzung der Log-Normalverteilung

2) $\alpha = \bar{Q}_n / \bar{G}_n = 2,0 / 5,0 = 0,4$ (Verhältnis der Last-Nennwerte)

3) τ wurde in den ersten Untersuchungen nicht berücksichtigt

4) nur von Münchner Arbeitsgruppe bearbeitet, dabei V als N-verteilt vorausgesetzt

5) nur von Karlsruher Arbeitsgruppe bearbeitet

6) nur von Wuppertaler Arbeitsgruppe bearbeitet.

5 Parallelrechnung GruSiBau/DIN 4017

Um die auf der Grundlage der GruSiBau festgelegten Teilsicherheitsbeiwerte mit den nach DIN 4017 angegebenen zu vergleichen, ist eine probabilistische Parallelrechnung notwendig. Ausgehend von der dimensionsfreien Grundbruchgleichung

$$S_k = \frac{S^0}{\gamma_{OS}^0} = f(\varphi^*, c^*, \gamma_1/\gamma_2, D/B, B/A) / \gamma_{OS}^0$$

- S_k = charakteristische dimensionslose Einwirkung
- S^* = Bemessungswert der dimensionslosen Einwirkung
- γ_{OS}^0 = Teilsicherheitsbeiwert (Eigengewicht) der Einwirkung

läßt sich die charakteristische Beanspruchung mit folgenden, vom Sicherheitsansatz abhängigen Parametern berechnen:

Ansatz	Bemessungswert	charakteristischer Wert	Sicherheitsbeiwert für		
			ϕ	c	S
GruSiBau	$\phi^* = \phi_k / \gamma_{O\phi}$ $c^* = c_k / \gamma_{Oc}$	$\phi_k = \bar{\phi}$ $c_k = \bar{c}$	1,20 ³⁾	1,80	1,30 ⁴⁾
DIN 4017 § 12.1	$\phi^* = \phi_{cal}$ $c^* = c_{cal}$	$\phi_k \stackrel{1)}{=} \phi_{cal} = \bar{\phi} - 2,5$ $c_k \stackrel{2)}{=} c_{cal} = 0,75\bar{c}$	1,00	1,00	2,0 = η_p
DIN 4017 § 12.2	$\phi^* = \text{atan} \frac{\tan \phi_{cal}}{\eta_\phi}$ $c^* = c_{cal} / \eta_c$	$\phi_k \stackrel{1)}{=} \phi_{cal} = \bar{\phi} - 2,5$ $c_k \stackrel{2)}{=} c_{cal} = 0,75\bar{c}$	1,25 = η_ϕ	2,00 = η_c	1,00

- 1) vgl. SCHULTZE & POTTHARST 1981: 11 und POTTHARST 1986: 20
- 2) nach Einschätzung der Forschungsgruppe festgelegt. Hierbei wird der erfahrungsmäßigen Abschätzung des herkömmlichen Rechenwertes für die Kohäsion Rechnung getragen
- 3) später auf 1,25 angehoben, siehe Abschnitt A 1-3
- 4) später auf 1,35 angehoben, siehe Abschnitt A 1-4.

Aus der charakteristischen dimensionslosen Einwirkung wird, unter Anwendung ihres stochastischen Modells, ihr Mittelwert berechnet. Der Mittelwert der Einwirkung und ihr stochastisches Modell sowie die Mittelwerte und stochastischen Modelle der haltenden Komponenten (Reibungswinkel und Kohäsion) dienen als Eingangswerte zur probabilistischen Berechnung des Sicherheitsindex β .

Das mit den neuen Teilsicherheitsbeiwerten nach GruSiBau erzielte Sicherheitsniveau läßt sich so mit den nach DIN 4017 geltenden Sicherheitsniveaus vergleichen. Voraussetzung ist jedoch, daß die

Abschätzung der charakteristischen Werte für die Parallelrechnung nach DIN 4017 zutrifft.

6 Untersuchungsergebnisse

6.1 Lotrecht-mittige Beanspruchung

Die Untersuchungsergebnisse für lotrecht-mittig beanspruchte Fundamente sind im Anhang A1 ausführlich erläutert. Zusammenfassend wird festgestellt:

1. In einer ersten Untersuchung wurden die Teilsicherheitsbeiwerte für den Reibungswinkel und die Kohäsion durch konstante Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{O\phi} = 1,2$ und $\gamma_{OC} = 1.8$ approximiert. ($\gamma_{O\phi}$ ist dabei direkt auf ϕ und nicht auf dessen Tangens zu beziehen.)
2. Das mit diesen Teilsicherheitsbeiwerten erzielte Sicherheitsniveau ist sowohl für ständige Lasten, als auch bei Berücksichtigung von Bürohausnutzlasten homogener und in weiten Bereichen wirtschaftlicher (Abb. 5) als nach DIN 4017. Nur bei hohen Reibungswinkeln ergeben sich unsichere Ergebnisse.
3. Die Einführung einer bodenmechanisch vertretbaren linksseitigen Begrenzung der Log-Normalverteilung des Reibungswinkels bei $\phi/2$ kompensiert diesen Nachteil zum Teil.
4. Parameterstudien zeigen, daß das Sicherheitsniveau unempfindlich reagiert auf eine Variation der Einbindetiefe, Fundamentform, Grundwasserstand und Fundamentbreite (Abb. 6 und 7).
5. Die Anhebung des Teilsicherheitsbeiwertes für ϕ auf 1,25 gewährleistet eine sichere Bemessung von Fundamentes sowohl für bindige als auch für nichtbindige Böden (Abb. 8 und 9). Durch Anhebung des Sicherheitsniveaus wird jedoch die Bemessung nach GruSiBau bei hohen Reibungswinkeln unwirtschaftlicher als nach der herkömmlichen DIN 4017, die in diesem Bereich das tolerable Sicherheitsniveau unterschreitet.

Diese grundlegende Studie zeigt, daß die Bemessung lotrecht zentrisch belasteter Fundamente mit den Teilsicherheitsbeiwerten

$$\gamma_{O\phi} = 1,25$$

$$\gamma_{OC} = 1,80$$

in den Bemessungsräumen, in denen die bisherige DIN 4017 unsichere Ergebnisse liefert, zu sicheren Ergebnissen im Sinne der GruSiBau führt, d. h.

$$\beta = 4,7 \pm 0,5.$$

In Bemessungsräumen mit bislang zu hoch liegendem Sicherheitsniveau, d. h. bei niedrigen Reibungswinkeln, bemißt man mit den neuen Teilsicherheitsbeiwerten dagegen wirtschaftlicher. Das Sicherheitsniveau ist insgesamt homogener.

Inwieweit diese Schlußfolgerungen auch für kompliziertere Lastkombinationen mit ungünstig und günstig wirkenden Anteilen zutreffen bleibt zu überprüfen.

6.2 Lotrecht-außermittige Beanspruchung

Die Untersuchungsergebnisse für lotrecht-außermittig beanspruchte Fundamente (Abb. 10) sind in Anhang A2 ausführlich erläutert. Zusammenfassend wird festgestellt:

1. Grundsätzlich sind drei Fälle zu unterscheiden:
 - A. Die Ausmitte streut nicht (Beispiel: Pendelstütze deren Ausmitte geometrisch festgelegt ist).
 - B. Ungewollte Ausmitte (Beispiel: schlanke Stütze).
 - C. Die Ausmitte wird bedingt durch ein Arrangement von Kräften und Momenten (allgemeiner Fall).
2. Im Fall A, der nicht streuenden Ausmitte, gilt für die anzusetzende Fundamentbreite

$$B' = B - 2e.$$

Da sowohl e als auch B nicht streuen, streut B' ebenfalls nicht. Die streuende Last wirkt nun zentrisch auf der um die doppelte Ausmitte verringerten Fundamentsohle. Alle für die lotrecht zentrisch belasteten Fundamente erzielten Ergebnisse sind hier anwendbar.

3. Im Falle B , der ungewollten Ausmitte, ist die maximal mögliche Exzentrizität durch ein additives Sicherheitselement im Sinne der GruSiBau (1981: 38) zu berücksichtigen. Es gilt unter Berücksichtigung von DIN 1054

$$e^* = \bar{e} + \delta \leq B/3.$$

Untersuchungen zur Größe des additiven Sicherheitselementes sind in Anhang A2 dargestellt.

4. Wird, wie im Fall C, die Ausmitte
- durch ein Arrangement von Vertikalkräften \bar{V}_i

$$\bar{e} = \frac{\Sigma \bar{M}}{\Sigma \bar{V}} = \frac{e_1 \cdot \bar{V}_1 + e_2 \cdot \bar{V}_2 + \dots + e_i \cdot \bar{V}_i}{\bar{V}_1 + \bar{V}_2 + \dots + \bar{V}_i}$$

oder - hier schon verallgemeinert -

$$\bar{e} = \frac{\Sigma \bar{M}}{\Sigma \bar{V}} = \frac{\Sigma \bar{M}_i + \Sigma e_j \cdot \bar{V}_j + \Sigma h_k \cdot \bar{H}_k}{\Sigma \bar{V}_j}$$

verursacht, dann ist die Ausmitte und deren Streuung eine Funktion der Einwirkungen. Für die Fundamentbreite gilt dann unter der Voraussetzung einer normalverteilten Ausmitte

$$B' = B - 2 \cdot \frac{\Sigma \bar{M}}{\Sigma \bar{V}}$$
$$s(B') = 2 \cdot s(\Sigma \bar{M} / \Sigma \bar{V}) \quad s = \text{Streuung.}$$

Die Annahme einer Normalverteilung läßt sich über den zentralen Grenzwertsatz der Statistik begründen. In einer ersten Studie wurde untersucht, inwieweit sich Schwankungen des Va-

riationskoeffizienten von B' auf das Sicherheitsniveau auswirken (Abb. 11).

5. Detaillierte Untersuchungen zur Größe der möglichen Ausmitte im Fall C und ihre Wirkung auf das Sicherheitsniveau sind im Anhang A2 dargestellt. Auch hier ist ein additives Sicherheitselement anzuwenden, um das infolge der streuenden Ausmitte abgesunkene Sicherheitsniveau anzuheben. Dies gilt jedoch nur, wenn in den Lastangaben nicht bereits ein deterministischer Extremwert für die Ausmitte vorgegeben ist.
6. Es bleibt zu überprüfen, inwieweit Einwirkungs-Komponenten auch eine haltende Wirkung ausüben können. (Siehe hierzu die Ergebnisse der Münchener Arbeitsgruppe).

6.3 Schräg-mittige Belastung

Die Untersuchungsergebnisse für schräg-mittige Beanspruchungen (Abb. 12) sind im Anhang A3 ausführlich dargestellt. Zusammengefaßt gilt:

1. Grundsätzlich ist zu unterscheiden, ob die Lastneigung streut oder nicht. Die Veränderung des Sicherheitsniveaus bei nicht streuender Neigung für die charakteristische Parameterkombination $D/B = B/A = \gamma_1/\gamma_2 = 1,0$ zeigt Abb. 13. Das Sicherheitsniveau wird danach nur unwesentlich von der Lastneigung beeinflusst.
2. Streut die Neigung, dann sinkt das Sicherheitsniveau sowohl mit zunehmender Neigung als auch mit zunehmender Streuung erheblich. Eine Auswertung für nicht bindige Böden zeigt Abb. 14.
3. Im Falle des unzulässig stark absinkenden Sicherheitsniveaus läßt sich über die Erhöhung des Teilsicherheitsbeiwertes der für die Lastneigung ursächlichen Horizontalbeanspruchung das Sicherheitsniveau anheben (siehe Bericht vom 21.10.1986). Eine Erhöhung des Teilsicherheitsbeiwertes für die Horizon-

talbeanspruchung γ_H widerspricht jedoch der Absicht der GruSiBau, Sicherheitsbeiwerte für die Lastseite bauartübergreifend festzulegen.

4. Zur Klärung dieses Aspektes ist eine genauere Untersuchung der haltenden und treibenden Wirkung der Lasten im Sinne der GruSiBau (1981: 35) und der den Lasten zugeordneten Kombinationsanweisungen nötig.

6.4 Schräg und außermittig belastete Fundamente

Die detaillierten Untersuchungsergebnisse zu 6.4.1 und 6.4.2 sind im Schlußbericht der Arbeitsgruppe München zusammengestellt. Zusammenfassend können, ausgehend von den Rechenannahmen, die in Bild 15 und 16 dargestellt sind, folgende Aussagen gemacht werden (die jedoch nur für das gewählte Beispiel gelten):

6.4.1 Fundamente für eingespannte Stützen

1. Ausgehend von den Untersuchungsergebnissen für lotrecht-mittige Belastungen wurde versucht, die Festlegung der Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{Op} = 1,25$ und $\gamma_{Oc} = 1,80$ zu übernehmen. Ein konstanter Teilsicherheitsbeiwert für γ_{OV} und γ_{OH} für die Vertikal- und Horizontallasten ließ sich nicht einführen, da der Wichtungsfaktor α_V der Vertikallast von positiven Werten für geringe Lastneigungen $\tan \delta$ zu negativen Werten bei großen Lastneigungen $\tan \delta$ umschlägt (vgl. Bild 18). V wirkt in diesem Fall haltend.
2. Es müssen deshalb folgende Kombinationen von Teilsicherheitsbeiwerten für die Lasten betrachtet werden:
 - a) $\gamma_{OV} = 1,3$ und $\gamma_{OH} = 1,3$ (vgl. Bild 17 und 18)
 - b) $\gamma_{OV} = 0,8$ und $\gamma_{OH} = 1,5$ (vgl. Bild 19 und 20).

Da in der rechnerischen Vertikallast sowohl ein Anteil aus ständiger Last mit $\gamma_F^G = 0,9$ als auch aus veränderlicher Last mit $\gamma_F^O = 0$ enthalten ist, dürfte im Mittel der gewählte Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_{OV} = 0,8$ für günstig wirkende

Vertikallast mit dem Vorschlag nach HOSSER, KÖNIG & THEILE (1985) bzw. der GruSiBau (1981) übereinstimmen.

3. Es ist ersichtlich (vgl. Bild 17 und 19), daß für geringe Lastneigungen $0 \leq \tan \delta < 0,10$ die Teilsicherheitsbeiwerte für die Lasten $\gamma_{OV} = \gamma_{OH} = 1,3$ und für Lastneigungen $0,1 \leq \tan \delta < 0,2$ die Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{OV} = 0,8$ und $\gamma_{OH} = 1,5$ ein nahezu ausreichendes Sicherheitsniveau $\beta > 4$ ergeben.
4. Eine Erhöhung der Teilsicherheitsbeiwerte der Scherparameter erbringt nur dann eine Anhebung des Sicherheitsniveaus, wenn die Lastneigungen $\tan \delta \leq 0,05$ sind. Bei kleinen Lastneigungen liegen die Wichtungsfaktoren α_{ϕ} und α_c (vgl. Bild 18 und 20) nämlich in der Größenordnung $-0,6$ bis $-0,9$. Bei großen Lastneigungen fallen die Wichtungsfaktoren α_{ϕ} und α_c nahezu auf 0 zurück und der Einfluß der Lasten dominiert.
5. Bei Lastneigungen $\tan \delta > 0,2$ ist das Sicherheitsniveau, insbesondere bei einer Exzentrizität der Vertikalkomponente zur belasteten Fundamentkante ($f > 0$) auch durch sinnvolle Variationen der Teilsicherheitsbeiwerte γ_{OV} und γ_{OH} nicht auf einen zulässigen Wert zu heben, da die Exzentrizität e für die Bemessungslasten größer als $b/3$ wird.

$$\begin{aligned} e/b &= M^*/V^* = (H^* \cdot h + V^* \cdot f)/V^* \\ &= (\bar{H} \cdot h \cdot \gamma_{OH} + \bar{V} \cdot \gamma_{OV} \cdot f)/(\bar{V} \cdot \gamma_{OV}) \\ &= \tan \delta \cdot h \cdot (\gamma_{OH}/\gamma_{OV}) + f \end{aligned}$$

V^*, H^*, M^* = Bemessungslasten bzw Bemessungsmomente
 \bar{V}, \bar{H} = charakteristische Werte (hier: Mittelwert)

6. Vergleich mit der bestehenden DIN 4017
Der Vergleich erfolgte unter den in Abschnitt 5 angegebenen Rechenannahmen.

a) Sicherheit auf die Lasten bezogen $\eta_p = 2$

Bild 21 zeigt, daß mit den Sicherheiten $\eta_p = 2$, bezogen auf die Lasten H und V ein ausreichendes Sicherheitsniveau bei Lastneigungen $0 \leq \tan \delta \leq 0,1$ mit Ausnahme des reinen Reibungsbodens erreicht wird. Dies war aus dem unter 1. genannten Ergebnis für den Wichtungsfaktor α_V zu erwarten. Für den reinen Reibungsboden ist das geringe Sicherheitsniveau auch bei geringen Lastneigungen $\tan \delta$ mit den Wichtungsfaktoren α_φ der nahezu bei -1 liegt (siehe 4.), und den relativ geringen Werten α_V und α_H zu erklären.

b) Sicherheiten auf die Scherparameter bezogen $\eta_\varphi = 1,25$ und $\eta_c = 2$

Nach Bild 22 erhält man für die Sicherheiten nach DIN 4017, bezogen auf die Scherparameter ein ausreichendes Sicherheitsniveau bei Lastneigungen $0 \leq \tan \delta \leq 0,1$.

6.4.2 Staumauern

1. Bei Staumauern kann durch die relativ geringen Streuungen der geometrischen Abmessungen und der Wichte des Betons davon ausgegangen werden, daß im Gegensatz zu 6.4.1 die Vertikallast V eine deterministische Größe ist. Als streuende Einwirkung ist durch den wechselnden Wasserstand h_w nur die Horizontalkraft $H = 1/2 \cdot h_w^2 \cdot \gamma_w$ und das daraus resultierende Moment $M = H \cdot 1/3 h_w - V \cdot b_M/6$ vorhanden.
2. Durch wasserbauliche Einrichtungen kann der Wasserstand h_w nie größer sein als die Höhe der Staumauer h_M . Für die Verteilung des Wasserstandes h_w wurde deshalb eine bei $h_w = h_M$ rechtsseitig begrenzte logarithmische Normalverteilung angenommen (siehe Bild 16). Dies wurde durch folgende Transformation erreicht:

$$h_w = h_M - X.$$

X ist eine logarithmisch normal verteilte Variable mit den

folgenden Annahmen: der Mittelwert ist gleich dem Freibord fr und die Standardabweichung $s(x) = 0,5$ m.

3. Um ein Vergleichskriterium für die jetzige Bemessungsvorschrift nach DIN 4017 und dem neuen Vorschlag nach GruSiBau (1981) zu erreichen, wurde für eine vorgegebene Staumauerbreite b_M und die verschiedenen Scherfestigkeiten der Böden die Mauerhöhe h_M errechnet, bei der nach der jeweiligen Bemessungsvorschrift die Grenzzustandsgleichung für Grundbruch erfüllt ist. Der Wasserstand h_w liegt hierbei um das Freibordmaß fr unterhalb der Mauerkrone.
4. Es ist schwierig, konstante Teilsicherheitsbeiwerte für die Horizontalkraft aus Wasserdruck festzulegen. Bei zunehmenden Abmessungen (b_M und h_M) der Staumauer, die auf demselben Boden gegründet ist, nimmt der Einfluß des Wasserstandes auf das Sicherheitsniveau ab, da das Verhältnis Freibord zu Mauerhöhe (fr/h_M) kleiner wird. Die Annahme eines konstanten Freibords fr unabhängig von der Mauerhöhe h_M ist jedoch sinnvoll.
5. Die endgültigen Ergebnisse und Schlußfolgerungen für die erforderlichen Teilsicherheitsbeiwerte sind im Anhang A4 zusammengefaßt.

7 Praxisgerechte Teilsicherheitsbeiwerte - Zusammenfassung und Ausblick

Aufgrund der probabilistischen Analyse lotrecht-mittig beanspruchter Fundamente auf nicht bindigen und bindigen Böden wurden unter Berücksichtigung des in Abschnitt 3 festgelegten stochastischen Modells folgende Teilsicherheitsbeiwerte für die Scherparameter festgelegt

$$\begin{aligned} \gamma_{O\phi} &= 1,25 \\ \gamma_{Oc} &= 1,80, \end{aligned}$$

die sich jeweils auf die Mittelwerte der entsprechenden Kenngröße beziehen. Bei Reibungswinkeln ist zu beachten, daß der Teilsicherheitsbeiwert direkt auf den Reibungswinkel und nicht auf dessen Tangens anzuwenden ist.

Mit den im Lastfall Eigengewicht auf der Lastseite geltenden Teilsicherheitsbeiwerten

$$\begin{aligned} \gamma_{OS}^O &= \gamma_f^G = 1,30 && \text{nach GruSiBau (1981: 35)} \\ \gamma_{OS}^O &= \gamma_f^G = 1,35 && \text{nach HOSSER, KÖNIG & THEILE (1985: 4)} \end{aligned}$$

ergibt sich im Vergleich zur herkömmlichen Bemessung nach DIN 4017 ein wesentlich homogeneres Sicherheitsniveau. Unterschreitungen des im Sinne der GruSiBau (1981: 23) in der Interpretation von POTTHARST (1986: 19) tolerablen Sicherheitsniveaus sowie dessen unwirtschaftlichen Überschreitungen

$$\beta = 4,7 \pm 0,5,$$

werden mit den neuen Sicherheitskonzept ausgeschaltet bzw. minimiert.

Auch im Lastfall Eigengewicht plus Bürohausnutzlasten mit

$$\begin{aligned} \gamma_S^O &= \gamma_f^Q = 1,30 && \text{nach GruSiBau (1981: 35)} \\ \gamma_S^O &= \gamma_f^Q = 1,50 && \text{nach HOSSER, KÖNIG & THEILE (1985: 4)} \end{aligned}$$

ergibt sich im Falle der Bemessung nach GruSiBau unter Berücksichtigung der Angaben von POTTHARST zum stochastischen Modell (in SCHULTZE & POTTHARST 1980: 20 f, 1981: 12 f sowie unveröff. Unterlagen) ein befriedigendes, sogar etwas höheres Sicherheitsniveau.

Eine Untersuchung nach HOSSER et al. (1985) ist noch durchzuführen. In diesem Zusammenhang sollten auch weitere Verkehrslasten wie Wind, Schnee, Wohn-, Warenhaus- und Parkhauslasten unter Berücksichtigung ihrer haltenden und treibenden Wirkung mit den entsprechenden Kombinationsbeiwerten analysiert werden.

Zur weiteren Erfassung des Bemessungsraumes wurden Parameterstudien zur Geometrie des Fundamentes und veränderten Baugrundbedingungen durchgeführt. Es wurde festgestellt, daß das lotrecht-mittig belastete Fundament relativ unempfindlich auf eine Variation der Einbindetiefe, Fundamentform, Fundamentbreite und des Grundwasserstandes reagiert.

Die Untersuchung lotrecht-außermittig und schräg belasteter Fundamente ergab, daß in vielen Fällen das tolerable Sicherheitsniveau mit den für zentrisch lotrecht belasteten Fundamenten ermittelten Teilsicherheitsbeiwerten für ϕ und c eingehalten wird. In den Fällen, in denen es zu einem zu starken Absinken des Sicherheitsniveaus kommt, ist

- im Falle der lotrecht-außermittigen Belastung auf die Ausmitte ein additives Sicherheitselement anzuwenden (Anhang A2).
- im Falle der schrägen Beanspruchung eine Modellierung der Teilsicherheitsbeiwerte vorzunehmen (Anhang A3 und A4).

Die Anhebung des Sicherheitsniveaus sollte nicht über die Erhöhung der Teilsicherheitsbeiwerte der Scherbeiwerte stattfinden, da diese für die erhöhte Versagenswahrscheinlichkeit nicht verantwortlich sind. Eine Modellierung der Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen ist hier konsequenterweise vorzunehmen, jedoch allenfalls im Sinne der GruSiBau (1981), Abschnitt 6.4.2. Hier wird der Tatsache Rechnung getragen, daß in bestimmten Bemessungsräumen eine Einwirkung auch eine günstige Wirkung auf den Grenzzustand ausübt.

Sobald eine Einwirkung in einem Lastarrangement eine haltende Wirkung ausübt - wie im Fall der schräg-exzentrisch belasteten Fundamente nachgewiesen - ist diese Einwirkung mit einem Teilsicherheitsbeiwert < 1.0 zu beaufschlagen.

Da im Einzelfall nicht bekannt ist, ob eine Last günstig oder ungünstig wirkt und dies nicht allein von der Geometrie, sondern auch von den Scherparametern abhängt, sind stets beide Möglichkeiten am Einzelfall zu prüfen.

Eine weitergehende Untersuchung der Aufteilung der Vertikallast in die Anteile Eigengewicht und Verkehrslast müßte zeigen, ob hier eine Aufteilung von $\gamma_{OV} = 0.8$ in $\gamma_f^G = 0.9$ und $\gamma_f^Q = 0$ nach GrSiBau möglich ist.

Für die bestehenden Normen DIN 4017 und DIN 1054 ergibt sich die Notwendigkeit, den Einfluß günstig oder ungünstig wirkender Lasten durch unterschiedliche Teilsicherheitsbeiwerte für die Vertikallast V und Horizontallast H beim Nachweis der Lastexzentrizität aus den Bemessungslasten V^* und H^* zu berücksichtigen.

Abschließend ist anzumerken, daß die Herleitung der Teilsicherheitsbeiwerte wesentlich von der Formulierung des stochastischen Modells der Eingangsparameter abhängt. Es bleibt zu diskutieren, inwieweit hier noch detaillierte Untersuchungen durchzuführen sind.

8 Literatur

- BACHMANN, K., 1981: Beitrag zum Bemessungskonzept für freistehende Schornsteine aus Stahlbeton.- Mitt. Inst. f. Massivbau der TH Darmstadt, Heft 30.
- FISSLER, B., 1979: Das Programmsystem FORM zur Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit von Komponenten von Trag-systemen.- Berichte zur Zuverlässigkeitstheorie der Bauwerke, SFB 96, Heft 43, TU München.
- GÄSSLER, G., 1982: Anwendung des statistischen Sicherheitskonzeptes auf verankerte Wände und vernagelte Wände.- Vortrag Baugrundtagung 1982 (Braunschweig).
- GruSiBau (Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen) 1981.- Hrg. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., NABau, Normenausschuß Bauwesen in DIN "Sicherheit von Bauwerken".
- HOSSER, D., KÖNIG, G. & V. THEILE, 1985: Stellungnahme zu den Sicherheitsfestlegungen in EUROCODE No. 2.- Forschungsbericht für das Institut für Bautechnik Berlin (Az. IV-1-7/97.1), unveröffentlicht.
- POTTHARST, R., 1977: Zur Wahl eines einheitlichen Sicherheitskonzeptes für den konstruktiven Ingenieurbau.- Mitt. Inst. für Massivbau der TH Darmstadt, Heft 22.
- POTTHARST, R., 1986: Erläuterung des probabilistischen Sicherheitskonzeptes am Beispiel des Nachweises der Grundbruch-sicherheit.- Seminar "Sicherheit im Grundbau - Einführung, Stand der Forschung und Normung" der Technischen Akademie Wuppertal und der LGA-Nürnberg.
- RACKWITZ, R. & B. PEINTINGER, 1981: Ein wirklichkeitsnahes stochastisches Bodenmodell mit unsicheren Parametern und Anwendung auf die Stabilitätsuntersuchung von Böschungen.- Bauingenieur 56, 215 - 221.

SCHULTZE, E. & R. POTTHARST, 1980: Versagenswahrscheinlichkeit und Sicherheit von Flachgründungen als Grundlage für Bauvorschriften.- Teil 2 des vom Institut für Bautechnik Berlin geförderten Forschungsvorhabens, Mimeo Fraunhofer Gesellschaft, Informationszentrum Raum und Bau.

SCHULTZE, E. & R. POTTHARST, 1981: Versagenswahrscheinlichkeit und Sicherheit von Flachgründungen als Grundlage für Bauvorschriften.- Teil 3 des vom Institut für Bautechnik Berlin geförderten Forschungsvorhabens, Mimeo Fraunhofer Gesellschaft, Informationszentrum Raum und Bau.

Abb. 1: Schema zur probabilistischen Herleitung von Teilsicherheitsbeiwerten

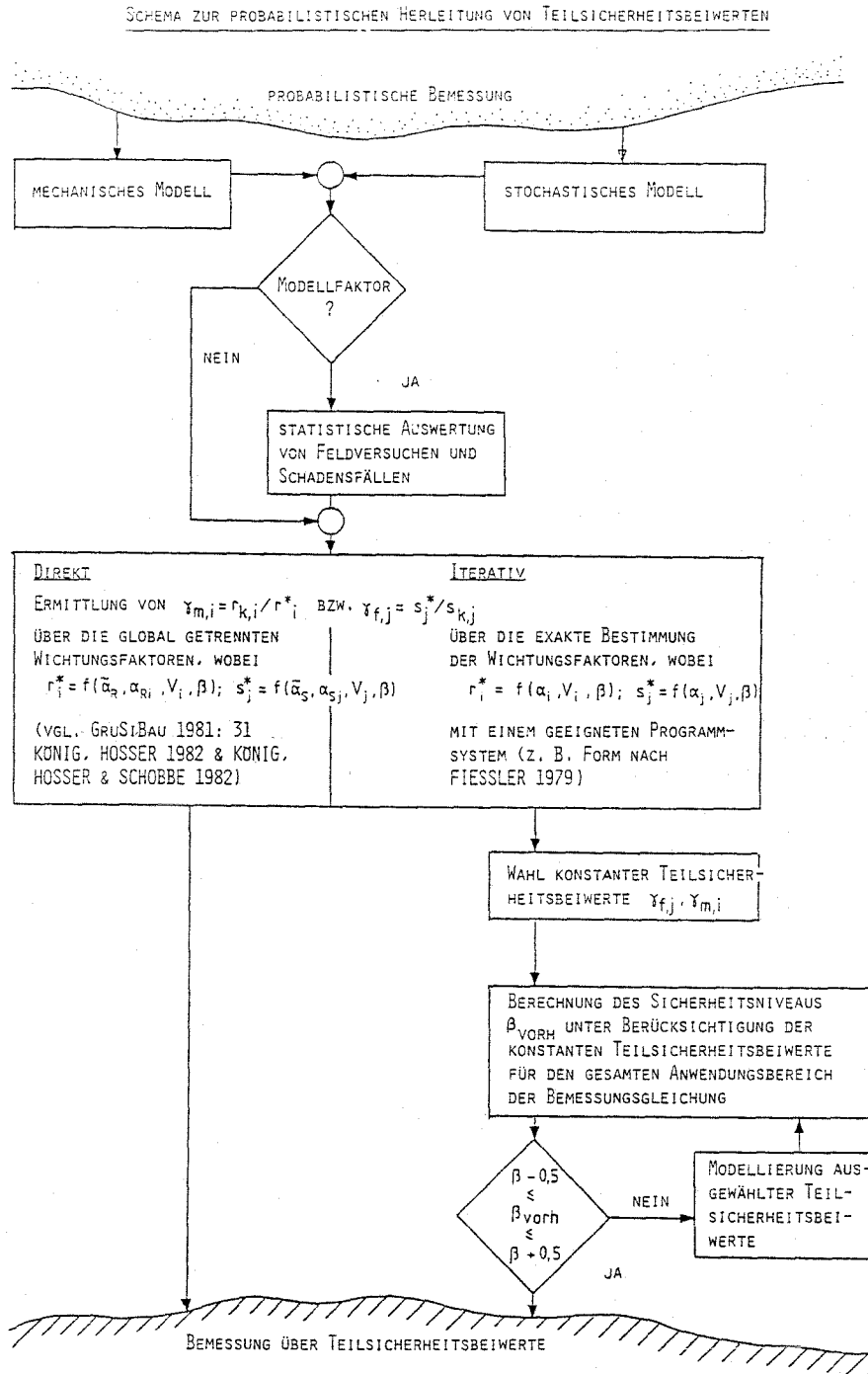


Abb. 2: Grundbruch bei außermittig und schräg beanspruchten Fundamenten

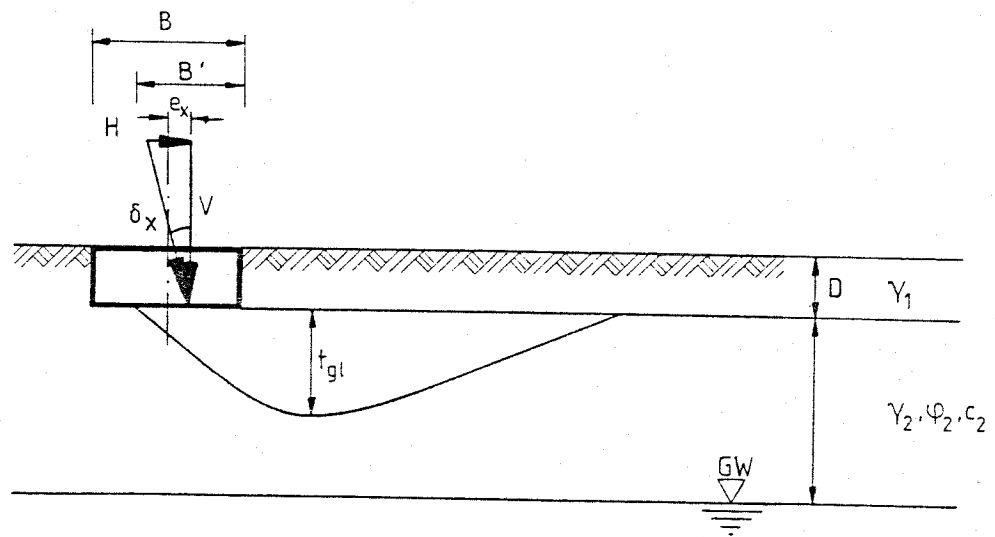
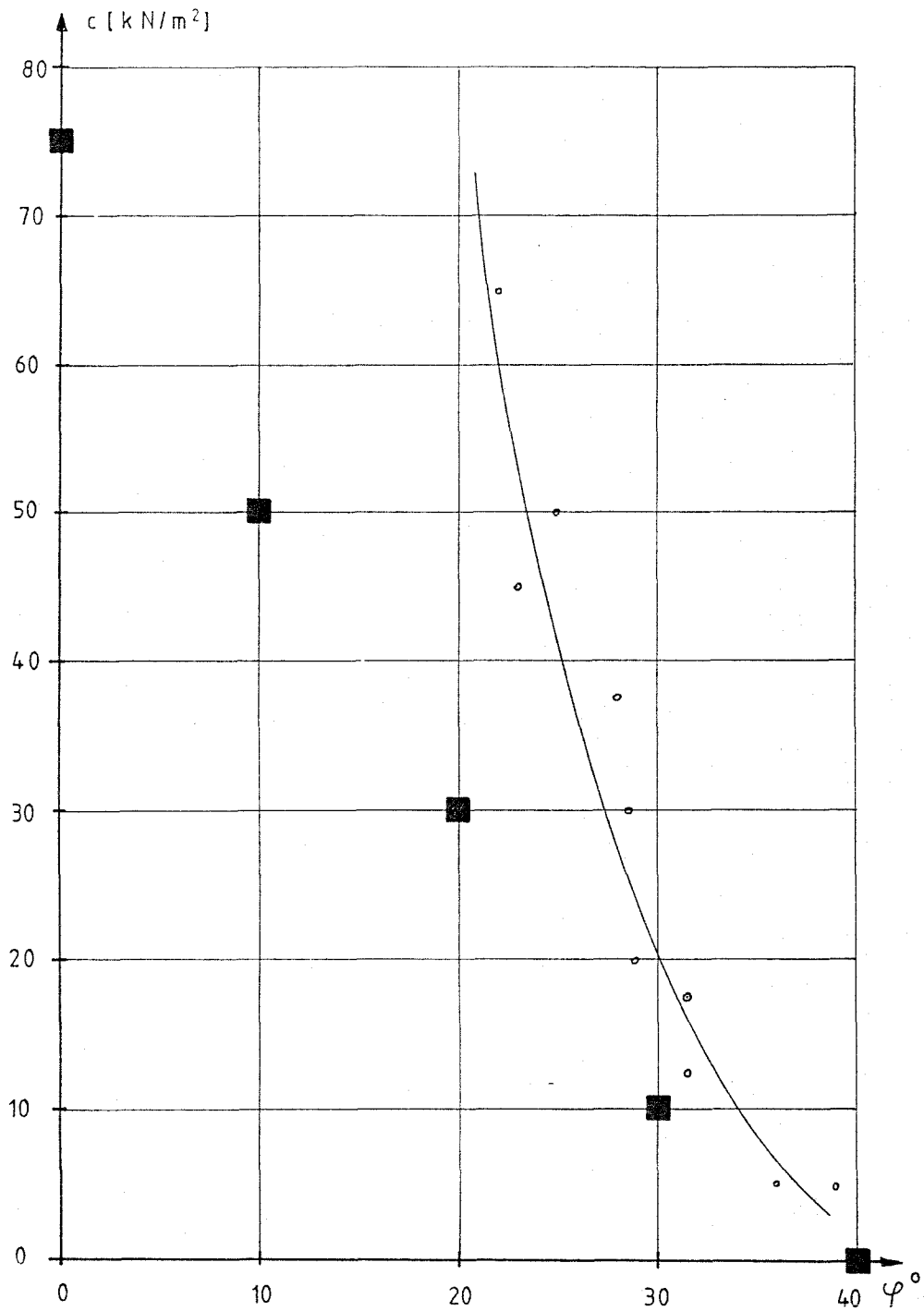


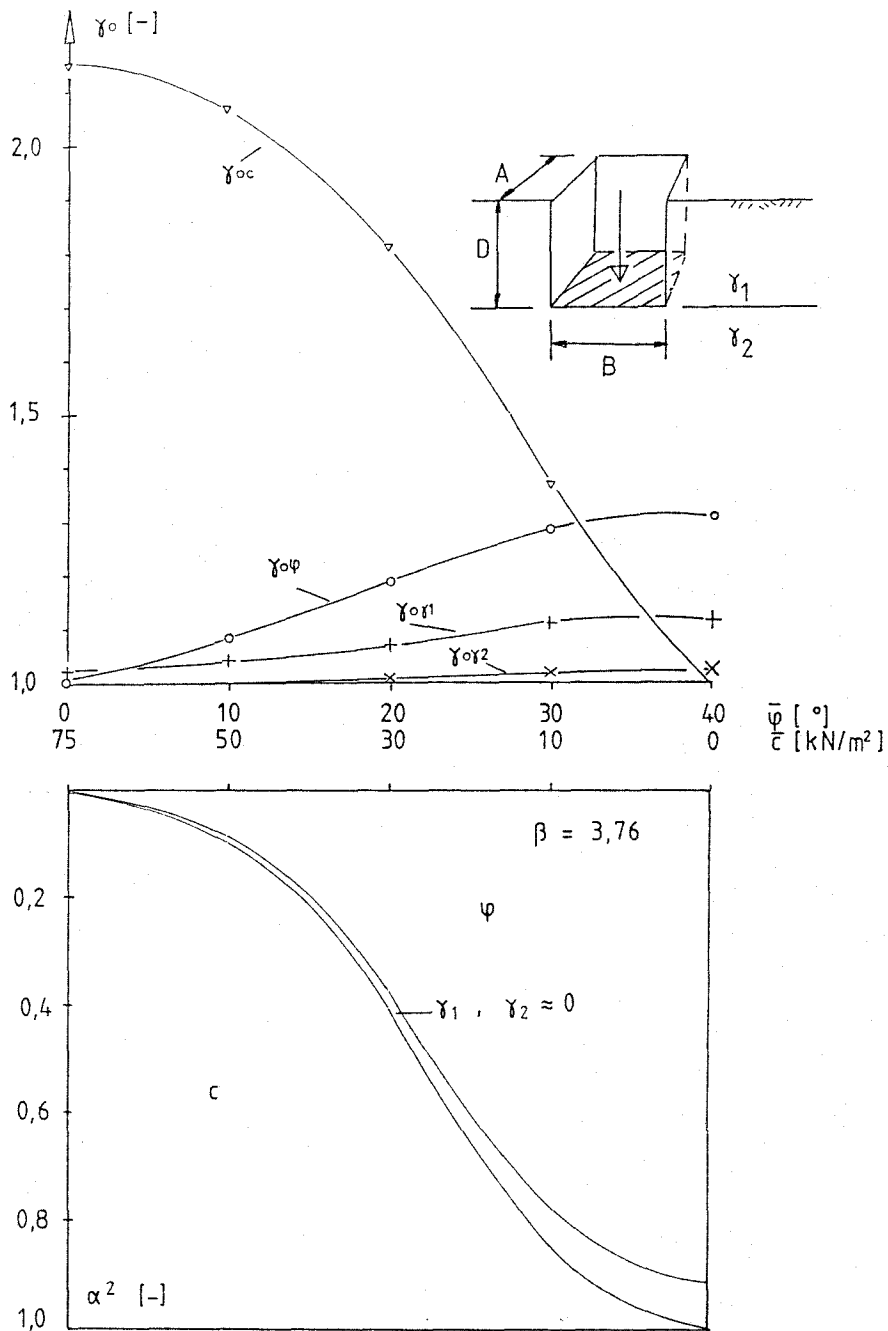
Abb. 3: Bei bindigen Böden sind kleine Reibungswinkel großen Kohäsionswerten zugeordnet und umgekehrt



○ Gemittelte Werte auf der Grundlage der Angaben von v. SOOS (Grundbautaschenbuch I 1980:65)

■ Für die weiteren Untersuchungen gewählte Wertepaare

Abb. 4: Teilsicherheitsbeiwerte und Wichtungsfaktoren der haltenden Basisvariablen



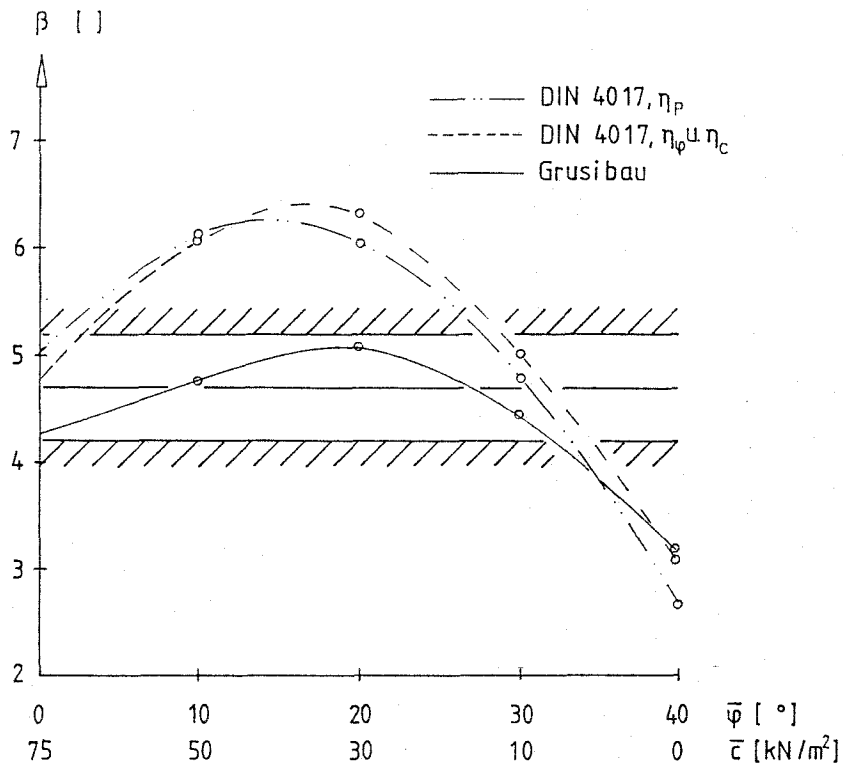
Streuende Größen

Parameter	Typ	V [-]
ψ	LN, $\tau = 0$	0,075
c	LN, $\tau = 0$	0,2
γ_1	N	0,1
γ_2	N	0,1

Nicht streuend

$D/B = B/A = \bar{\gamma}_1 / \bar{\gamma}_2 = 1,0, \quad B = 1,0 \text{ m}, \quad \bar{\gamma}_1 = 20 \text{ kN/m}$

Abb. 5a: Sicherheitsniveaus nach DIN 4017 und Grusibau für den Lastfall EG



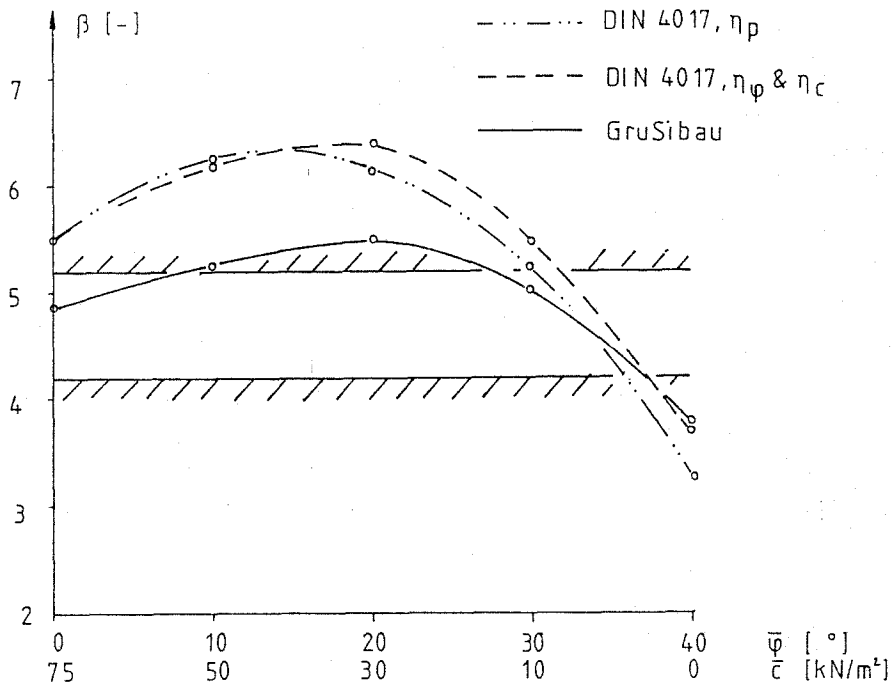
Streuende Größen und ihre Teilsicherheitsbeiwerte

Parameter	Typ	v [-]	γ [-]
φ	LN, $\tau=0$	0,075	$\gamma_{0\varphi} = 1,20$
c	LN, $\tau=0$	0,2	$\gamma_{0c} = 1,80$
s	N	0,05	$\gamma_{0s} = 1,30$

Nicht streuend

$$D/B = B/A = \gamma_1 / \gamma_2 = 1,0 \quad , \quad B = 1,0\text{m} \quad , \quad \gamma_1 = 20 \text{ kN/m}^3$$

Abb. 5b: Sicherheitsniveaus nach DIN 4017 und GruSiBau für Eigengewicht und Bürohausnutzlasten



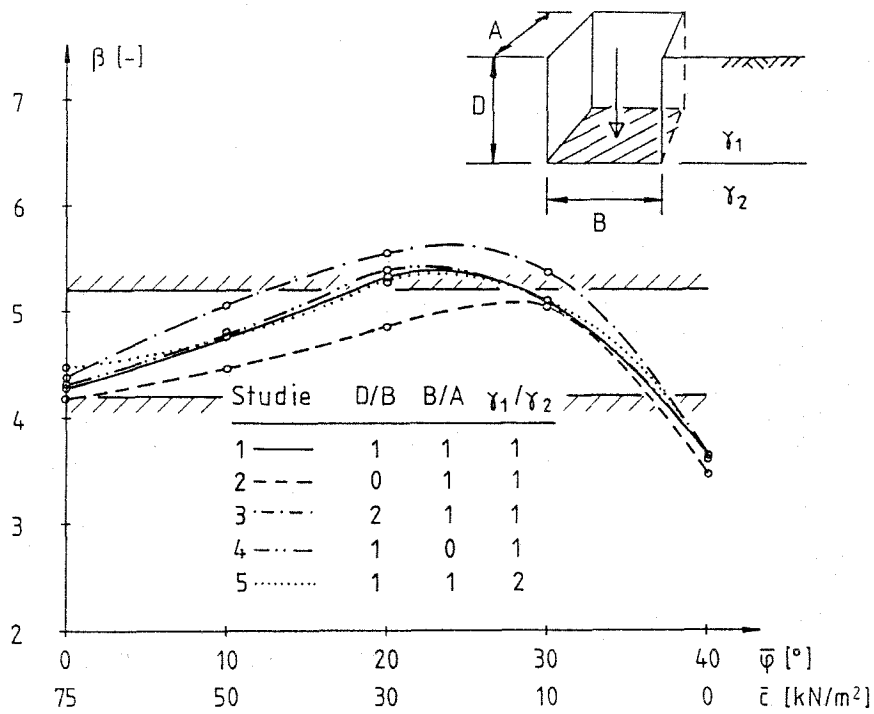
Streuende Größen und ihre Teilsicherheitsbeiwerte

Parameter	Typ	v [-]	γ [-]
φ	LN, $\tau = 0$	0,075	$\gamma_{0\varphi} = 1,20$
c	LN, $\tau = 0$	0,20	$\gamma_{0c} = 1,80$
G	N	0,05	$\gamma_{0G} = 1,30$
Q	ExI	0,63	$\gamma_{0Q} = 1,30$

Nicht streuend

$$D/B = B/A = \gamma_1/\gamma_2 = 1,0 \quad , \quad B = 1,0\text{m} \quad , \quad \gamma_1 = 20 \text{ kN/m}^3$$

Abb. 6: Sicherheitsniveaus bei variierender Einbindetiefe, Fundamentform und veränderlichen Bodenwichten γ_1 und γ_2



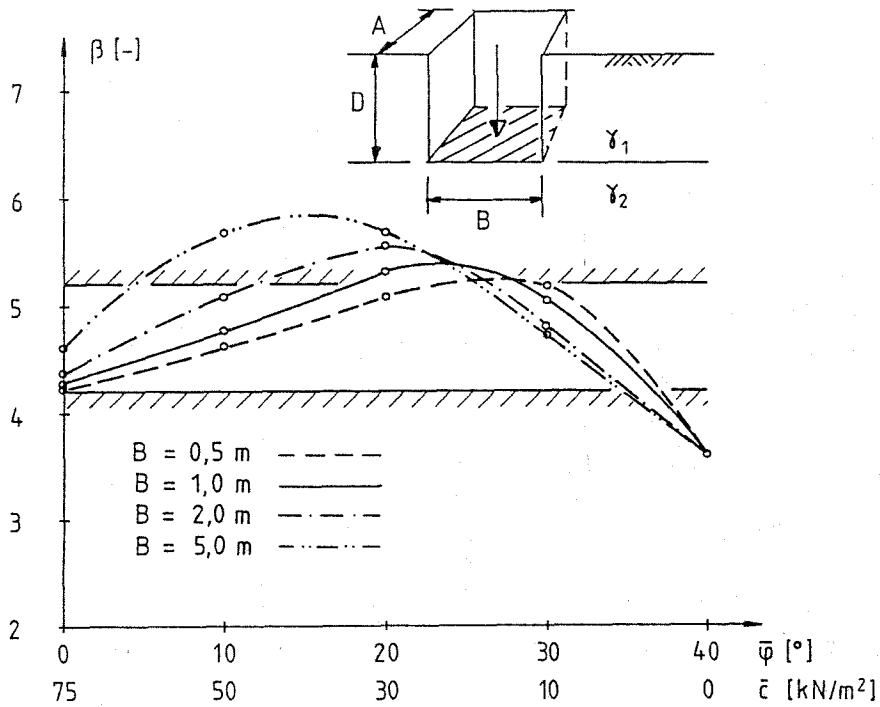
Streuende Größen

Parameter	Typ	V [-]	γ [-]
φ	LN, $\tau = \varphi/2$	0,075	$\gamma_{0\varphi} = 1,2$
c	LN, $\tau = 0$	0,2	$\gamma_{0c} = 1,8$
\dot{S}	N	0,05	$\gamma_{0S} = 1,3$

Nicht streuend

D/B, B/A, γ_1/γ_2 , B = 1,0 m, $\gamma_1 = 20 \text{ kN/m}^3$

Abb. 7: Sicherheitsniveaus bei schwankender Fundamentbreite B



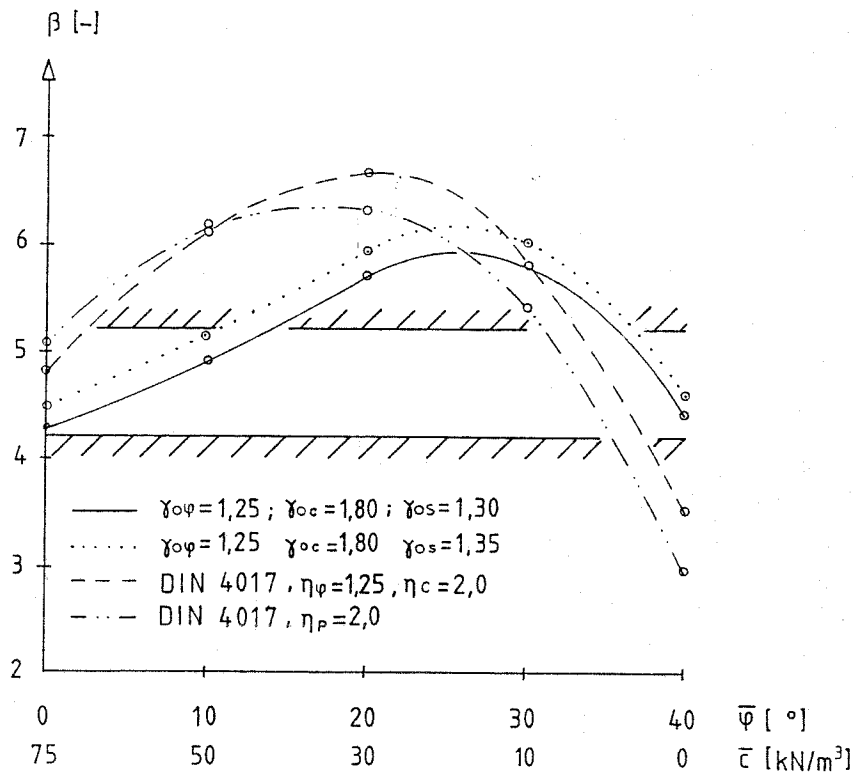
Streuende Größen

Parameter	Typ	V [-]	γ [-]
φ	LN, $\tau = \varphi/2$	0,075	$\gamma_{\varphi\varphi} = 1,2$
c	LN, $\tau = 0$	0,2	$\gamma_{cc} = 1,8$
S	N	0,05	$\gamma_{SS} = 1,3$

Nicht streuend

$$D/B = B/A = \gamma_1 / \gamma_2 = 1,0, \quad \gamma_1 = 20 \text{ kN/m}^3$$

Abb. 8a: Sicherheitsniveaus nach DIN 4017 und GrSiBau, letztere mit den endgültig festgelegten Teilsicherheitsbeiwerten, für bindige Böden.



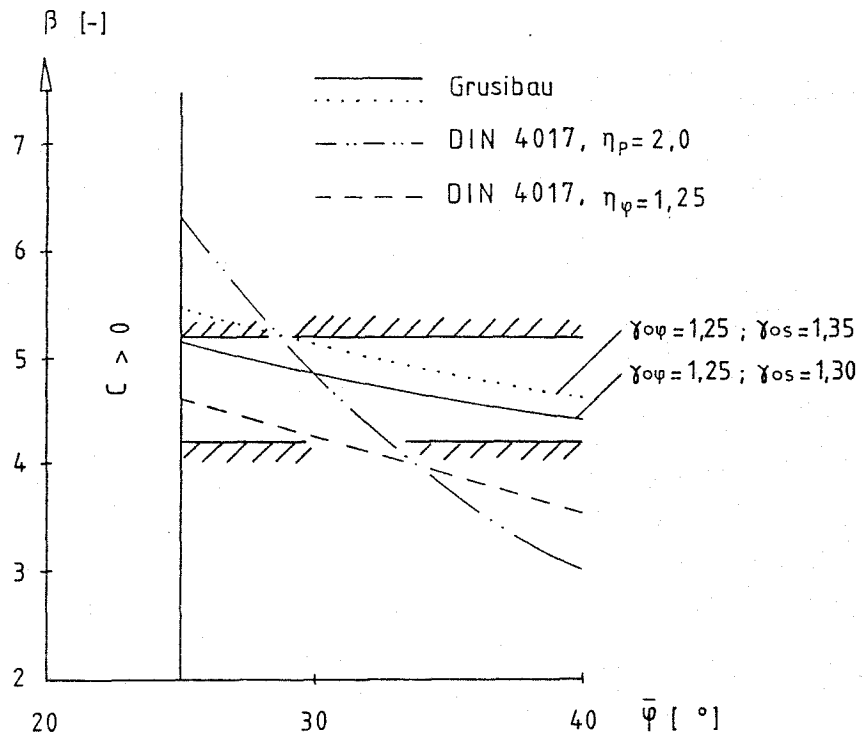
Streuende Größen

Parameter	Typ	V [-]
φ	LN, $\tau=\varphi/2$	0,075
c	LN, $\tau=0$	0,2
s	N	0,05

Nicht streuend

$D/B = B/A = \gamma_1/\gamma_2 = 1,0$, $B = 1,0 \text{ m}$, $\gamma_1 = 20 \text{ kN/m}^3$

Abb. 8b: Sicherheitsniveaus nach DIN 4017 und Grusibau, letztere mit den endgültig festgelegten Teilsicherheitsbeiwerten, für nicht bindige Böden.



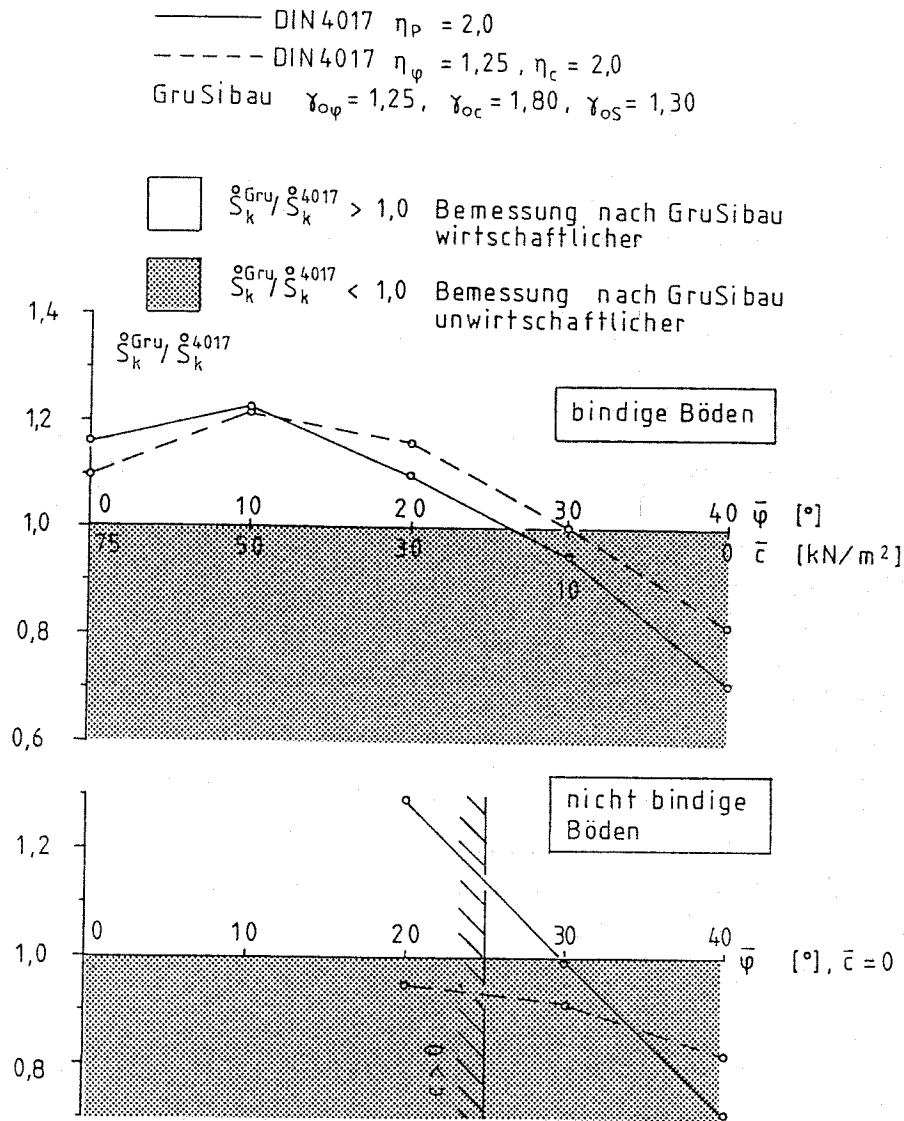
Streuende Größen

Parameter	Typ	V [-]
φ	LN, $\tau = \varphi/2$	0,075
ξ	N	0,05

Nicht streuend

$$D/B = B/A = \gamma_1 / \gamma_2 = 1,0 \quad , \quad B = 1,0 \text{ m} \quad , \quad \gamma_1 = 20 \text{ kN/m}^3$$

Abb. 9: Zulässige dimensionslose lotrecht-zentrische Beanspruchung mit den neuen Teilsicherheitsbeiwerten über die zulässige Beanspruchung nach DIN 4017 für bB und nbB im Lastfall EG



Streuende Größen

Parameter	Typ	V [-]
φ	LN, $\tau = \varphi/2$	0,075
c	LN, $\tau = 0$	0,2
S	N	0,05

Nicht streuend

$$D/B = B/A = \gamma_1 / \gamma_2 = 1,0, \quad B = 1,0, \quad \gamma_1 = 20 \text{ kN/m}^3$$

Abb. 10: Lotrecht-außermittig beanspruchte Fundamente

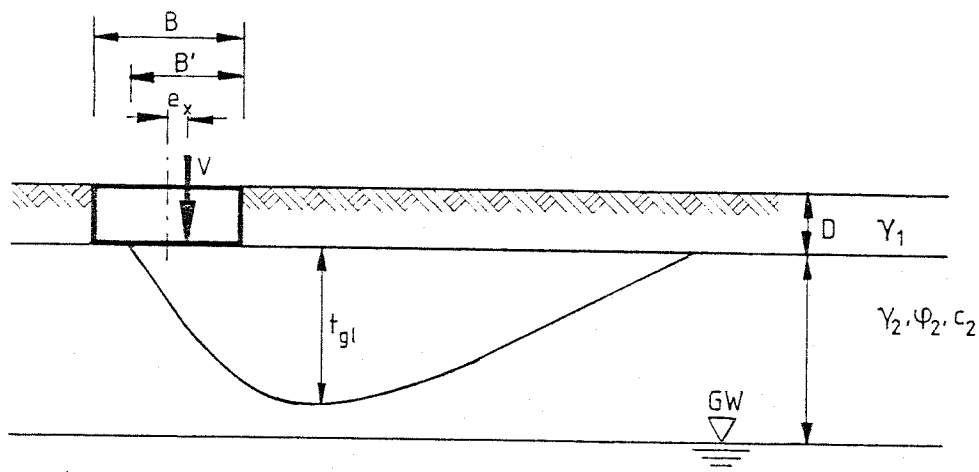
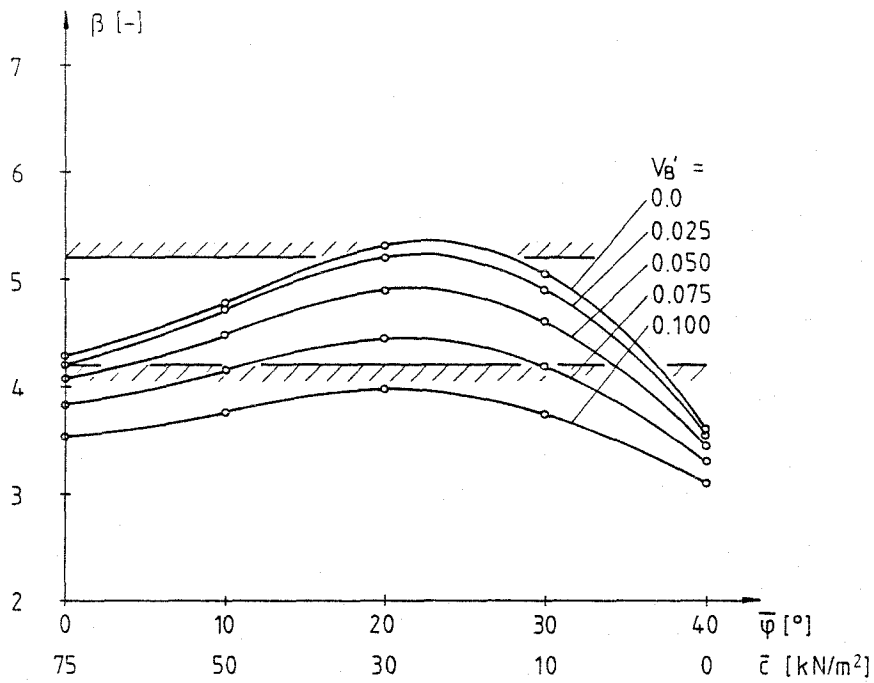


Abb. 11: Sicherheitsniveaus bei lotrechter außermittiger Belastung im Lastfall EG



Streuende Größen

Parameter	Typ	V [-]	γ [-]
φ	LN, $\tau = \varphi/2$	0,075	$\gamma_{o\varphi} = 1,2$
c	LN, $\tau = 0$	0,2	$\gamma_{oc} = 1,8$
B'	N	variabel	$\gamma_{oB'} = 1,0$
\dot{S}	N	0,05	$\gamma_{oS} = 1,3$

Nicht streuend

$A = D = 1,0\text{m}, \quad \gamma_1 = \gamma_2 = 20\text{ kN/m}^3$

Abb. 12: Schräg-zentrisch beanspruchte Fundamente

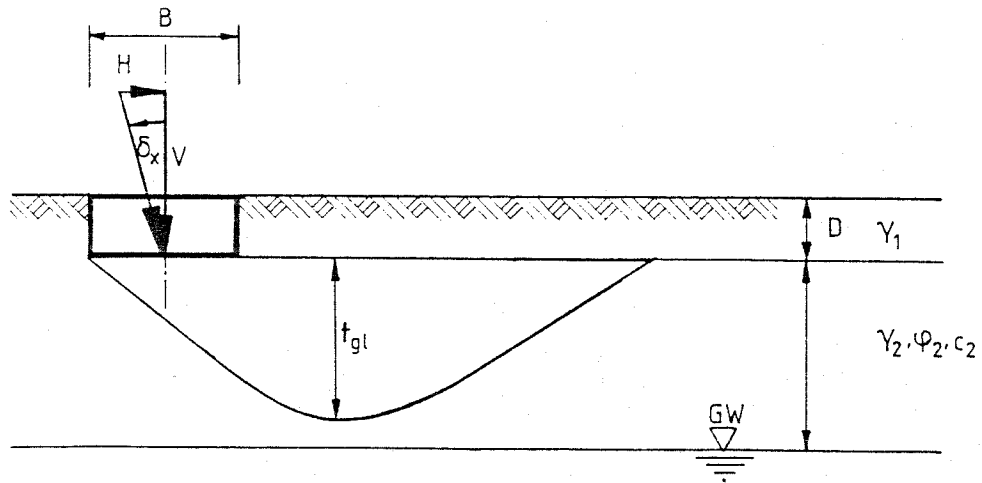
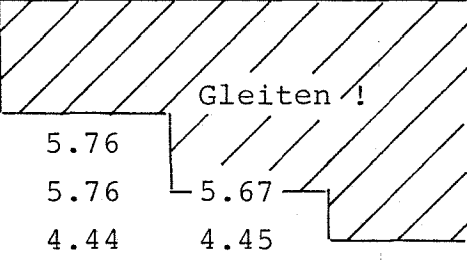
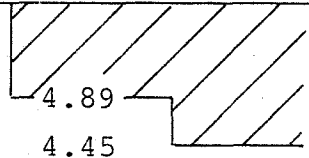


Abb. 13: Sicherheitsniveaus bei schrägem Lastangriff deren Neigung nicht streut

φ ($^{\circ}$)	c (kN/m ²)	Sicherheitsindex β für $\tan \delta =$				
		0.0	0.2	0.4	0.6	
		(-)				
0	75	4.16	 Gleiten!			
10	50	4.92				
20	30	5.68				5.76
30	10	5.80				5.76
40	0	4.43	4.44	4.45		
25	-	5.14	5.16			
30	-	4.86	4.87			4.89
40	-	4.43	4.44			4.45

0

S : N, $V = 0.05$, $\gamma_{OS} = 1.30$

φ : LN $\tau = \varphi/2$, $V = 0.075$, $\gamma_{O\varphi} = 1.25$

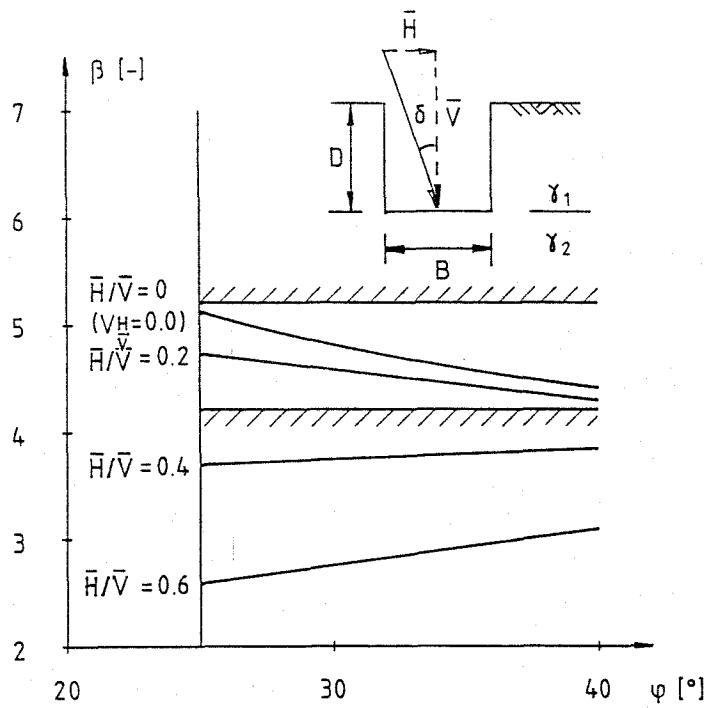
c : LN $\tau = 0$, $V = 0.2$, $\gamma_{OC} = 1.80$

Nicht streuend:

$H/V = \tan \delta$, $D/B = B/A = \gamma_1/\gamma_2 = 1.0$, $B = 1.0$ m,

$\gamma_1 = 20$ kN/m³

Abb. 14a: Absinken des Sicherheitsniveaus mit zunehmender streuender Neigung der resultierenden Last



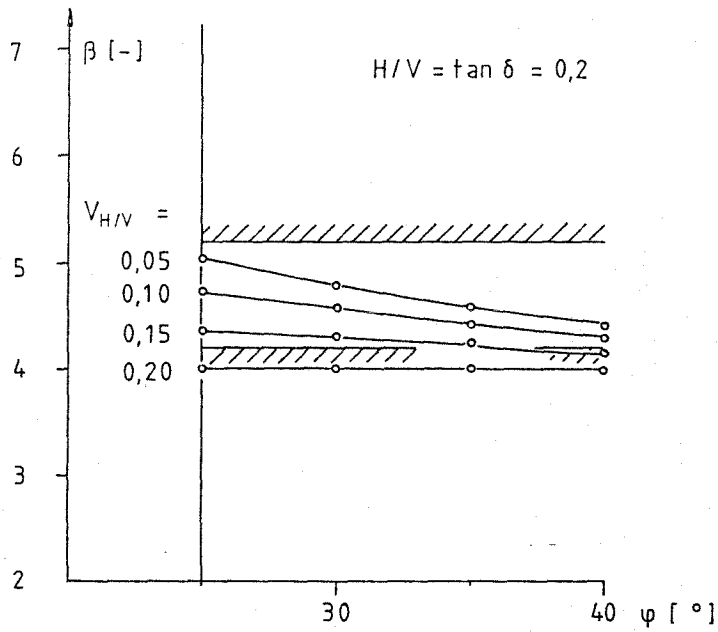
Streuende Größen

Parameter	Typ	V [-]	γ [-]
φ	LN, $\tau = \varphi/2$	0,075	$\gamma_{0\varphi} = 1,25$
\bar{H}/\bar{V}	N	0,1	$\gamma_{0H} = 1,0$
\bar{S}	N	0,05	$\gamma_{0S} = 1,3$

Nicht streuend

$$D/B = B/A = \gamma_1/\gamma_2 = 1,0, \quad B = 1,0, \quad \gamma_1 = 20 \text{ kN/m}^3$$

Abb. 14b: Absinken des Sicherheitsniveaus mit zunehmendem Variationskoeffizienten der Neigung



Streuende Größen

Parameter	Typ	V [-]	γ [-]
φ	LN, $\tau = \varphi/2$	0,075	$\gamma_{\varphi} = 1,25$
\bar{H}/\bar{V}	N	variab.	$\gamma_{OH} = 1,0$
\dot{S}	N	0,05	$\gamma_{oS} = 1,3$

Nicht streuend

$D/B = B/A = \gamma_1/\gamma_2 = 1,0, B = 1,0 \text{ m}, \gamma_1 = 20 \text{ kN/m}$

Abb. 15: Schräg und außermittig beanspruchtes Fundament

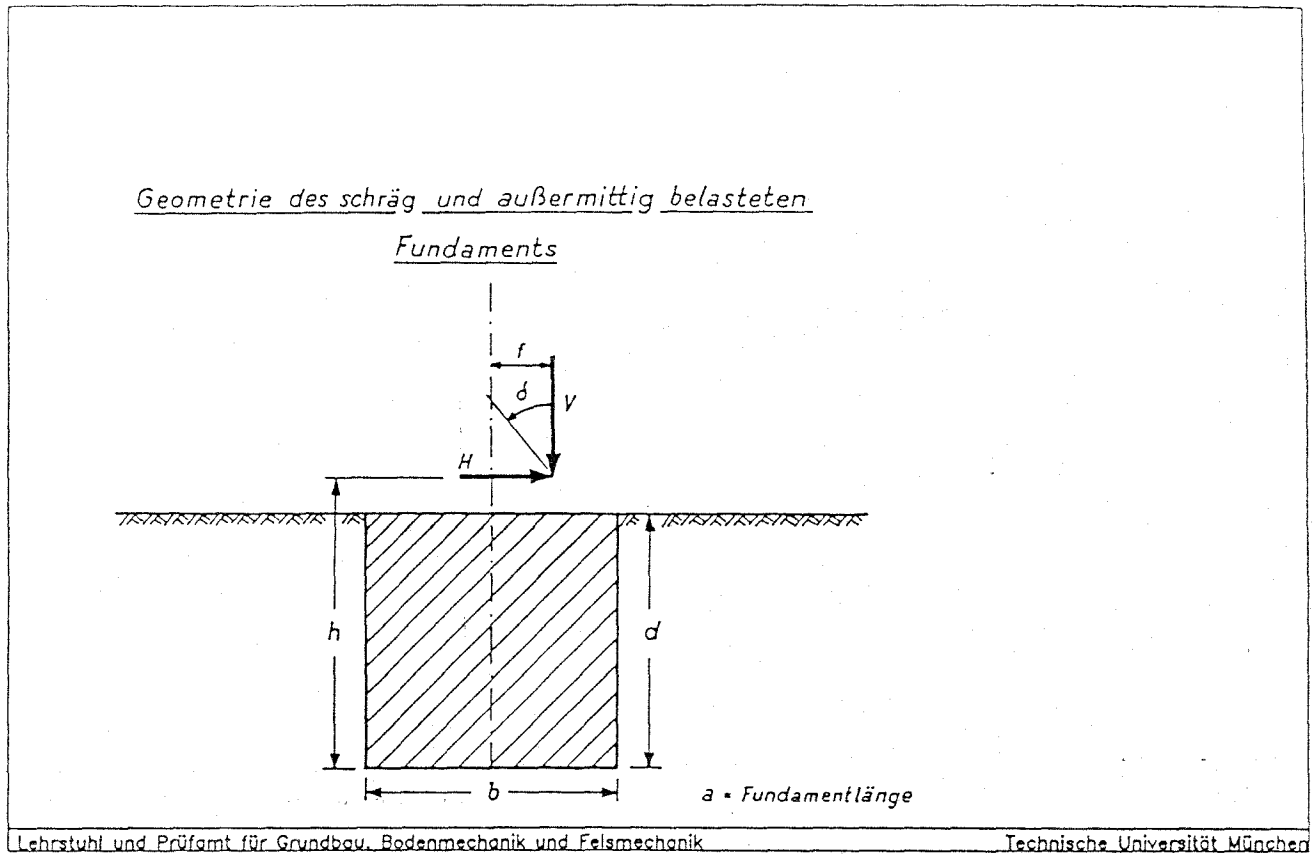


Abb. 16: Geometrie und Lastannahmen bei einer Staumauer

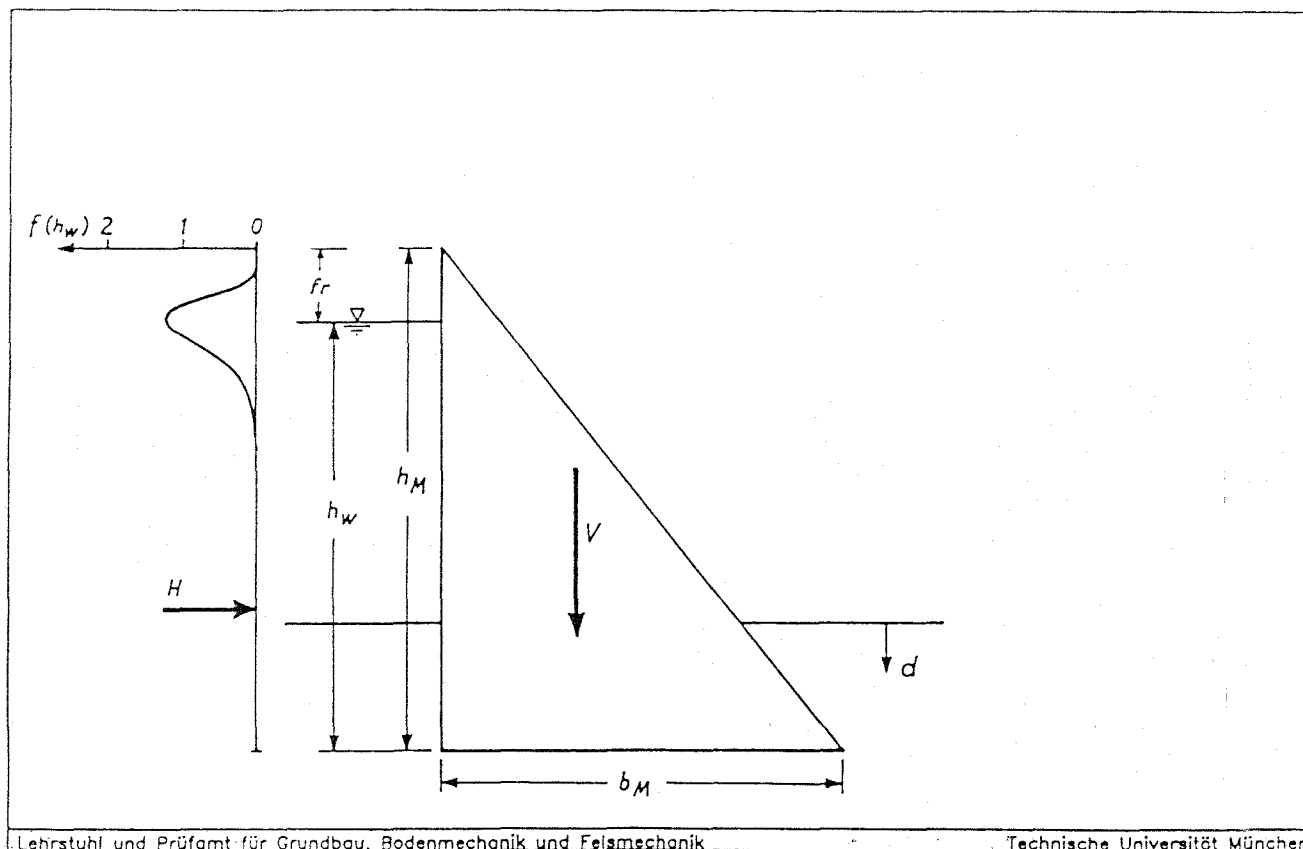


Abb. 17: Sicherheitsniveau bei schräg und außermittig belasteten Fundamenten für $\gamma_{O\phi} = 1,25$, $\gamma_{OC} = 1,80$, $\gamma_{OV} = 1,30$, $\gamma_{OH} = 1,30$

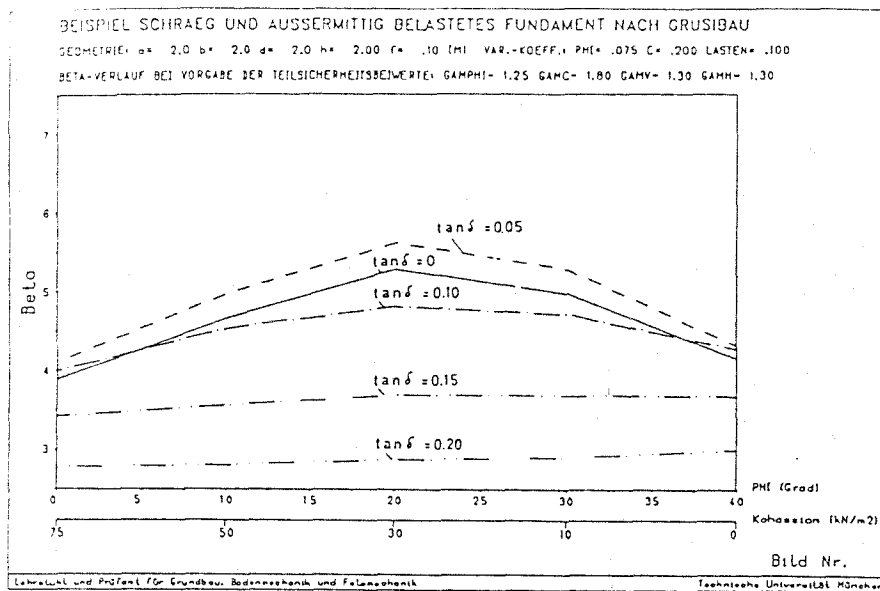


Abb. 18: Wichtungsfaktoren und Sicherheitsniveau bei schräg und außermittig belasteten Fundamenten für $\gamma_{O\phi} = 1,25$, $\gamma_{Oc} = 1,80$, $\gamma_{OV} = 1,30$, $\gamma_{OH} = 1,30$

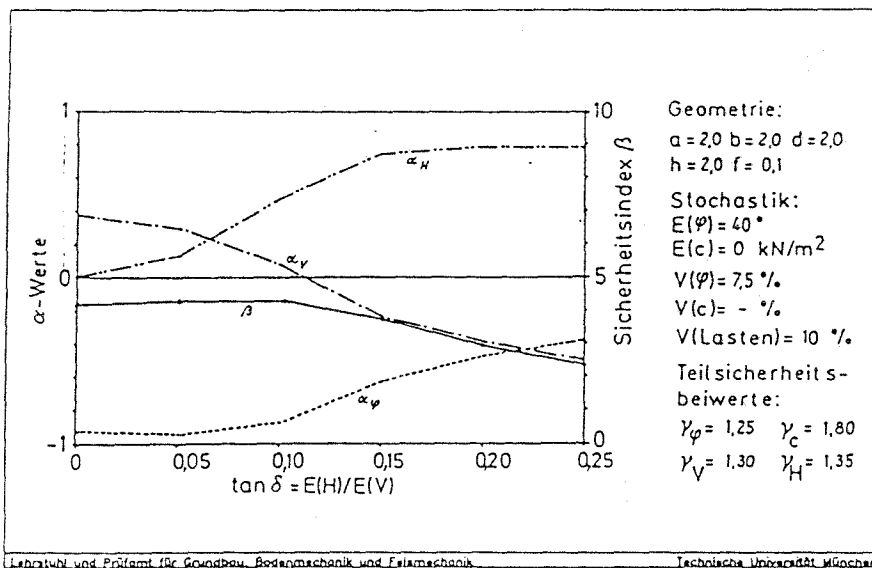
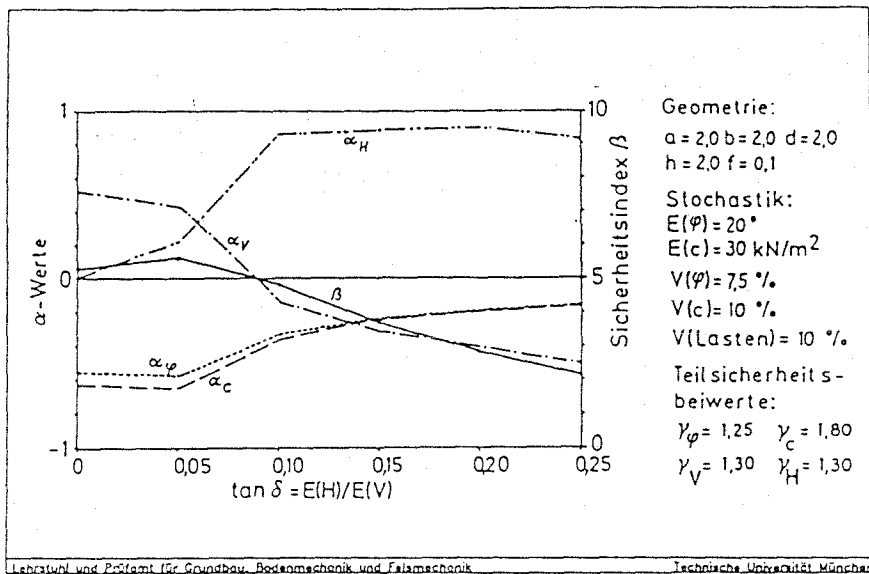
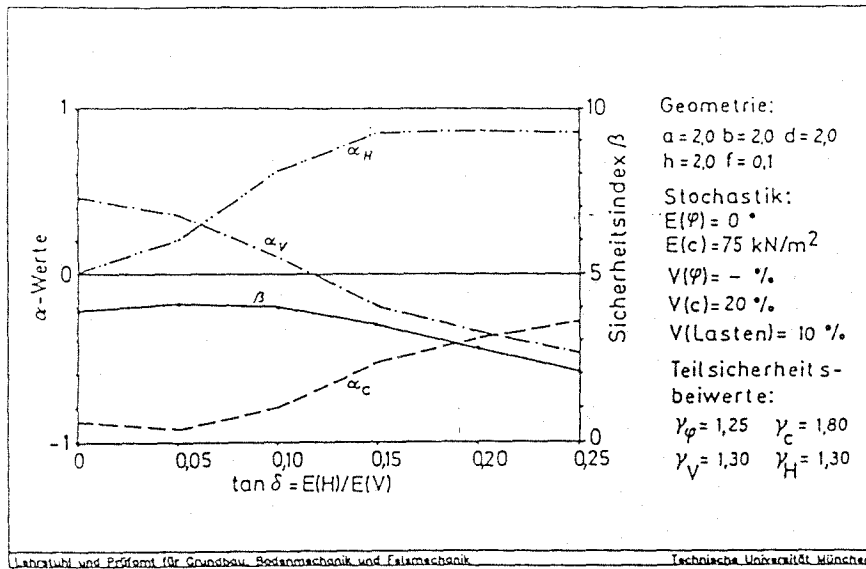


Abb. 19: Sicherheitsniveaus bei schräg und außermittig belasteten Fundamenten für $\gamma_{o\phi} = 1,25$, $\gamma_{oc} = 1,80$, $\gamma_{ov} = 0,80$, $\gamma_{oh} = 1,50$

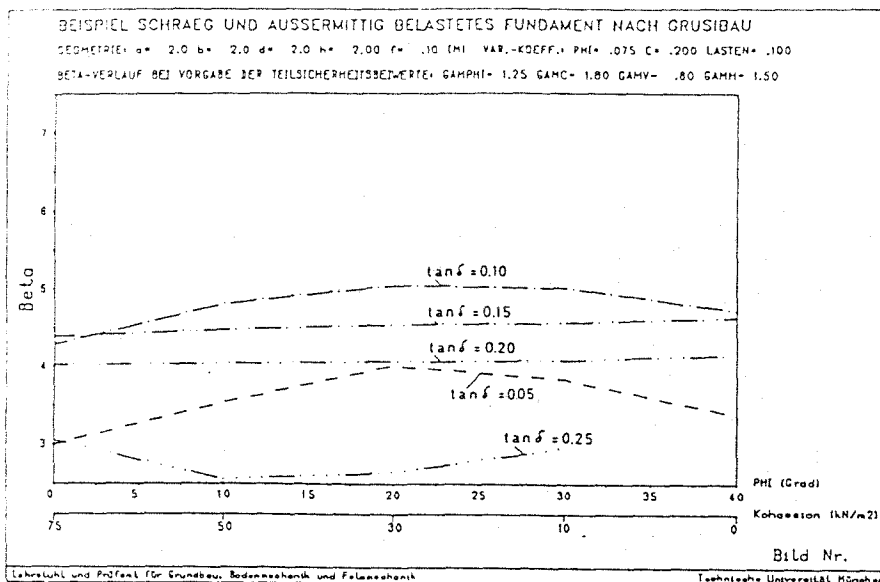


Abb. 20: Wichtungsfaktoren und Sicherheitsniveaus bei schräg und außermittig belasteten Fundamenten für $\gamma_{Op} = 1,25$, $\gamma_{Oc} = 1,80$, $\gamma_{Ov} = 0,80$, $\gamma_{OH} = 1,50$

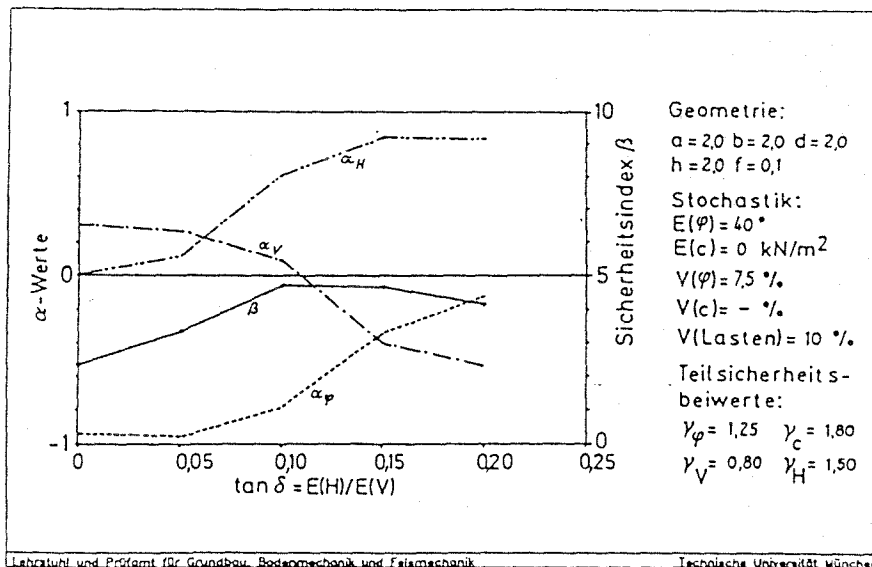
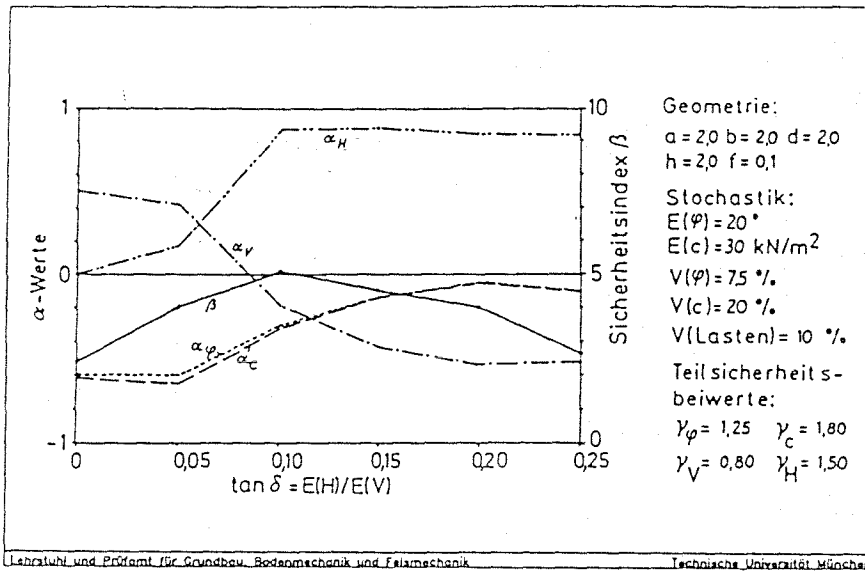
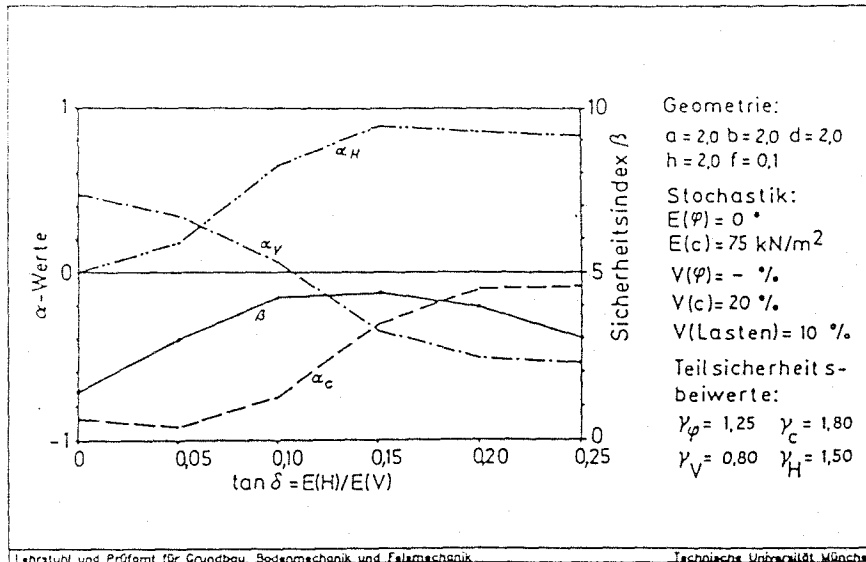


Abb. 21: Sicherheitsniveaus nach DIN 4017 mit $\eta_p = 2,0$

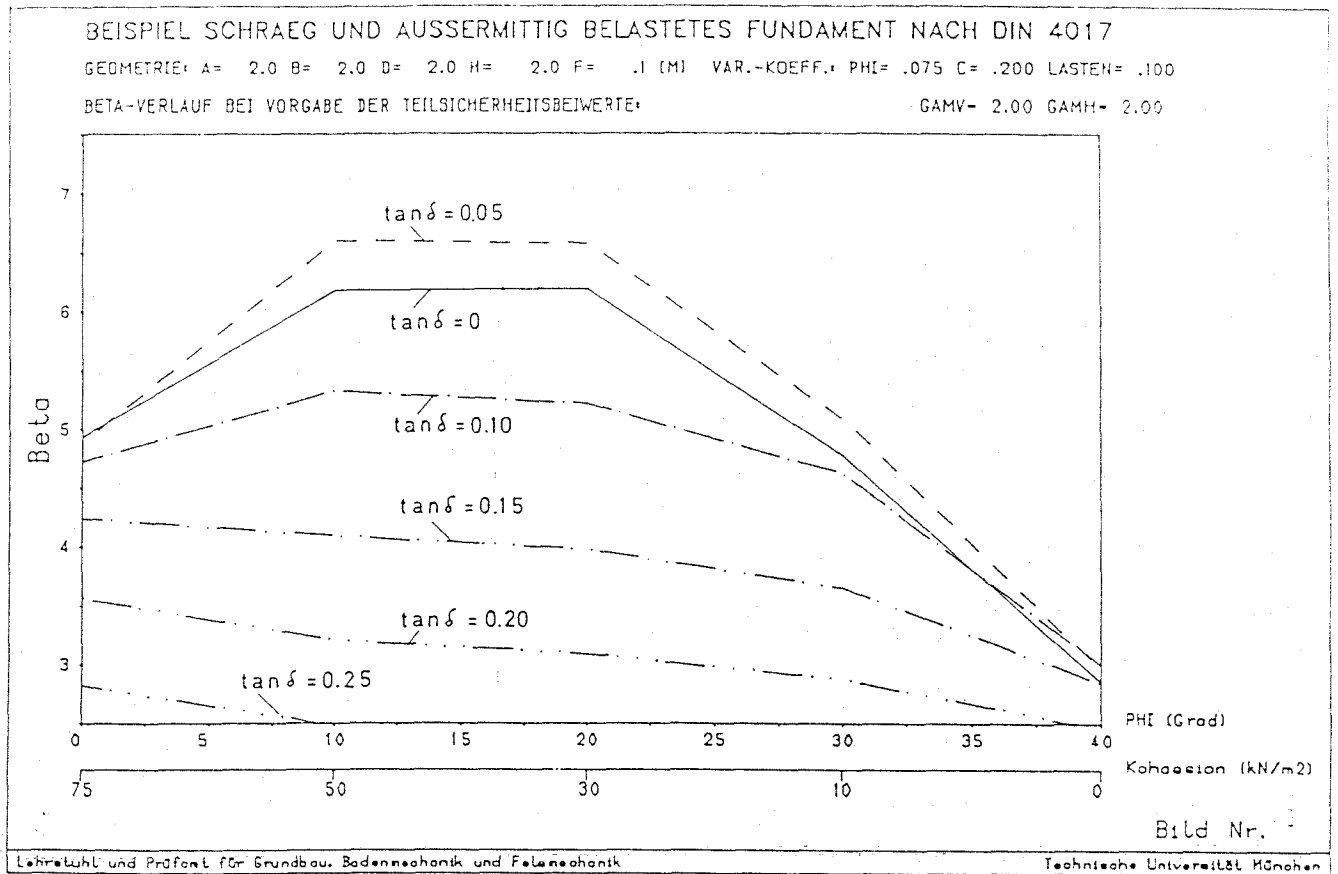


Abb. 22: Sicherheitsniveaus nach DIN 4017 mit

$$\eta_{\varphi} = 1,25, \eta_c = 2,0$$

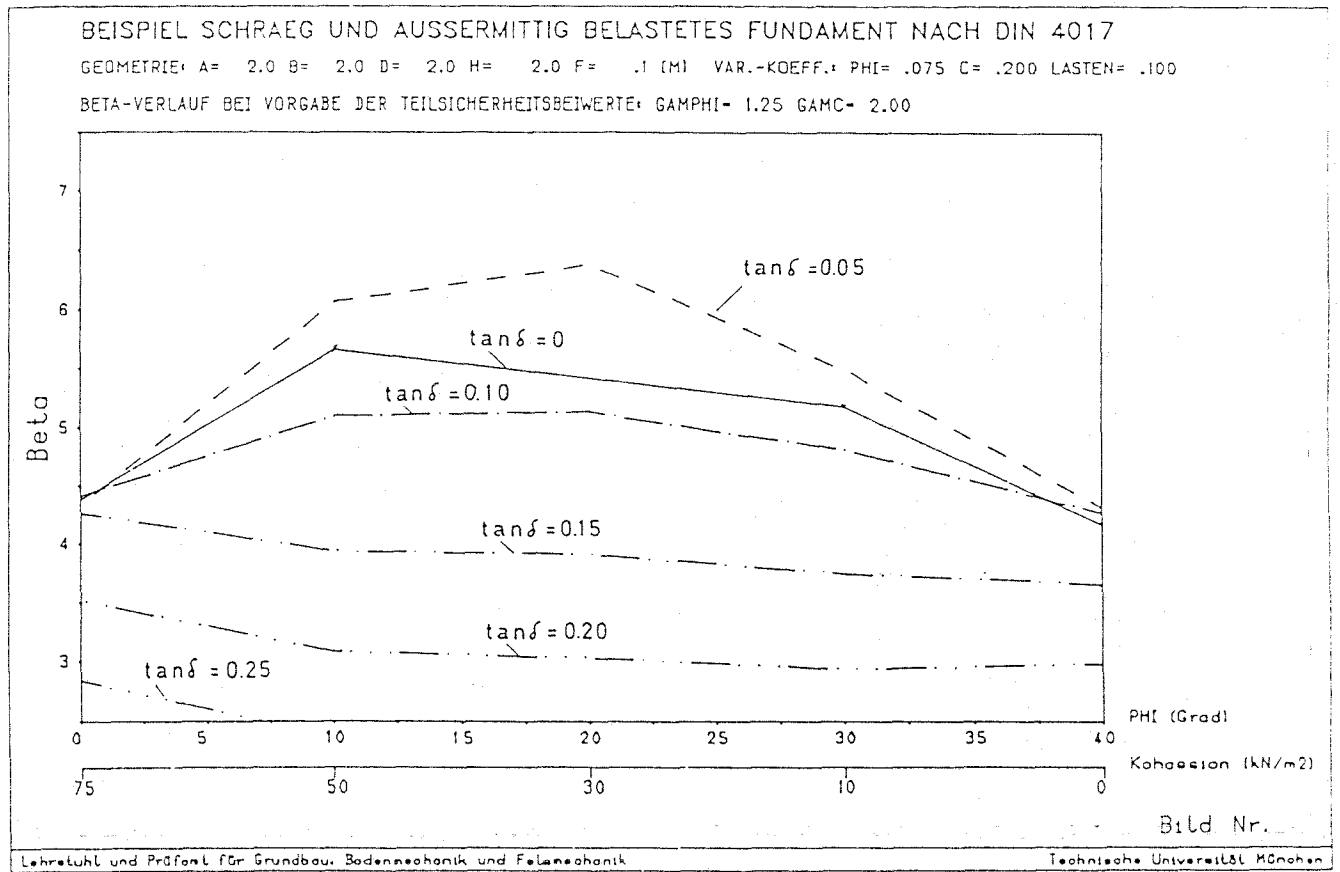




Tabelle 1: Kombinationen des Reibungswinkels und der Kohäsion sowie deren Variationskoeffizienten

		c [kN/m]							V _φ [%]		
		0	5	10	20	30	50	75	5	7,5	10
φ [°]	0					■	■	■			
	10				■	■	■	■	■	■	■
	20			■	■	■	■	■	■	■	■
	25	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	30	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	35	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	40	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
V _c [%]	10		■	■	■	■	■	■	■	■	■
	20		■	■	■	■	■	■	■	■	■
	30		■	■	■	■	■	■	■	■	■

 mögliche Wertepaare

 generell untersuchte Wertepaare

 speziell untersuchte Wertepaare

Anhang A1

Untersuchungsergebnisse zu lotrecht-mittig beanspruchten Fundamenten der Wuppertaler Arbeitsgruppe - Bergische Universität - GH Wuppertal, Lehr- und Forschungsgebiet "Unterirdisches Bauen, Grundbau und Bodenmechanik"
=====

- A 1-1 Erste Festlegung konstanter Teilsicherheitsbeiwerte für die Scherbeiwerte
- A 1-2 Parameterstudien
- A 1-3 Endgültige Festlegung der Teilsicherheitsbeiwerte
- A 1-4 Vergleich des Grundbruchsicherheitsnachweises nach DIN 4017 und GruSiBau
- A 1-5 Beispielrechnung

A 1-1 Erste Festlegung konstanter Teilsicherheitsbeiwerte für die Scherbeiwerte

In der bereits im Hauptbericht erwähnten ersten grundsätzlichen Studie (Abb. 4) wurde untersucht, wie groß die relative Empfindlichkeit des Sicherheitsniveaus auf die Variation der einzelnen streuenden, haltenden Komponenten der Grundbruchformel ist. Als dominant erkannt wurden die Scherbeiwerte ϕ und c .

Die erste Untersuchung gab einen Anhalt über die ungefähre Größe der erforderlichen Teilsicherheitsbeiwerte für ϕ und c . Ziel war es, einerseits konstante Teilsicherheitsbeiwerte zu etablieren, andererseits ein möglichst homogenes Sicherheitsniveau zu gewährleisten. In Übereinstimmung mit POTTHARST (1986: 19) sollte das Sicherheitsniveau weder zu stark zur unsicheren, noch zu stark zur unwirtschaftlichen Seite abweichen.

In Zahlen ausgedrückt:

$$\beta = 4,7 \pm 0,5.$$

An Abbildung A 1-1 sind konstante Teilsicherheitsbeiwerte, wie sie von der Wuppertaler Arbeitsgruppe festgelegt wurden, für die dominierenden Einflußgrößen ϕ und c dargestellt. Für die weiteren Untersuchungen wurde vorerst gewählt

$\gamma_{O\phi} = 1,20$	Teilsicherheitsbeiwert für den Reibungswinkel, auf dessen Mittelwert bezogen
$\gamma_{Oc} = 1,80$	Teilsicherheitsbeiwert für die Kohäsion, auf deren Mittelwert bezogen
$\gamma_S = 1,30$	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchung, bei ständigen Lasten auf den Mittelwert, bei veränderlichen auf den Fraktilwert bezogen (GruSiBau 1981: 35).

Durch diese grundlegende Vereinfachung müssen Abweichungen des Sicherheitsniveaus vom vorgeschriebenen Sollwert ($\beta = 4,7$) in Kauf genommen werden. Der Fehler wird insbesondere bei hohen Reibungswinkeln bzw. großer Kohäsion erheblich. Im Bereich $\phi = 10^\circ$ bis 30° wird sich dieser Fehler dagegen kompensieren, da ein zu hoch angesetzter Teilsicherheitsbeiwert für ϕ einen zu niedrigen Teilsicherheitsbeiwert für c zugeordnet ist und umgekehrt.

Im unteren Diagramm der Abb. A 1-1 ist die charakteristische, dimensionslose Beanspruchung (zulässige Beanspruchung) über ϕ - c im Lastfall Eigengewicht dargestellt. In die dimensionsfreien Grundbruchgleichung

$$S_k^o = S^o / \gamma_{OS}^o = f(\phi^*, c^*, \gamma_1/\gamma_2, D/B, B/A) / \gamma_{OS}^o$$

$$S_k^o = \text{charakteristische dimensionslose Einwirkung}$$

ϕ^* = Bemessungswert der dimensionslosen Einwirkung
 γ_{OS}^0 = Teilsicherheitsbeiwert (Eigengewicht) der Einwirkung

gehen folgende Parameter ein

Nr.	Ansatz	Bemessungswert	charakteristischer Wert	Sicherheitsbeiwert für ϕ		
				ϕ	c	S
1	GruSiBau	$\phi^* = \phi_k / \gamma_{O\phi}$ $c^* = c_k / \gamma_{Oc}$	$\phi_k = \bar{\phi}$ $c_k = \bar{c}$	exakt	$\frac{\gamma}{\bar{\gamma}}$	1,30 ⁴⁾
2	GruSiBau	$\phi^* = \phi_k / \gamma_{O\phi}$ $c^* = c_k / \gamma_{Oc}$	$\phi_k = \bar{\phi}$ $c_k = \bar{c}$	1,20 ³⁾	1,80	1,30
3	DIN 4017 § 12.1	$\phi^* = \phi_{cal}$ $c^* = c_{cal}$	$\phi_k \stackrel{1)}{=} \phi_{cal} = \bar{\phi} - 2,5$ $c_k \stackrel{2)}{=} c_{cal} = 0,75\bar{c}$	1,00	1,00	2,0 = η_p
4	DIN 4017 § 12.2	$\phi^* = a \tan \frac{\tan \phi_{cal}}{\eta_\phi}$ $c^* = c_{cal} / \eta_c$	$\phi_k \stackrel{1)}{=} \phi_{cal} = \bar{\phi} - 2,5$ $c_k \stackrel{2)}{=} c_{cal} = 0,75\bar{c}$	1,25 = η_c	2,00 = η_c	1,00

- 1) vgl. SCHULTZE & POTTHARST 1981: 11 und POTTHARST 1986: 20
- 2) nach Einschätzung der Forschungsgruppe festgelegt. Hierbei wird der erfahrungsmäßigen Abschätzung des herkömmlichen Rechenwertes für die Kohäsion Rechnung getragen
- 3) später auf 1,25 angehoben, siehe Abschnitt A 1-3
- 4) später auf 1,35 angehoben, siehe Abschnitt A 1-4.

Alle aus diesen Gleichungen abgeleiteten Kurven liegen bis etwa $\phi = 33^\circ$ auf einer Linie. Bei höheren Reibungswinkeln ergeben sich sowohl für die Bemessung nach DIN 4017 als auch für die festgelegten konstanten Teilsicherheitsbeiwerte nach GruSiBau im Vergleich zu den exakten S^* erheblich zu hohe Werte.

Abb. 5 des Hauptberichtes veranschaulicht diesen Sachverhalt anhand des erreichten Sicherheitsniveaus für den Lastfall Eigengewicht und für Eigengewicht plus Bürohausnutzlasten. Es ließ sich schlußfolgern, daß

1. das Sicherheitsniveau mit den Teilsicherheitsbeiwerten nach GruSiBau homogener ist als das nach DIN 4017 erreichte.
2. sich mit der Bemessung nach GruSiBau bis $\varphi = 35^\circ$ (ständige Last) bzw. $\varphi = 33^\circ$ (Bürohauslasten) wirtschaftlichere Ergebnisse ergeben als mit DIN 4017 (Abb. 5a u. b des Hauptberichts)
3. das Sicherheitsniveau bei Bürohauslasten generell höher liegt als bei alleiniger Berücksichtigung von Eigengewichtslasten.
4. ab $\varphi = 32^\circ$ (ständige Last) bzw. $\varphi = 37^\circ$ (Bürohauslasten) die neugewählten Teilsicherheitsbeiwerte Sicherheitsindizes kleiner als $\beta = 4,2$, also unsichere Resultate liefern, was jedoch in etwa auch für die Bemessung nach DIN 4017 zutrifft.

Dies gilt unter der Voraussetzung, daß die angenommenen stochastischen Modelle der Wirklichkeit entsprechen und die Erstellung der charakteristischen Werte (bzw. Nennwerte) für die Parallelrechnung nach DIN 4017 zutrifft. Außerdem wurde vorausgesetzt, daß $D/B = B/A = \gamma_1/\gamma_2 = 1,0$ und $B = 1,0$ m ist (quadratisches Fundament, Einbindetiefe = Breite = 1,0 m, homogener Baugrund), und daß $\gamma_1 = 20$ kN/m³ beträgt.

Die Präzisierung des stochastischen Modells für den Reibungswinkel durch Einführung einer linksseitigen Beschränkung der Log-Normalverteilung (vgl. POTTHARST in SCHULTZE & POTTHARST 1981: 12) führte zu einer Anhebung des Sicherheitsniveaus bei hohen Reibungswinkeln (Abb. A1-2). Ausgehend von diesem Sicherheitsniveau wurden nun Parameterstudien zum weiteren Anwendungsbereich der Grundbruchformel durchgeführt. Untersucht wurde zuerst der Lastfall der ständigen Lasten.

A 1-2 Parameterstudien

Die erste Studie sollte klären, inwieweit sich die Einbindetiefe (Studien 2 und 3), der Einfluß der Fundamentform (Studie 1 und 4) und der Einfluß unterschiedlicher Wichten unterhalb und

oberhalb der Gründungssohle (Studie 1 und 5) auf das Sicherheitsniveau auswirkt (Abb. 6 des Hauptberichtes). Die Variation der Einbindetiefe hat danach den größten Einfluß auf das Sicherheitsniveau. Insgesamt sind die festgestellten Abweichungen jedoch tolerabel.

Die Auswirkungen der Änderung des Variationskoeffizienten von ϕ auf das Sicherheitsniveau sind in Abb. A 1-3 dargestellt. Sie sind bei hohen Reibungswinkeln - etwa ab 30° - erwartungsgemäß deutlich.

Erhebliche Schwankungen des Sicherheitsniveaus werden durch die Variation des Variationskoeffizienten der Kohäsion verursacht (Abb. A 1-4). Wie bereits im 1. Zwischenbericht angemerkt, ist daher die genaue Festlegung des Variationskoeffizienten der Kohäsion besonders wichtig.

Aus der dimensionslosen Fassung der Grundbruchformel geht hervor, daß die relative Wirkung des Kohäsionsgliedes abhängig ist von der absoluten Breite B des Fundamentes. Mit zunehmender Breite sinkt der Einfluß des Kohäsionsgliedes auf die Tragfähigkeit des Fundamentes. Abb. 7 des Hauptberichtes zeigt den Einfluß der Breite B auf das Sicherheitsniveau. Die Breite wurde dabei in Übereinstimmung mit den während der 1. Frankfurter Sitzung (6.12.1985) angestellten Überlegungen mit $b = 0,5$ bis $5,0$ m festgelegt.

Der Verlauf der verschiedenen Sicherheitsniveaus wird erklärbar, wenn dies im Zusammenhang mit der Festlegung des konstanten Teilsicherheitsbeiwertes für die Kohäsion gesehen wird (Abb. A 1-1). Danach wurde bei hohen Kohäsionswerten der Teilsicherheitsbeiwert mit $\gamma_{OC} = 1,8$ etwas zu niedrig angesetzt, bei niedrigen Kohäsionswerten dagegen etwas zu hoch. Da mit zunehmender Fundamentbreite jedoch der Einfluß der Kohäsion auf die Tragfähigkeit sinkt, muß bei hohen Kohäsionswerten das Sicherheitsniveau mit zunehmender Breite ansteigen, da der entstandene Fehler infolge der zu niedrigen Ansetzung von γ_{OC} an Bedeutung verliert. Der gegenteilige Effekt ist bei niedrigen Kohä-

sionswerten zu beobachten. Im Falle eines kohäsionslosen Bodens laufen alle Kurven in einem Punkt zusammen. Die Abhängigkeit von der Breite ist durch die Nullsetzung des Kohäsionsgliedes ausgeschaltet.

Die bisher ausgeführten Untersuchungen bezogen sich hinsichtlich der Kombination von ϕ und c auf die in Tabelle 1 des Hauptberichtes schwarz hervorgehobenen Wertepaare, der "diagonalen Wertekombination". Zu untersuchen war nun noch, inwieweit eine Abweichung von dieser Diagonalen Schwankungen im Sicherheitsniveau verursacht. Diese Schwankungen werden gesteuert von der für jeden Fall spezifischen Abweichung des konstanten Teilsicherheitsbeiwertes von seinem exakten Wert. Für die (strichpunktierten) Wertekombinationen ergaben sich unerhebliche Abweichungen vom bislang festgestellten Sicherheitsniveau:

ϕ	25	40	20	30	0	20
c	0	10	10	30	30	75
β	4,33	3,78	5,66	5,17	4,42	5,02

Bis auf die Kombination $\phi = 40^\circ/c = 10 \text{ kN/m}^2$ liegen alle Werte im Toleranzbereich $\beta = 4,7 \pm 0,5$. Das Ergebnis für $\phi = 40^\circ/c = 10 \text{ kN/m}^2$ war erwartbar, da bei hohen Reibungswinkeln das Sicherheitsniveau auch bei der diagonalen Wertekombination nicht gehalten werden konnte.

A 1-3 Endgültige Festlegung der Teilsicherheitsbeiwerte

Um das Sicherheitsniveau auch bei hohen Reibungswinkeln ausreichend anzuheben, wurde der Teilsicherheitsbeiwert für den Reibungswinkel von 1,20 auf 1,25 erhöht. Damit galt:

$$\gamma_{O\phi} = 1,25$$

$$\gamma_{Oc} = 1,80$$

$$\gamma_{OS}^O = 1,30 \text{ bzw. } 1,35.$$

Der Effekt der Erhöhung des Teilsicherheitsbeiwertes für die Reibung ist in Abb. A 1-5 dargestellt. Mit dem erhöhten Teilsicherheitsbeiwert für φ liegt nun das Sicherheitsniveau für alle gewählten Kombinationen von φ und c oberhalb des tolerablen β -Niveaus von 4,2. Eine Überschreitung der aus Gründen der Wirtschaftlichkeit festgelegten oberen Grenze von $\beta = 5,2$ muß jedoch im Bereich $15 < \bar{\varphi} < 35$ in Kauf genommen werden, ein Zugeständnis, daß aufgrund der Festlegung konstanter Teilsicherheitsbeiwerte für φ , c und der Beanspruchung gemacht werden muß.

In Ergänzung hierzu zeigt Abb. A 1-6 das bei kohäsionslosen Böden erzielte Sicherheitsniveau bei $\gamma_{0\varphi} = 1,25$. Die erzielten Sicherheitsindizes liegen hier gut im vorgegebenen Toleranzbereich. Im Vergleich mit den Sicherheitsniveaus nach den in DIN 4017 angegebenen Sicherheitsbeiwerten ist das nach GruSiBau ermittelte wesentlich homogener. Dieses Ergebnis bestätigen die von SCHULTZE & POTTHARST (1981, Schlußbericht 3. Teil, S. 15) durchgeführten Untersuchungen.

Die von HOSSER et al. (1985: 4) vorgeschlagene Erhöhung des Teilsicherheitsbeiwertes im Lastfall Eigengewicht von $\gamma_{0S}^0 = 1,30$ auf 1,35 erhöht geringfügig das Sicherheitsniveau wie in Abb. 8 des Hauptberichtes dargestellt.

A 1-4 Vergleich des Grundbruchsicherheitsnachweises nach DIN 4017 und GruSiBau

Ein Vergleich der Grundbruchsicherheit nach DIN 4017 § 12.1 und § 12.2 mit der anhand der neu entwickelten Teilsicherheitsbeiwerte im Sinne der GruSiBau ermittelten, kann über zwei Wege erfolgen:

1. Über den Vergleich der mit den einzelnen Sicherheitsdefinitionen ermittelten Sicherheitsniveaus,
2. über die vergleichende Ermittlung der Grundbruchlasten.

Ausgehend von der dimensionsfreien Grundbruchgleichung

$$S_k^0 = S^*/\gamma_{oS}^0 = f(\varphi^*, c^*, \gamma_1/\gamma_2, D/B, B/A)/\gamma_{oS}^0$$

S_k^0 = charakteristische dimensionslose Beanspruchung

S^* = Bemessungswert der dimensionslosen Beanspruchung

γ_{oS}^0 = Teilsicherheitsbeiwert (Eigengewicht) der Beanspruchung

gilt für die Eingangsparameter (vgl. auch Abschnitt A1):

Nr.	Ansatz	Bemessungswert	charakteristischer Wert	Sicherheitsbeiwert für		
				φ	c	$\frac{0}{S}$
1	GruSiBau	$\varphi^* = \varphi_k / \gamma_{o\varphi}$ $c^* = c_k / \gamma_{oc}$	$\varphi_k = \bar{\varphi}$ $c_k = \bar{c}$	1,25	1,80	1,35
2	DIN 4017 § 12.1	$\varphi^* = \varphi_{cal}$ $c^* = c_{cal}$	$\varphi_k^{1)} = \varphi_{cal} = \bar{\varphi} - 2,5$ $c_k^{2)} = c_{cal} = 0,75c$	1,00	1,00	2,00 = η_p
3	DIN 4017 § 12.2	$\varphi^* = \text{atan} \frac{\tan \varphi_{cal}}{\eta_\varphi}$ $c^* = c_{cal} / \eta_c$	$\varphi_k^{1)} = \varphi_{cal} = \bar{\varphi} - 2,5$ $c_k^{2)} = c_{cal} = 0,75\bar{c}$	1,25 = η_φ	2,00 = η_c	1,00

1) vgl. SCHULTZE & POTTHARST 1981: 11 und POTTHARST 1986: 20

2) nach Einschätzung der Forschungsgruppe festgelegt. Siehe Ausführungen und Text.

Die Festlegung der für die Parallelrechnung mit der DIN 4017 anzusetzenden Rechenwerte der Scherfestigkeit φ_{cal} und c_{cal} ist problematisch. Ihre Größe im Verhältnis zu den versuchs-technisch ermittelten Mittelwerten der Scherbeiwerte $\bar{\varphi}$ und \bar{c} ist in den einschlägigen Normenwerken nicht definiert. SCHULTZE & POTTHARST (1981: 11) sowie POTTHARST (1986: 20) geben für φ an

$$\varphi_{cal} \leq \bar{\varphi} - 2,5.$$

Hinsichtlich der Kohäsion einigte sich die Forschungsgruppe aufgrund von Erfahrungswerten auf

$$c_{cal} \approx 0,75 \bar{c}.$$

Nur durch Einführung dieser Kalibrierung ist die näherungsweise Parallelrechnung der DIN 4017 mit den neuen Teilsicherheitsbeiwerten möglich.

Abbildung 8 (im Hauptbericht) zeigt die damit erzielten Sicherheitsniveaus. Die Untersuchung wurde für die Parameterkombination

$$D/B = B/A = \gamma_1/\gamma_2 = 1,0 \quad B = 1,0 \text{ m}$$

durchgeführt, da aufgrund der durchgeführten Parameterstudien (Abb. 6 und 7 des Hauptberichtes) diese Wertekombination den Bemessungsraum ausreichend beschreibt. Das stochastische Modell der einzelnen Parameter ist in Abschnitt 4 des Hauptberichtes erläutert.

Die in Abbildung 8 dargestellten Sicherheitsniveaus zeigen, daß für bindige Böden

1. das Sicherheitsniveau mit den neuen Teilsicherheitsbeiwerten homogener als nach DIN 4017 ist.
2. das Sicherheitsniveau mit den neuen Teilsicherheitsbeiwerten bis etwa $\varphi \approx 25$ niedriger als nach DIN 4017, aber trotzdem oberhalb des tolerablen Sicherheitsniveau von $\beta = 4,2$ liegt. Die Bemessung ist damit wirtschaftlicher und nach GruSiBau zulässig.
3. das Sicherheitsniveau oberhalb $\varphi \approx 30^\circ$ höher als nach DIN 4017 liegt. Die Bemessung ist also in diesem Bereich unwirtschaftlicher als nach DIN 4017.
4. das Sicherheitsniveau nach DIN 4017 oberhalb $\varphi \approx 35^\circ$ nicht

mehr tolerabel ist, da hier $\beta < 4,2$.

Für nicht bindige Böden gilt, daß

1. das Sicherheitsniveau mit den neuen Teilsicherheitsbeiwerten homogener ist.
2. das Sicherheitsniveau mit den neuen Teilsicherheitsbeiwerten für Werte $\varphi \approx 30^\circ$ eine Mittelstellung zwischen den Niveaus nach den beiden Sicherheitsdefinitionen nach DIN 4017 einnimmt.
3. das für $\varphi \approx 30^\circ$ die Bemessung mit den neuen Teilsicherheitsbeiwerten unwirtschaftlicher ist.
4. das ab $\varphi \approx 30^\circ$ die Bemessung nach DIN 4017 im Sinne der GruSiBau nicht zulässig ist.

Abb. 9 des Hauptberichtes veranschaulicht diese Ergebnisse. Hier ist das Verhältnis der dimensionslosen Beanspruchung aufgrund der neuen Teilsicherheitsbeiwerte zu der konventionellen dimensionslosen Grundbruchlast nach DIN 4017 über die Scherbeiwerte aufgetragen. Sobald dieses Verhältnis unter 1,0 absinkt bemißt man mit den neuen Teilsicherheitsbeiwerten unwirtschaftlicher.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, daß mit den neuen Teilsicherheitsbeiwerten in weiten Bemessungsbereichen wirtschaftlicher bemessen wird, ohne dabei das tolerable Sicherheitsniveau nach GruSiBau zu unterschreiten. In den Bemessungsbereichen, wo man mit den neuen Teilsicherheitsbeiwerten unwirtschaftlicher fährt, ist die herkömmliche Bemessung nach DIN 4017 insbesondere bei hohem Reibungswinkel nach GruSiBau nicht akzeptabel, da hier das tolerable Sicherheitsniveau unterschritten wird.

Diese Ergebnisse gelten jedoch nur für den Lastfall Eigengewicht. Kontrollrechnungen für Bürohausnutzlasten zeigen jedoch

(Abb. 5b des Hauptberichtes), daß hier das Sicherheitsniveau zusätzlich angehoben wird. Inwieweit dies mit den von HOSSER et al. (1985:4, 7) vorgeschlagenen Teilsicherheitsbeiwerten, Kombinationsfaktoren und stochastischen Modellen ebenfalls zutrifft, bleibt zu überprüfen.

Ebenfalls bleibt zu überprüfen, in welchem Maße Lasten aus Lastarrangements auch eine haltende Wirkung ausüben. Wie hier der Teilsicherheitsbeiwert anzuwenden ist, ist zu untersuchen.

Weiterhin darf nicht vergessen werden, daß die erzielten Ergebnisse nur zutreffen, wenn auch das im Hauptbericht formulierte stochastische Modell zutrifft.

Die folgende Beispielrechnung zeigt abschließend, wie eine Bemessung mit den neuen Teilsicherheitsbeiwerten im Vergleich zur herkömmlichen Bemessung durchzuführen ist. Zu beachten ist, daß die neuen Teilsicherheitsbeiwerte für ϕ und c nur auf die Mittelwerte und nicht auf die Rechenwerte zu beziehen sind. Außerdem ist $\gamma_{0\phi}$ direkt auf den ϕ und nicht auf dessen Tangens anzuwenden.

A 1-5 Beispielrechnung

Laboruntersuchungen ergaben folgende Mittelwerte für die Scherbeiwerte

$$\bar{\phi} = 20^{\circ}, \bar{c} = 30 \text{ kN/m}^2.$$

Wie groß ist die Grundbruchlast für ein durch Eigengewicht belastetes 1 m breites quadratisches Fundament mit 1 m Einbindungstiefe in homogenem Boden ($\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$)?

a) mit den neuen Teilsicherheitsbeiwerten

$$s^* = \frac{V_B^*}{B^2 \cdot A \cdot \gamma_2} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \cdot \frac{D}{B} \cdot N_d^* \cdot v_d^* + N_b^* \cdot v_b^* + \frac{c^*}{\gamma_2 \cdot B} \cdot N_c^* \cdot v_c^*$$

da

$$\begin{aligned}\varphi^* &= \bar{\varphi} / \gamma_{O\varphi} = 20^{\circ} / 1,25 = 16^{\circ} \\ c^* &= \bar{c} / \gamma_{Oc} = 30 / 1,80 = 16,67 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

folgt mit

$$\begin{aligned}N_d^* &= 4,34, N_b^* = 0,96, N_c^* = 11,63 \\ v_d^* &= 1,28, v_b^* = 0,70, v_c^* = 1,36 \\ D/B &= \gamma_1 / \gamma_2 = 1,0\end{aligned}$$

für den Bemessungspunkt der dimensionslosen Last

$$\begin{aligned}S^* &= 1 \cdot 1 \cdot 4,34 \cdot 1,28 + 0,96 \cdot 0,70 + \frac{16,67}{20 \cdot 1} \cdot 11,63 \cdot 1,36 \\ &= 19,4\end{aligned}$$

und damit die charakteristische (zulässige) Beanspruchung zu

$$S_k^{\circ} = S^* / \gamma_{OS}^{\circ} = 19,4 / 1,3 = 14,9.$$

b) nach DIN 4017 mit $\eta_p = 2,0$

$$\begin{aligned}\varphi_{cal} &\approx \bar{\varphi} - 2,5 = 20 - 2,5 = 17,5^{\circ} \\ c_{cal} &\approx 0,75 \bar{c} = 0,75 \cdot 30 = 22,50 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

es folgt mit

$$\begin{aligned}N_d &= 5,01, N_b = 1,26, N_c = 12,71 \\ v_d &= 1,30, v_b = 0,70, v_c = 1,38\end{aligned}$$

für die dimensionslose Grundbruchlast

$$\begin{aligned}S_B^{\circ} &= 1 \cdot 1 \cdot 5,01 \cdot 1,30 + 1,26 \cdot 0,70 + \frac{22,50}{20 \cdot 1} \cdot 12,71 \cdot 1,38 \\ &= 27,13\end{aligned}$$

und für die dimensionslose zulässige Beanspruchung

$$\text{zul } \bar{S}^{\circ} = S_B^{\circ} / \eta = 27,13 / 2,0 = 13,56.$$

c) nach DIN 4017 mit $\eta_{\varphi} = 1,25$ und $\eta_c = 2,0$

$$\text{zul } \varphi = \text{atan}\left(\frac{\tan \varphi_{\text{cal}}}{\eta_{\varphi}}\right) = \text{atan}\left(\frac{\tan 17,5}{1,25}\right) = 14,16^{\circ}$$

$$\text{zul } c = c_{\text{cal}}/\eta_c = 22,50/2,0 = 11,25 \text{ kN/m}^2$$

es folgt mit

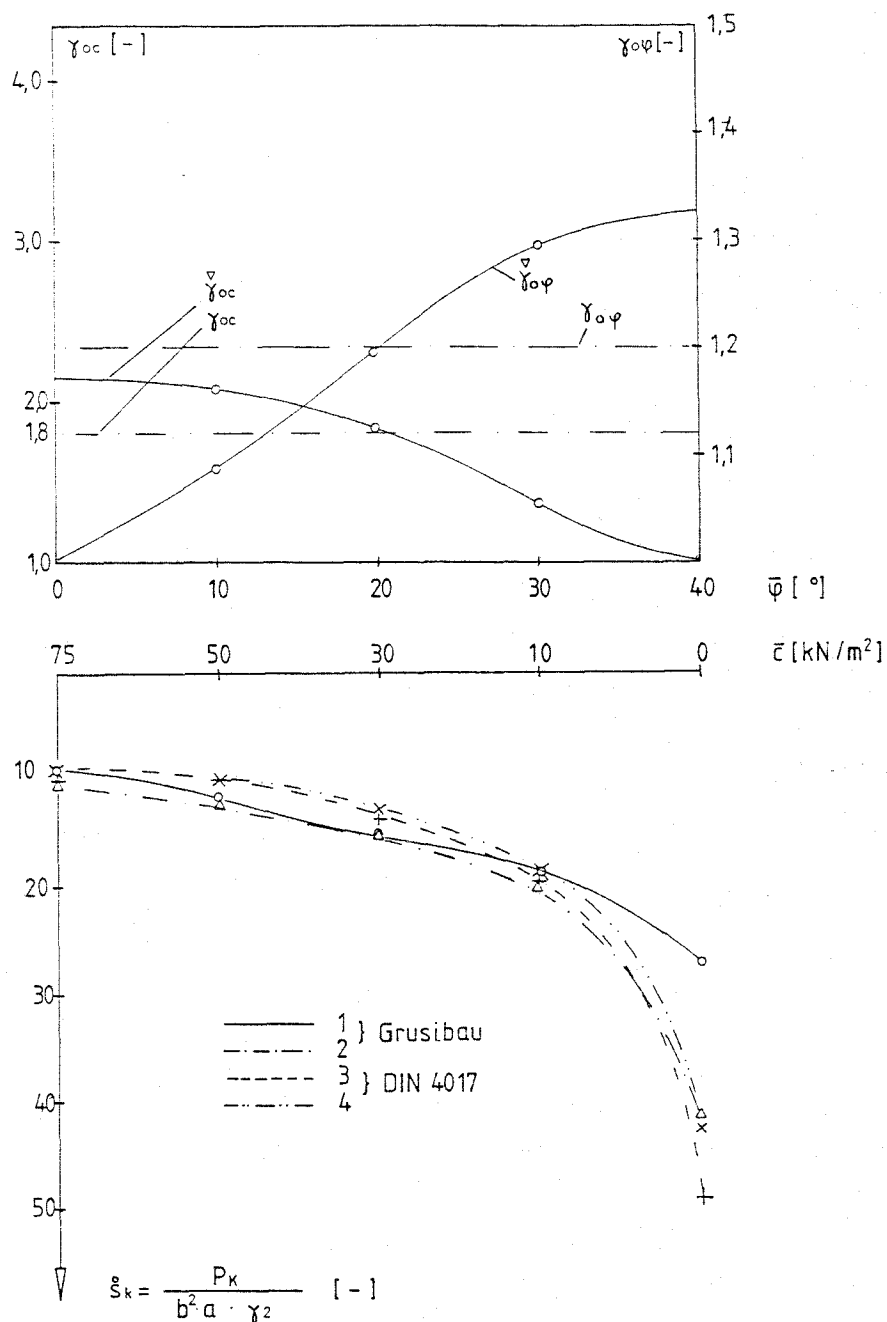
$$N_d = 3,64, N_b = 0,67, N_c = 10,46$$

$$v_d = 1,24, v_b = 0,70, v_c = 1,34$$

für die dimensionslose zulässige Grundbruchlast

$$\begin{aligned} \text{zul } S &= 1 \cdot 1 \cdot 3,64 \cdot 1,24 + 0,67 \cdot 0,70 + \frac{11,25}{20 \cdot 1} \cdot 10,46 \cdot 1,34 \\ &= 12,87 \end{aligned}$$

Abb. A 1-1: Teilsicherheitsbeiwerte und zulässige (charakteristische) dimensionslose Beanspruchung lotrecht-zentrisch belasteter Fundamente im Lastfall Eigengewicht



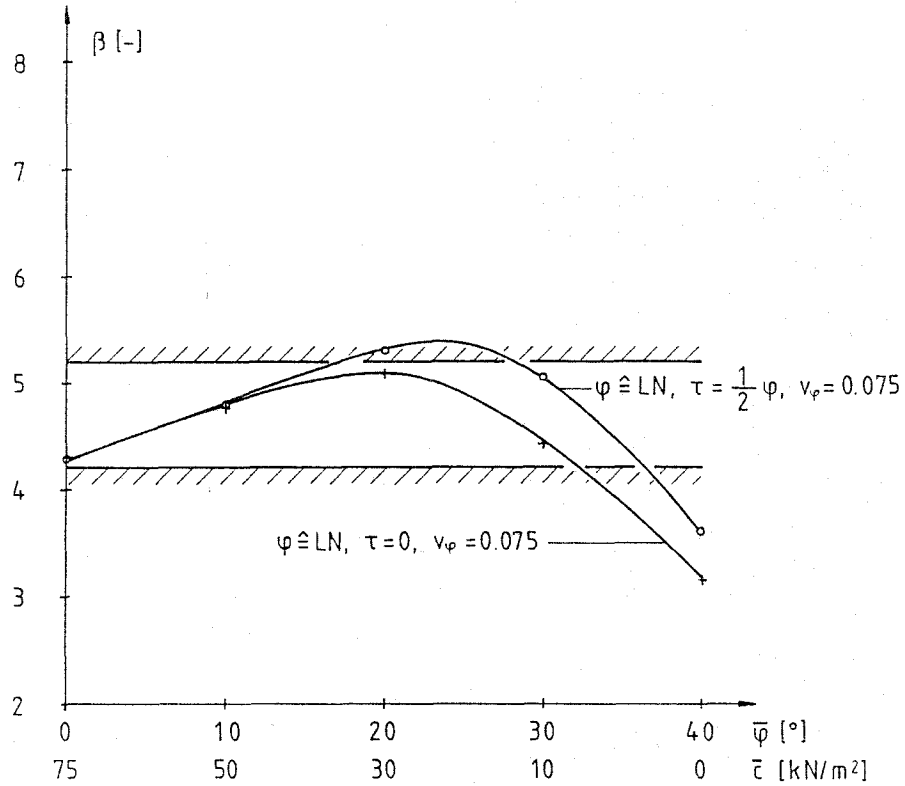
Streuende Größen

Parameter	Typ	V [-]
φ	LN, $\tau=0$	0,075
c	LN, $\tau=0$	0,2

Nicht streuend

$D/B = B/A = \gamma_1/\gamma_2 = 1,0$, $B = 1,0 \text{ m}$, $\gamma_1 = 20 \text{ kN/m}^3$

Abb. A 1-2: Erhöhung des Sicherheitsniveaus durch Einführung einer Begrenzung $\tau = 1/2 \varphi$ der LN-Verteilung von φ im Lastfall Eigengewicht



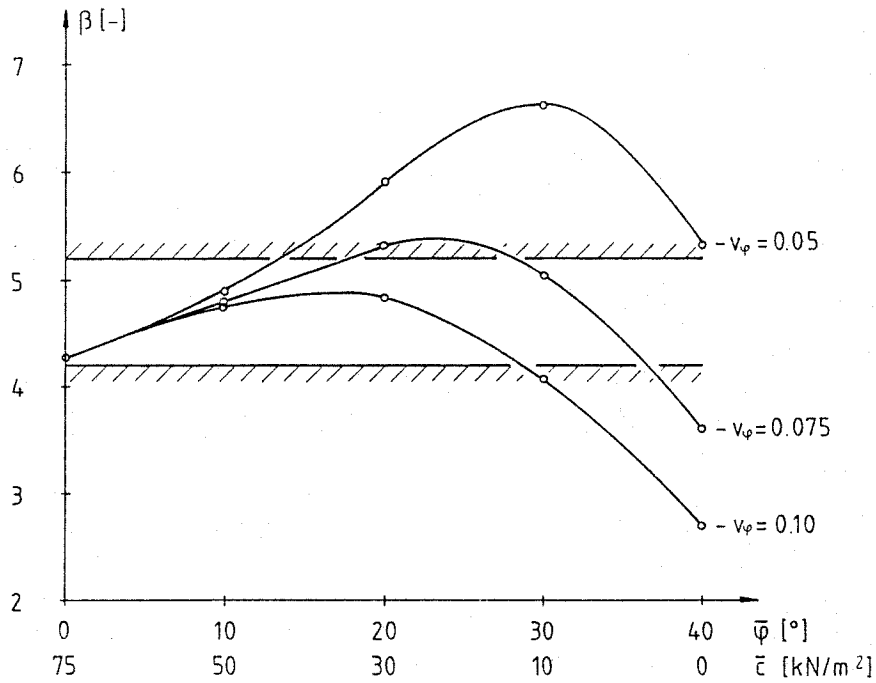
Streuende Größen und ihre Teilsicherheitsbeiwerte

Parameter	Typ	v [-]	γ [-]
φ	LN, $\tau = 0 - \varphi/2$	0,075	$\gamma_{\varphi\varphi} = 1,2$
c	LN, $\tau = 0$	0,2	$\gamma_{cc} = 1,8$
ξ	N	0,05	$\gamma_{\xi\xi} = 1,3$

Nicht streuend

$$D/B = B/A = \gamma_1 / \gamma_2 = 1,0, \quad B = 1,0 \text{ m}, \quad \gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

Abb. A 1-3: Sicherheitsniveaus bei schwankendem V_φ im Lastfall Eigengewicht



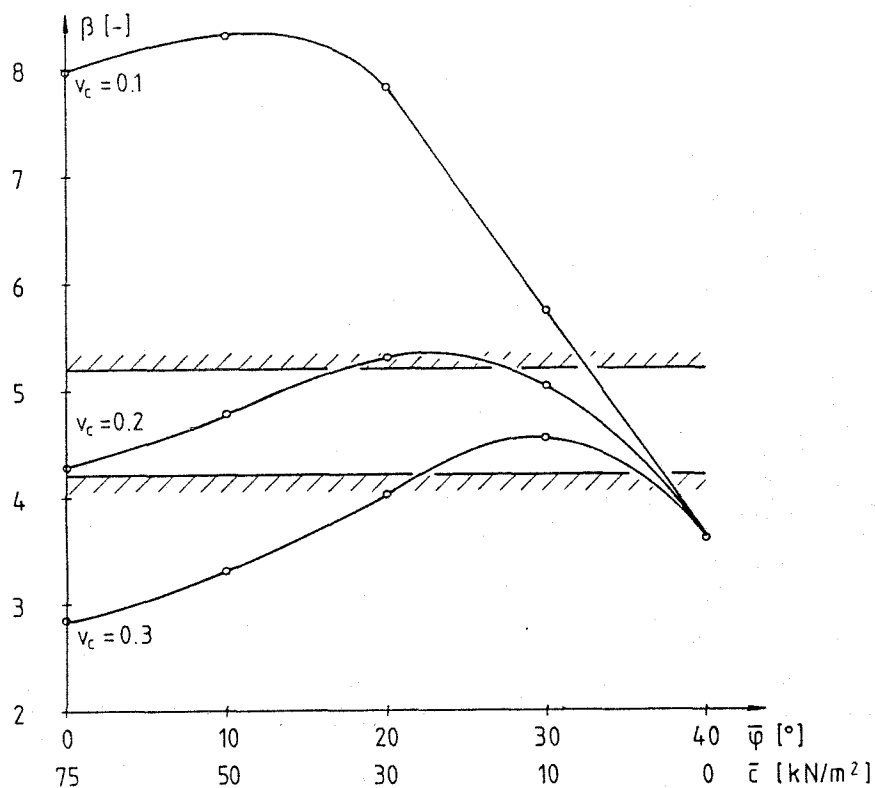
Streuende Größen und ihre Teilsicherheitsbeiwerte

Parameter	Typ	v [-]	γ [-]
φ	LN, $\tau = \varphi/2$	0,05 - 0,10	$\gamma_{\varphi} = 1,2$
c	LN, $\tau = 0$	0,2	$\gamma_{oc} = 1,8$
ξ	N	0,05	$\gamma_{os} = 1,3$

Nicht streuend

$D/B = B/A = \gamma_1 / \gamma_2 = 1,0$, $B = 1,0\text{m}$, $\gamma_1 = 20\text{ kN/m}^3$

Abb. A 1-4: Sicherheitsniveaus bei schwankendem V_C im Lastfall Eigengewicht



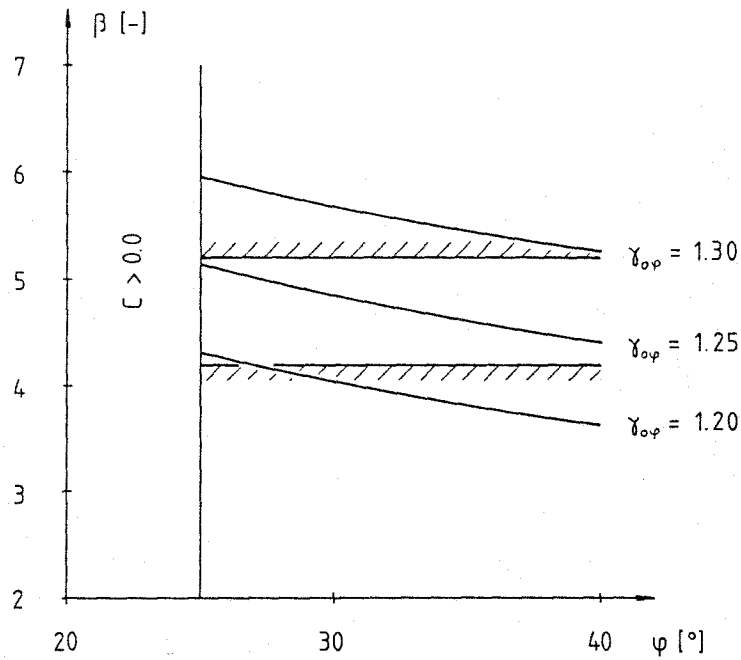
Streuende Größen und ihre Teilsicherheitsbeiwerte

Parameter	Typ	v [-]	γ [-]
φ	LN, $\tau = \varphi/2$	0,075	$\gamma_{\varphi} = 1,2$
c	LN, $\tau = 0$	0,1 - 0,3	$\gamma_{oc} = 1,8$
ξ	N	0,05	$\gamma_{os} = 1,3$

Nicht streuend

$$D/B = B/A = \gamma_1 / \gamma_2 = 1,0 \quad , \quad B = 1,0 \text{ m} \quad , \quad \gamma_1 = 20 \text{ kN/m}^3$$

Abb. A 1-6: Erhöhung des Teilsicherheitsbeiwertes für den Reibungswinkel φ von 1,20 auf 1,30

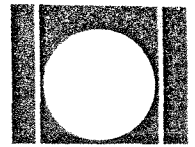


Streuende Größen

Parameter	Typ	V [-]	γ [-]
φ	LN, $\tau = \varphi/2$	0,075	variabel
\dot{S}	N	0,05	$\gamma_{0S} = 1,3$

Nicht streuend

$D/B = B/A = \gamma_1/\gamma_2 = 1,0$, $B = 1,0\text{ m}$, $\gamma_1 = 20\text{ kN/m}$



Grundbauinstitut
Az. 18513226

Ein
Erarbeitung der Grundlagen zur Festlegung von
Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen
in DIN 4017 - Grundbruchberechnungen

Schlußbericht

AG Nürnberg
Prof. Dr.-Ing. M. Kany
Dipl.-Ing. U. Sieler

Anlage A2 des Hauptberichts

erstattet im Auftrag des
Instituts für Bautechnik, Berlin

IV 1-5-435/85

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Vorgang	1
2. Grundlagen	2
2.1 Grenzzustandsgleichung	2
2.2 Basisvariable, Verteilungsfunktionen	3
2.3 Wichtungsfaktoren	4
3. Ausprägungen der Exzentrizität	6
3.1 Planmäßig geometrisch bestimmte Exzentrizität	6
3.2 Exzentrizität infolge ungewollter Ausmitte	6
3.3 Lastbestimmte Exzentrizität	7
4. Sicherheitsniveau	12
4.1 Angestrebtes Sicherheitsniveau, Teilsicherheitsbeiwerte	12
4.2 Geometrische Exzentrizität einschließlich ungewollter Ausmitte	13
4.2.1 Ohne Teilsicherheitsbeiwerte für die Exzentrizität	13
4.2.2 Additives Teilsicherheitselement für die Exzentrizität	19
4.3 Lastbestimmte Exzentrizität	21
5. Schlußfolgerungen	24
6. Anmerkungen zu grundlegenden Fragestellungen des Forschungsvorhabens	27
6.1 Zeitabhängigkeit des angestrebten Sicherheitsniveaus	27
6.2 Teilsicherheitsbeiwert und Begrenzung der Verteilung des Reibungswinkels	29
7. Zusammenfassung	30

Verzeichnis der Abbildungen

Bild		Seite
2.1	Wichtungsfaktoren bei streuender Ausmitte	5
3.1	Lastbestimmte Exzentrizität	8
3.2	Abhängiger Variationskoeffizient V_e	11
4.1	Sicherheitsniveau bei Variation von σ_e Fundamentbreite $b = 1,0$	15
4.2	Sicherheitsniveau bei Variation von σ_e Fundamentbreite $b = 5,0$ m	16
4.3	Verkehrslasteinfluß auf das Sicherheitsniveau	18
4.4	Additives Sicherheitselement für e	20
4.5	Sicherheitsniveau bei lastbestimmter Exzentrizität	22
6.1	Erhöhung der Begrenzung der LN-Verteilung des Reibungswinkels	28

1. Vorgang

Im Rahmen der geplanten Einführung des statistischen Sicherheitskonzepts (GruSiBau 1981) in die bodenmechanische Normung wurde vom Institut für Bautechnik ein Forschungsauftrag mit dem Zeichen IV 1-5-435/85 an eine Arbeitsgemeinschaft unter Federführung der Bergischen Universität - GH Wuppertal, Prof. Dr.-Ing. Walz, vergeben. Aufgabe ist die Untersuchung des Versagensfalles Grundbruch auf der Grundlage des statistischen Sicherheitskonzepts mit dem Ziel, handhabbare Teilsicherheitsbeiwerte für eine mögliche Neufassung der DIN 4017 zu erarbeiten. Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens sind in einem Generalbericht, der insbesondere Angaben zu den angesetzten Bodenparametern und grundlegenden Lastparametern enthält, und in den Endberichten der einzelnen Arbeitsgruppen niederlegt.

Der vorliegende Endbericht der Arbeitsgruppe Nürnberg behandelt das Grundbruchversagen unter einer vertikalen, exzentrischen Last.

Für die der Vollständigkeit halber angeschriebene Grenzzustandsgleichung werden zu Anfang die Wichtungsfaktoren des statistischen Sicherheitskonzepts in einigen Grundfällen ermittelt, um einen Anhalt über den Einfluß der am Überleben bzw. Versagen der Konstruktion beteiligten Größen zu gewinnen. Da die statistischen Parameter der Ausmitte nicht bekannt sind und ihre genaue Ermittlung nicht Gegenstand des Forschungsauftrags ist, werden in einem zweiten Abschnitt die möglichen Ausprägungen der Ausmitte dargestellt, um so die möglichen Grenzwerte für die Untersuchung festzulegen. Das für diesen Wertebereich und mit den von der Arbeitsgruppe Wuppertal für die weiteren Variablen bestimmten Teilsicherheitsbeiwerten erzielte Sicherheitsniveau wird im dritten Abschnitt dargestellt. Die sich aus den Berechnungsergebnissen für das Forschungsziel ergebenden Schlußfolgerungen werden im folgenden zusammengefaßt. Ein weiterer Abschnitt ist Fragestellung vorbehalten, die den Rahmen des Teilauftrags sprengen, sich jedoch im Lauf der Arbeit ergaben.

2. Grundlagen

2.1 Grenzzustandsgleichung

Die Grenzzustandsgleichung für den Grundbruch unter einer in einer Richtung ausmittigen vertikalen Last ist z.B. DIN 4017 zu entnehmen und lautet

$$V_f = a * b' [\gamma_1 d N_d v_d' + \gamma_2 * b' N_b v_b' + c * N_c v_c'] \quad (1a)$$

Die Ausmittigkeit e wird in der reduzierten Breite

$$b' = b - 2e$$

berücksichtigt. Die weiteren Variablen sind im Generalbericht oder z. B. in DIN 4017 aufgeschlüsselt. Für das Forschungsvorhaben wird diese Gleichung oder einzelne Glieder auch in dimensionsloser Form benutzt:

$$\frac{\gamma_1 d}{\gamma_2 b} N_d v_d' + \frac{b'}{b} N_b v_b' + \frac{c}{\gamma_2 b} N_c v_c' - \frac{V}{b^2 a \gamma_2} \frac{b}{b'} = 0 \quad (1b)$$

Eine auf b' bezogene dimensionslose Darstellung ist nicht sinnvoll, da dann das stochastische Modell der dimensionsfreien Last abgeändert werden müßte.

Die zulässige Ausmitte wird durch die Forderung von DIN 1054 begrenzt, daß sich die Sohlfluge rechnerisch maximal bis zur Mitte öffnen darf. Diese Begrenzung liefert mit Sicherheit auch eine obere Grenze für die Gültigkeit der Grundbruchgleichung als mechanisches Modell. Bemessungspunkte, die zu $e^* > b/3$ führen, werden demzufolge als aus mechanischen Gründen nicht zulässig ausgeschlossen.

2.2 Basisvariable, Verteilungsfunktionen

Als deterministisch werden die geometrischen Größen Einbindetiefe, Länge und Breite betrachtet. Für die Basisvariablen wurden die folgenden Verteilungsfunktionen und Variationskoeffizienten festgelegt (vergl. Generalbericht).

Reibungswinkel	ϕ	LN-verteilt bei $\tau = \phi/2$ durch Verschiebung der LN-Verteilung begrenzt $V_{\phi} = 7,5 \%$
Kohäsion	c	LN-verteilt $V_c = 20 \%$
Wichten	γ_1, γ_2	Normalverteilung In der Regel wegen des festgestellten geringen Einflusses als deterministisch angenommen
Eigengewichtslasten	G	Normalverteilung $V_G = 5 \%$
(Bürohaus-)Nutzlasten	P	Extremwert-I-Verteilung $V_P = 63 \%$
Lastkollektiv	Q	Normalverteilung $V_Q = 10 \%$

Für die hier speziell untersuchte Variable, die Ausmitte, werden in Abschnitt 3 nähere Angaben gemacht.

2.3 Wichtungsfaktoren

Bei der Berechnung des Sicherheitsindex β und der Bemessung auf Level II des statistischen Sicherheitskonzepts sind als Hilfsgrößen die sog. Wichtungsfaktoren α aus

$$\alpha_i = \frac{\delta_g / \delta_{x_i} * \sigma_i}{[\sum (\delta_g / \delta_{x_i} * \sigma_i)^2]^{1/2}} \quad (2)$$

zu ermitteln. Dabei bedeutet $g : g(x_i) = 0$ die Grenzzustandsgleichung, hier also (1b), die x_i sind die (streuenden) Basisvariablen und σ_i ihre jeweilige Standardabweichung. Die Ermittlung der α_i erfolgt im Bemessungspunkt, dem Versagenspunkt mit der größten Eintrittswahrscheinlichkeit.

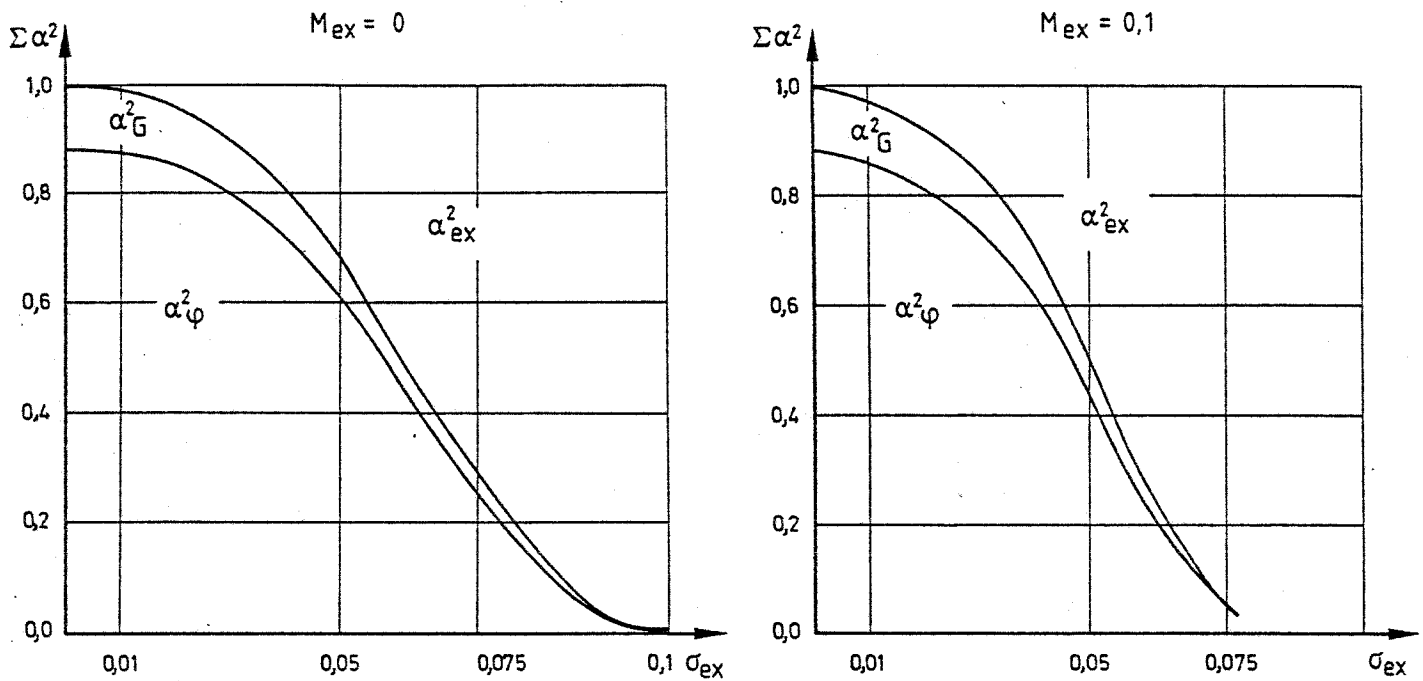
Die Wichtungsfaktoren zeigen, wenn sie in Summenkurven aufgetragen werden, anschaulich den Einfluß einer Größe oder den ihrer Streuung auf das Versagen der Konstruktion. Sie geben somit auch ein anschauliches Bild der "Empfindlichkeit" der hochgradig nichtlinearen Grenzzustandsgleichung gegenüber Änderungen in den Eingangsgrößen.

Exemplarisch sind deshalb auf Bild 1 zwei verschiedene Fälle dargestellt, aufgetragen ist jeweils der Anteil von α_i^2 über der variierten Streuung der Standardabweichung der normalverteilten Ausmitte. Berechnet wurde jeweils der Bemessungspunkt mit dem Mittelwert der normalverteilten Auflast als freier Größe.

Auf beiden Bildern verbleiben für den Fall $\sigma_e = 0$ noch der Reibungswinkel und die Auflast als streuende Größen. Deutlich wird, daß in diesem Fall der Reibungswinkel die maßgebende Größe ist. Dies erklärt sich daraus, daß bei der relativ geringen Streuung der Auflast die Auflast im Verhältnis zum Gleitkörpergewicht immer klein ist (bei einem nicht zu kleinen Reibungswinkel). Bei zunehmender Streuung der Ausmitte gewinnt diese Größe jedoch sehr schnell einen großen Einfluß. Bei $\sigma_e = 0,05 * b$, einem Wert der später für die Exzentrizität infolge einer unge-

wollten Ausmitte von schlanken Druckgliedern festgelegt wird, ist die Ausmitte bereits die Variable mit dem größten Einfluß. Wird wie in Bild 1b eine Streuung nicht um die Fundamentmitte, sondern um einen von Null verschiedenen Mittelwert (hier $m_e = 0,1 \cdot b$) angenommen, so verstärkt sich dieser Einfluß weiter.

Der in der Auftragung abnehmende Einfluß der Auflast erklärt sich aus den absolut mit zunehmender Ausmitte stark abnehmenden aufnehmbaren Lasten.



BV	Typ	m	V
φ	LN	30	10%
G	N	?	10%
e	N	0 / 0,1	var.

$$a = b = 1,0\text{m} \quad d = 0,5\text{m} \quad \gamma_1 = \gamma_2 = 18\text{kN/m}^3$$

Bild 2.1: Wichtungsfaktoren bei streuender Ausmitte

3. Ausprägungen der Exzentrizität

Das stochastische Modell der Exzentrizität in OK Fundament ist nicht bekannt. Um hierfür fundierte Abschätzungen zu treffen, wird im folgenden versucht, die möglichen Ursachen der Exzentrizität aufzugliedern, um so die möglichen Schwankungsbereiche von Mittelwert und Standardabweichung faßbar zu machen.

3.1 Planmäßig geometrisch bestimmte Exzentrizität

Planmäßig geometrische Exzentrizität bedeutet hier die planmäßige exzentrische Einleitung einer vertikalen Last in ein Fundament. Anschnittmomente werden nicht übertragen. Die Größe und Streuung der Ausmitte hängt damit nur von den geometrischen Eigenschaften des Fundaments ab. Die Streuung geometrischer Größen ist in aller Regel klein gegenüber der Streuung von Lasten und Materialeigenschaften. Dies kann auch hier als gesichert unterstellt werden. Die so definierte geometrische Exzentrizität ist damit als eine deterministische Größe zu betrachten. Zu Fragen bleibt, inwieweit ein von Null verschiedener, nicht streuender, Wert der Exzentrizität das für den Grundfall eines zentrisch belasteten Fundaments bestimmte Sicherheitsniveau verändert. Eine Abhängigkeit ist wegen der Abhängigkeit des Sicherheitsniveaus von dem (deterministischen) Absolutwert der Breite gegeben (Vgl. Abb. 10 des Hauptberichts).

3.2 Exzentrizität infolge ungewollter Ausmitte

Die ungewollte Ausmitte von eingespannten schlanken Druckgliedern führt zu einer Streuung der Exzentrizität um ihren Sollwert. Für Stahlbetondruckglieder mit "den im Hochbau üblichen Längen" geben König/Hosser/Schobbe (1982) die Standardabweichung der ungewollten Ausmitte zu

$$\sigma_e \sim S_k/1000$$

an. Die Knicklänge S_k wird durch die Forderung (DIN 1045)

$$\lambda = S_k/i < 200$$

begrenzt.

Für Rechteckquerschnitte läßt sich damit ableiten

$$\sigma_e < 0,06 b_s = 0,05 b_s$$

wobei die Stützenbreite b_s eine unterste Schranke für die Fundamentbreite b darstellt.

Damit kann unterstellt werden, daß mit den Annahmen:

- die Exzentrizität ist normalverteilt
- $\sigma_e < 0,05 b$

die Auswirkungen der ungewollten Ausmitte und verwandter Ursachen für eine Streuung der Exzentrizität abgedeckt sind.

Selbstverständlich sind diese Überlegungen nur in dem Fall maßgebend, in dem die ungewollte Ausmitte nicht bereits bei der Ermittlung der Schnittgrößen in OK Fundament und der anschließenden Fundamentauslegung berücksichtigt wurde. Inwieweit dies insbesondere nach der Einführung des statistischen Sicherheitskonzepts in die Normung des Hochbaus der Fall sein wird, ist an dieser Stelle nicht abzusehen.

3.3 Lastbestimmte Exzentrizität

Die lastbestimmte Exzentrizität resultiert aus der gleichzeitigen Einleitung einer Vertikalkraft und eines Moments in das Fundament. Zu unterscheiden sind zwei Fälle. Im einfachen Fall resultiert das Moment aus einer Exzentrizität der Vertikallast im Überbau. In diesem Fall ist die Exzentrizität der Last auch in der Fundamentsohle lastunabhängig und wird als geometrische Größe als deterministisch betrachtet. Dies entspricht dem unter 3.1 behandelten Fall.

Im weiteren ist jedoch denkbar, daß die Exzentrizität von einem exzentrisch angreifenden Lastkollektiv hervorgerufen wird, ein zweites Lastkollektiv jedoch zentrisch angreift. Dieser Fall soll im Folgenden als lastbestimmte Exzentrizität bezeichnet werden und ist in Bild 3.1 schematisch dargestellt. In der Regel ergibt er sich in der Praxis, wenn aus einem beliebigen Überbau eine Vertikalkraft und ein Moment in das Fundament eingeleitet werden.

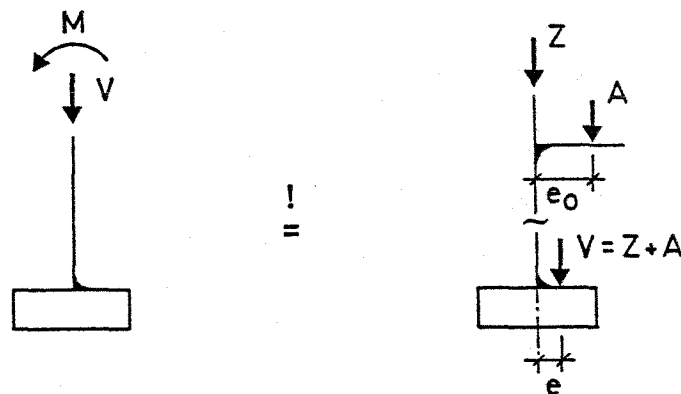


Bild 3.1: Lastbestimmte Exzentrizität

Die interessierende Exzentrizität in der Fundamentsohle ergibt sich in diesem Fall zu

$$e = \frac{M}{V} = \frac{A * e_0}{Z + A} \quad (3-1)$$

Die unüblichen Bezeichnungen Z (zentrisch) und A (ausmittig) wurden gewählt, um nicht durch die naheliegenden Bezeichnungen G und P unzutreffende Assoziationen zu wecken.

In der Beziehung (3-1) sind die statistischen Parameter der Lastgrößen Z und A die gleichen wie bei der im vorhergehenden betrachteten einzigen Lastgröße V und im Rahmen dieses Berichts als bekannt vorauszusetzen. Ihr Verhältnis läßt sich aus dem im Fundamentalschnitt angegebenen Moment nicht mehr bestimmen. Sein Einfluß muß durch Parameterstudien geklärt werden.

Als unbekannte Größe ist der Wert e_0 hinzugekommen, der die Geometrie (oder das statische System) des Überbaus beschreibt. In diesem Sinne kann e_0 als "charakteristischer Hebelarm" bezeichnet werden. Alleine im Angesicht der Vielfalt der möglichen Systeme sind seine statistischen Parameter nur schwer zu bestimmen. In jedem Fall resultiert er aber im Grunde aus der Geometrie des Systems. Bei einfachen Systemen (z. B. einer Stütze mit Konsole) kann er also als nicht streuend betrachtet werden. Inwieweit dies bei statisch unbestimmten Systemen zulässig ist, kann an dieser Stelle nicht beurteilt werden. Rechnerisch könnte eine nicht zu große Streuung des charakteristischen Hebelarms jedoch der Lastgröße A aufgeprägt werden. Hiervon wird an dieser Stelle Gebrauch gemacht.

Eine vorhergehende Festlegung des deterministischen Werts des charakteristischen Hebelarms ist nicht möglich. Der Einfluß dieses Werts auf das Sicherheitsniveau ist durch Parameterstudien zu klären. Eine variable obere Grenze ergibt sich aber durch die Forderung

$$e < b/3$$

Wird der einfachen Schreibweise zuliebe noch der Faktor

$$\kappa = Z/A \quad (3-2)$$

eingeführt ergibt sich

$$\frac{e}{b} = \frac{e_0}{b} \frac{1}{1 + \kappa} < 1/3 \quad (3-1a)$$

$$\frac{e_0}{b} < \frac{1 + \kappa}{3} \quad (3-1b)$$

Eine wichtige Folgerung aus dem Gesagten ist:

Die lastbestimmte Exzentrizität ist eine abhängige Größe. Sie ist abhängig von den Lasten, den Lastangriffspunkten und der Lastfortleitung im Überbau. Damit hängen auch ihre statistischen Eigenschaften von diesen Ausgangsgrößen ab.

Eine Klärung dieser Abhängigkeit, also eine Ermittlung besonders des Variationskoeffizienten V_e der lastbestimmten Ausmitte ist für den allgemeinen Fall beliebiger Verteilungstypen von Z und A schwierig oder unmöglich. Eine Abschätzung ergibt sich jedoch wie folgt:

Nach Cornell (1972, Seite 1984) gilt für

$$y = g(x_1, \dots, x_n)$$

$$m_y = g(m_{x_i})$$

und eine nach dem ersten Glied abgebrochene Taylorentwicklung liefert

$$\sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\delta g}{\delta x_i} \Big|_{x_0} \right)^2 \sigma_{x_i}^2$$

Wird diese Entwicklung für den Mittelwert von Z und A in (3-1a) durchgeführt ergibt sich

$$\sigma_e^2 = e_0^2 \frac{m_a \sigma_z^2 + m_z^2 \sigma_a^2}{(m_z + m_a)^4} \quad (3-3)$$

Mit auf die Mittelwerte bezogenen κ_m nach Gl. (3-1) und $\sigma_i = m_i V_i$

$$\frac{V_e}{V_z} = \frac{\sqrt{1 + (V_A/V_Z)^2}}{1 + 1/\kappa_m} \quad (3-3a)$$

Diese Gleichung ist auf Bild (3.2) ausgewertet.

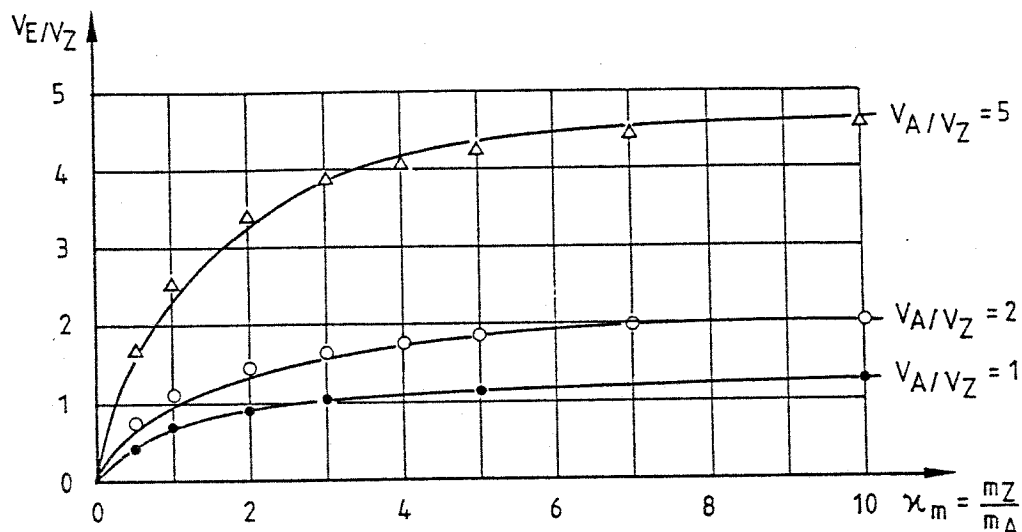


Bild 3.2: Abhängiger Variationskoeffizient V_e

Der Bezug auf V_z wurde gewählt, da die statistischen Parameter dieser Größe als weitgehend bekannt vorausgesetzt werden können. Es zeigt sich, daß bei einem hohen Anteil der ausmittigen Last ($\kappa < 1 \dots 2$) die Streuung der resultierenden Exzentrizität wesentlich kleiner als die Streuung der ausmittigen Last ist. Gerade in diesem Fall ergibt sich jedoch wegen des großen Mittelwerts der Ausmitte und der daraus folgenden großen Standardabweichung bei konstanten Variationskoeffizienten eine große Empfindlichkeit des Systems gegenüber einer Streuung der Ausmitte. Bei hohen Anteilen der zentrischen Last steigt dagegen der Variationskoeffizient der resultierenden Exzentrizität und nähert sich dem Variationskoeffizienten der ausmittigen Last asymptotisch an.

Dieses Verhalten läßt sich auch anhand der Definitionsgleichung $e/e_0 = A/(A + Z)$ deuten. Bei einem kleinen Anteil der zentrischen Last ist die Streuung von Zähler und Nenner ungefähr gleich groß und gleichgerichtet, die resultierende Streuung also gering. Bei einem hohen Anteil der zentrischen Last streut die Exzentrizität im Verhältnis zur zentrischen Last in gleichem Maße wie die ausmittige Last. Die Abschätzung läßt somit hoffen, daß gerade im Bereich hoher Empfindlichkeit des Sicherheitsniveaus gegenüber einer Streuung der Exzentrizität die im Überbau auftretende Streuung vermindert in Erscheinung tritt.

Dies muß jedoch an Parameterstudien nachgewiesen werden, zumal die Entwicklung im Mittelwert der Verteilung und nicht im Bemessungspunkt durchgeführt werden mußte.

4. Sicherheitsniveau

4.1 Angestrebtes Sicherheitsniveau, Teilsicherheitsbeiwerte

Die Berechnungen wurden für den angestrebten Sicherheitsindex $\beta = 4,7$ entsprechend Tabelle 3 der GruSiBau für den Grenzzustand der Tragfähigkeit von Bauteilen der Sicherheitsklasse 2 durchgeführt.

Diesem Sicherheitsniveau liegt ein Bezugszeitraum von 1 Jahr zugrunde. Konsequenzen aus dieser Zeitabhängigkeit werden in Abschnitt 6.1 angesprochen.

Als Toleranzbereiche wird $\Delta\beta = 0,5$ zugelassen, also

$$4,2 < \beta < 5,2$$

Dieses Sicherheitsniveau sollte mit den aus den Berechnungen der Arbeitsgruppe Wuppertal für den Grundfall des zentrisch belasteten Fundaments abgeleiteten Teilsicherheitsbeiwerten für die Bodenkennwerte und den der GruSiBau entnommenen Lastteilsicherheitsbeiwerten eingehalten werden. Diese Werte sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Kennwert		TSB	bezogen auf
Reibungswinkel	ϕ	1,25	Mittelwert
Kohäsion	c	1,80	Mittelwert
ständige Last	G	1,3	Mittelwert
Bürohausnutzlast	P	1,3	99-%-Fraktile
Lastkollektiv	Q	1,3	Mittelwert

Für das Verhältnis von ständiger Last und Verkehrslast wurde nach Pottharst (1986) angesetzt:

Mittelwerte $m_G/m_P = 7,33$

bzw.

Nennwerte $G/P = 2,50$

Für die Berechnungen wurde für die Bürohausnutzlast ein auf den Mittelwert der Grundverteilung bezogener Teilsicherheitsbeiwert angesetzt, der sich nach einer z.B. von König/Hosser/Schobbe (1982:74) angegebenen Beziehung zu

$$\gamma_m = \frac{1 - \frac{\sqrt{6}}{\pi} V_Q (0,577 + \ln [-\ln \Phi (0,7 \beta)])}{1 - \frac{\sqrt{6}}{\pi} V_Q (0,577 + \ln [-\ln (0,5)])} = 3,70$$

berechnet.

4.2 Geometrische Exzentrizität einschließlich ungewollter Ausmitte

4.2.1 Ohne Teilsicherheitselement für die Exzentrizität

Untersucht wird das Sicherheitsniveau eines Fundaments unter einer Belastung mit einer Ausmitte mit den Mittelwerten

$$m_e/b = 0; 0,05; 0,10; 0,25$$

Als Standardabweichung σ_e der (normalverteilten) Exzentrizität werden

$$\sigma_e/b = 0; 0,0125; 0,025; 0,05$$

untersucht. $\sigma_e/b = 0$ entspricht dabei dem Fall der lediglich aus dem exzentrischen Lastangriff resultierenden Ausmitte (geometrische Exzentrizität nach Abschnitt 3.1), $\sigma_e/b = 0,05$ entspricht dem in Abschnitt 3.2 abgeleiteten oberen Grenzwert der Streuung der Exzentrizität aus ungewollter Ausmitte.

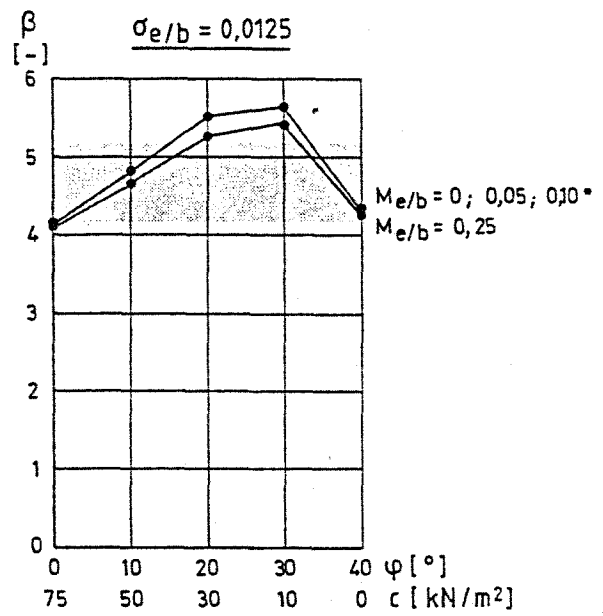
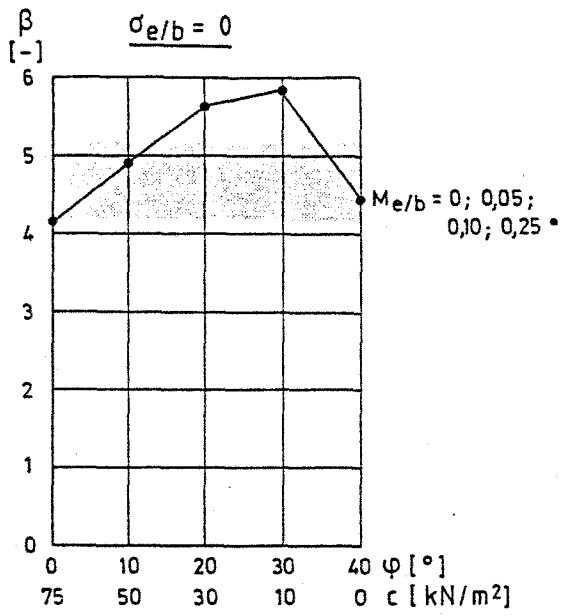
Die Berechnungsergebnisse für den Grundfall $a = b = d = 1,0$ m sind auf der Abbildung 4.1 dargestellt. Auf Abbildung 4.2 finden sich die Ergebnisse für den zweiten untersuchten Grundfall $a = d = 1,0$ m, $b = 5,0$ m.

Aufgetragen sind jeweils der berechnete Sicherheitsindex über den gewählten Kombinationen von ϕ und c . Scharparameter der Kurven ist der Mittelwert der Exzentrizität, wobei das Sicherheitsniveau mit steigendem Mittelwert sinkt.

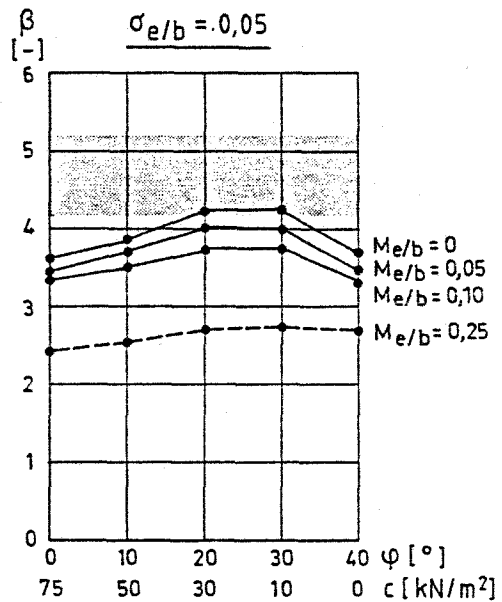
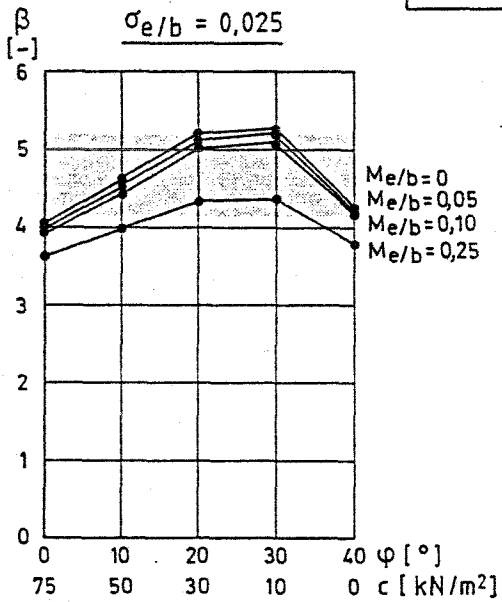
Dieses Absinken ist am geringsten im Fall $\sigma_e = 0$, wobei allerdings die Fundamentbreite b einen deutliche Einfluß hat. Die Abhängigkeit des Sicherheitsniveaus von einer nichtstreuenden Ausmitte ist auf die Abhängigkeit vom Absolutwert der Breite zurückzuführen. In jedem Fall jedoch wird für eine nichtstreuende Ausmitte das angestrebte Sicherheitsniveau gehalten oder überschritten. Wie auch bei anderen Arbeitsgruppen ergibt sich die Überschreitung in den Fällen, wo die Bodenkennwerte ϕ und c etwa den gleichen Einfluß haben (ϕ ; $c = 20^\circ$; 30 kN/m^3 und 30° ; 10 kN/m^2) und sich die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte überkompensieren.

Mit zunehmender Streuung der Exzentrizität sinkt das Sicherheitsniveau rasch ab, insbesondere bei großen Mittelwerten m_e . Im Grenzfall $b = 1,0$ m, $\sigma_e = 0,5$ wird in keinem Fall der geforderte Sicherheitsbeiwert $\beta > 4,2$ erreicht.

Angesichts des z. T. bis auf $\beta = 1$ absinkenden Sicherheitsniveaus ist aber darauf hinzuweisen, daß für die entsprechend markierten Bereiche für den Bemessungspunkt e^* die Bedingung $e^* < b/3$ (rechnerische Fuge klafft höchstens bis Fundamentmitte) nicht eingehalten wurde. Für diese kann die Grenzzustandsgleichung nicht mehr als gültig betrachtet werden. Werden sie eliminiert, ergeben



b = 1,0m

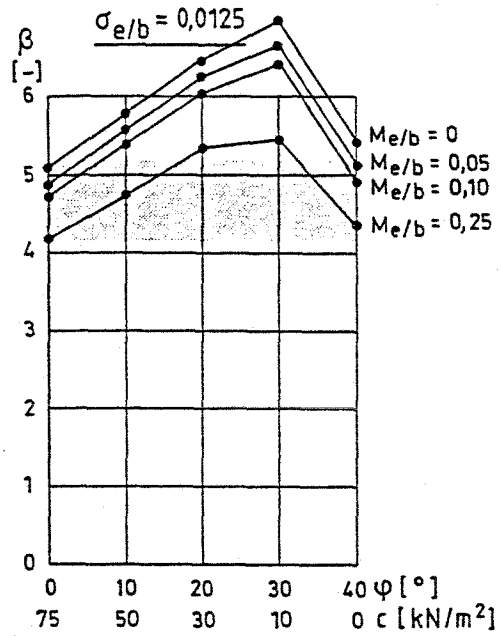
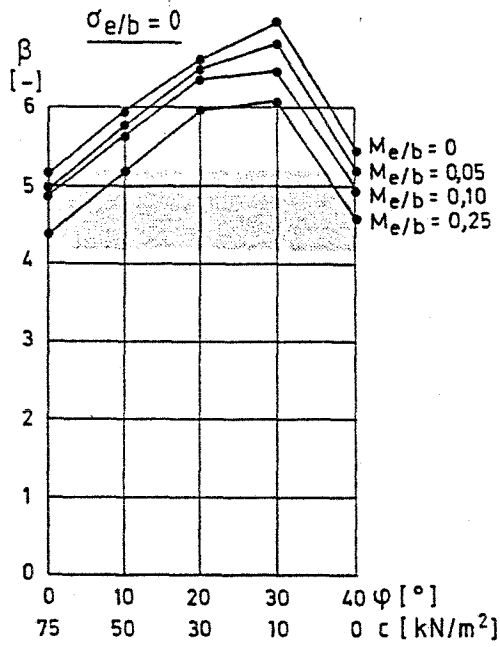


BV	Typ	Grenze	V	TSB	Fraktile
φ	LN	50%	7,5%	1,25	50%
c	LN	-	20%	1,80	50%
G	G	-	5%	1,30	50%
e	G	-	-	1,00	-

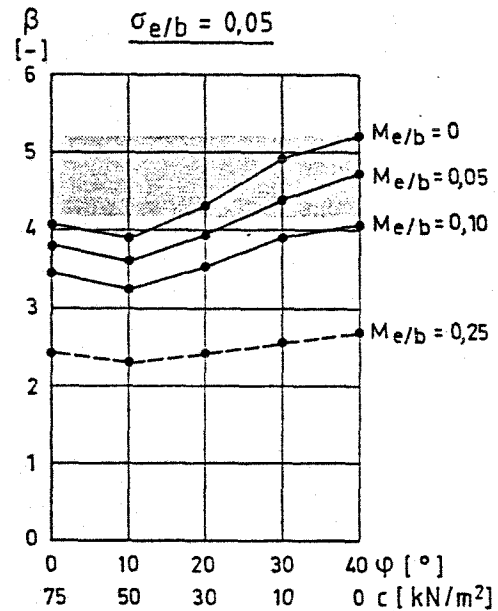
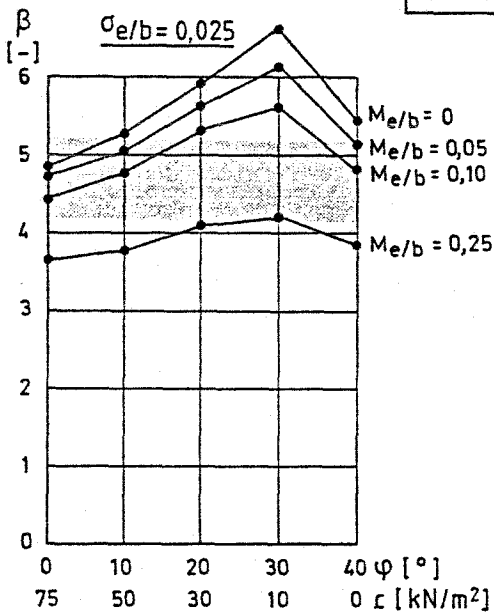
--- e < b/3
* $\Delta\beta < 0,1$

$a = b = d = 1,0\text{ m} \quad \gamma_1 = \gamma_2 = 18\text{ kN/m}^3$

Bild 4.1: Sicherheitsniveau bei Variation von σ_e
Fundamentbreite $b = 1,0\text{ m}$



b = 5,0m



BV	Typ	Grenze	V	TSB	Fraktile
φ	LN	50%	75%	1,25	50%
c	LN	-	20%	1,80	50%
G	G	-	5%	1,30	50%
e	G	-	-	1,00	-

----- e < b/3

$$a = d = 1,0\text{m} \quad b = 5,0\text{m} \quad \gamma_1 = \gamma_2 = 18\text{kN/m}^3$$

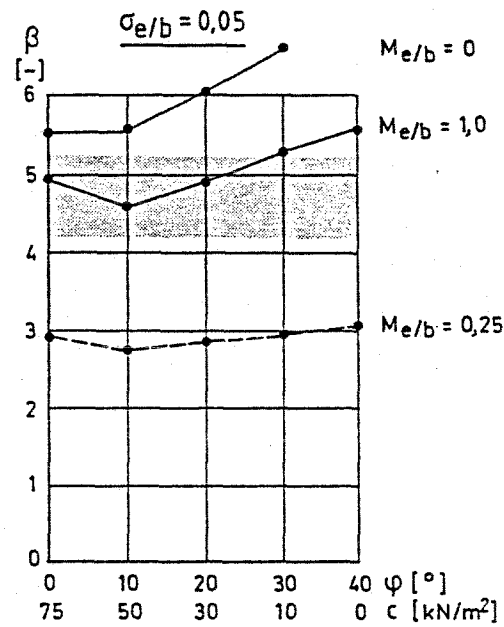
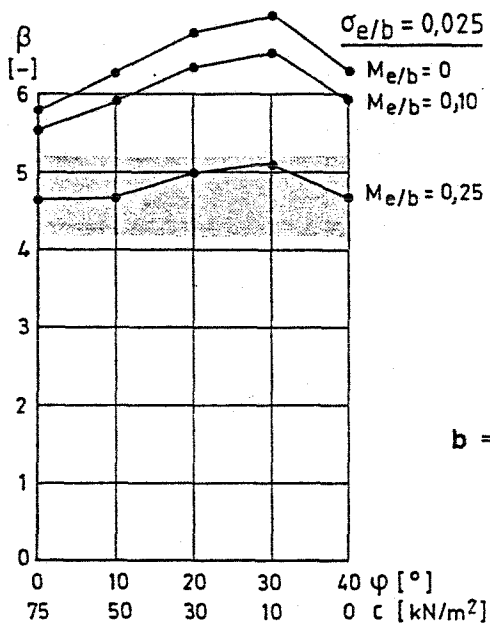
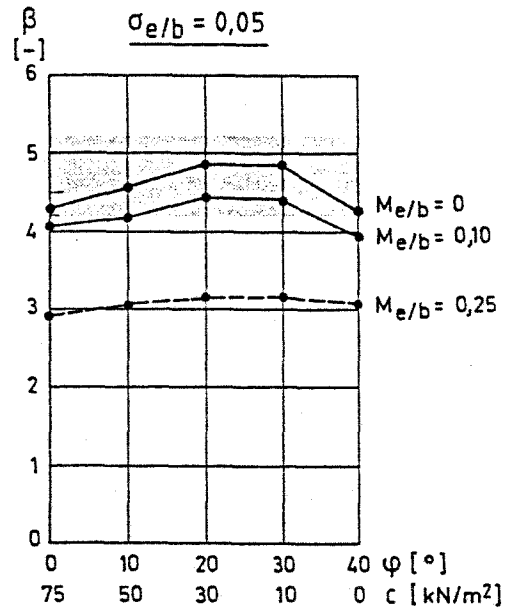
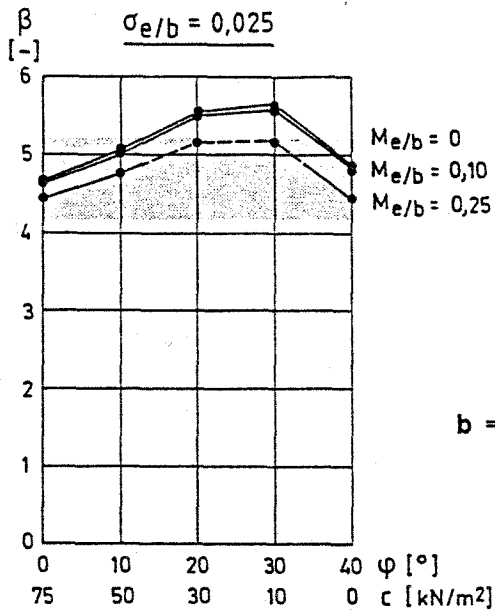
Bild 4.2: Sicherheitsniveau bei Variation σ_e
Fundamentbreite $b = 5,0\text{ m}$

sich noch Unterschreitungen des Zielniveaus $\beta > 4,2$ von maximal $\Delta\beta = 1,0$. Bevor auf eine Möglichkeit zur Anhebung dieses Sicherheitsniveaus eingegangen wird, sollen noch einige weitere Aspekte der auf den Abbildungen 4.1 und 4.2 dargestellten Berechnungsergebnisse angesprochen werden.

So ist zu erkennen, daß sich beim Übergang vom quadratischen Fundament zum Streifenfundament mit $b/a = 5,0/1,0$ der Ergebnisbereich bei der Variation von m_e/b vergrößert. Ursache hierfür ist, daß bei größerem Absolutwert der Breite die Änderung des Verhältnisses b/a (reduzierte Breite/Länge) bei zunehmendem m_e/b größer wird.

Weiter ergibt sich für $b = 5,0$ m und $\sigma_e/b = 0,025$ bis $0,05$ eine Änderung im Krümmungsverhalten der Kurven des Sicherheitsniveaus. Während in anderen Bereichen die Kurven konkav mit einem Maximum bei $\phi/c = 20/30 \dots 30/10$ [$^\circ/\text{kN/m}^2$] gekrümmt sind, ergibt sich hier im Grenzfall ein Anstieg über die betrachteten Kombinationen der Bodenkennwerte mit einem Minimum im Bereich kleiner Reibungswinkel und zugeordneter großer Kohäsionswerte. Dies ist wohl darauf zurückzuführen, daß mit zunehmender Breite der Einfluß des Kohäsionsgliedes der Grundbruchgleichung (1b) sinkt. Damit sinkt auch der Einfluß des Teilsicherheitsbeiwertes der Kohäsion (wenn gleichzeitig ein Reibungswinkel angesetzt wird) und der oben beschriebene Überkompensationseffekt wird abgemindert bzw. verschwindet.

In einer weiteren Parameterstudie wurde der Einfluß einer Extremwert-I-verteilter Verkehrslast untersucht. Dabei wurde die Bemessung mit Teilsicherheitsbeiwerten für ein Verhältnis der Nennwerte von Eigengewicht und Verkehrslast von 2,5 durchgeführt und anschließend das Sicherheitsniveau ermittelt. Die Ergebnisse sind auf Bild 4.3 dargestellt. Verglichen mit den in den weiteren Parametern entsprechenden Darstellungen der Bilder 4.1 und 4.2 zeigt sich, daß bei einem prinzipiell sehr ähnlichen Verlauf der Kurvenscharen das Sicherheitsniveau insgesamt um $\Delta\beta = 0,5 \dots 1,0$ angesteigen ist, so daß das Ziel $\beta > 4,2$ für $e^* < b/3$ weitgehend eingehalten wird.



BV	Typ	Grenze	V	Fraktile	TSB
φ	LN	50%	7,5%	50%	1,25
c	LN	-	20%	50%	1,80
G	N	-	5%	50%	1,30
P	E_x-I	-	63%	99%	1,30
e	N	-	-	-	1,00

$$a = d = 1,0m \quad \gamma_1 = \gamma_2 = 18 \text{ kN/m}^3$$

Bild 4.3: Verkehrslasteinfluß auf das Sicherheitsniveau

Der aus Gründen der Wirtschaftlichkeit angestrebte Bereich $\beta < 5,2$ wird häufig überschritten. Dies steht in Übereinstimmung mit den Berechnungen der AG Wuppertal für den Grundfall des zentrisch belasteten Fundaments.

Festzuhalten ist damit, daß sich die Unterschreitung des zulässigen Sicherheitsniveaus nur für eine normalverteilte Belastung, deren Exzentrizität mit einer Standardabweichung größer $0,025 b$ streut, ergibt. Dabei ist vorausgesetzt, daß die Streuung der Exzentrizität nicht bereits z. B. in dem Bemessungswert eines Moments in OK Fundament erfaßt wurde.

Für diesen Fall soll im folgenden das Sicherheitsniveau nach Einführung eines additiven Teilsicherheitselements untersucht werden.

4.2.2 Additives Teilsicherheitselement für die Exzentrizität

Aus den im 1. Zwischenbericht der AG Nürnberg (Kany/Sieler 1986) dargestellten Untersuchungen einer Bemessung auf Level II des statistischen Sicherheitskonzepts (teilsicherheitsfreie Bemessung auf Zielniveau β) ließ sich eine quadratische Abhängigkeit des additiven Sicherheitselements δ_e von der Standardabweichung σ_e folgern.

Parameterstudien zur Ermittlung des mit einem additiven Teilsicherheitselement (neben dem bekannten Satz der Teilsicherheitsbeiwerte) erreichten Sicherheitsniveau ergaben jedoch ein ausreichendes Sicherheitsniveau bereits für eine lineare Abhängigkeit des Elements von σ_e .

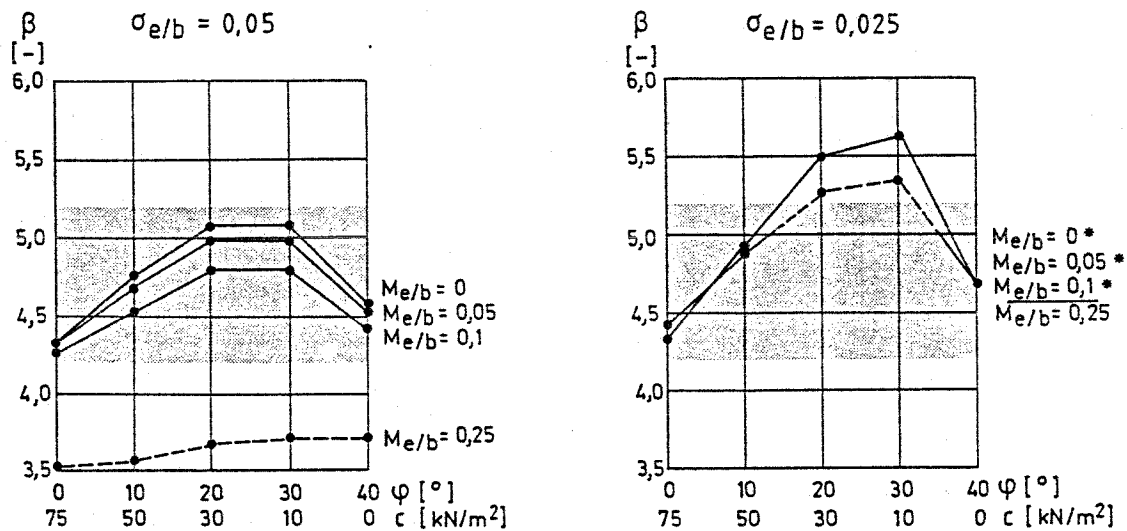
Selbstverständlich kann diese Abhängigkeit für praktische Zwecke durch einen stufenweise konstanten Wert ersetzt werden. Eine ausreichende Konstanz des Sicherheitsniveaus war jedoch mit einem über den gesamten untersuchten Bereich von $\sigma_e/b = 0,0 \dots 0,5$ konstanten Teilsicherheitselement nicht zu erreichen.

Deswegen wurde festgelegt

$$e^* = m_e - 2 * \sigma_e \quad (4-1a)$$

$$e^* = m_e - \delta_e \quad (4-1b)$$

Das mit diesem Teilsicherheitselement berechnete Sicherheitsniveau für zwei ausgewählte Fälle zeigt das Bild 4.4. Unter Ausschluß der Berechnungsergebnisse, für die $e^* < b/3$ ist, ergibt sich eine vergleichsweise sehr gute Einhaltung des gewünschten Sicherheitsniveaus. Weiter zeigt sich im Vergleich zu den entsprechenden Darstellungen auf Bild 4.1, daß die Krümmung der Kurven bezogen auf die betrachtete Kombination der Bodenkennwerte zugenommen hat. Diese Annäherung an den Grundfall des zentrisch bzw. deterministisch ausmittig belasteten Fundaments deutet darauf hin, daß das gewählte Teilsicherheitselement für e auch bei einer maßvollen Änderung der Teilsicherheitsbeiwerte für die Bodenkenngrößen oder Lasten gültig bleibt.



BV	Typ	Grenze	V	γ	Fraktile
V	N		10%	1,3	50%
φ	LN	50%	7,5%	1,25	50%
c	LN		20%	1,80	50%
e	N		σ	$2 \times \sigma^{**}$	

----- $e^* > b/3$

* β -Werte auf $\Delta\beta = 0,01$ ident.

** additives Sicherheitselement

$$a = b = d = 1,0 \text{ m} \quad \gamma_1 = \gamma_2 = 18 \text{ kN/m}^3$$

Bild 4.4: Additives Sicherheitselement für e

4.3 Lastbestimmte Exzentrizität

Diese Größe wird wie im Kapitel 3.3 dargestellt durch die Beziehung

$$e/b = e_0/b \frac{1}{1 + \kappa} \quad (3-1)$$

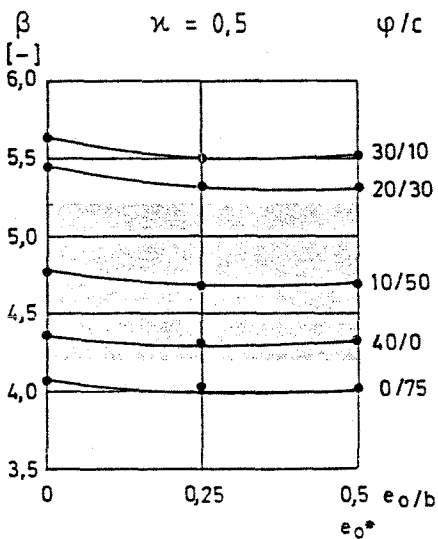
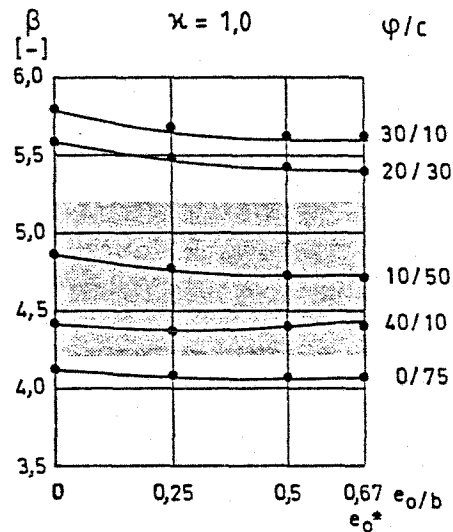
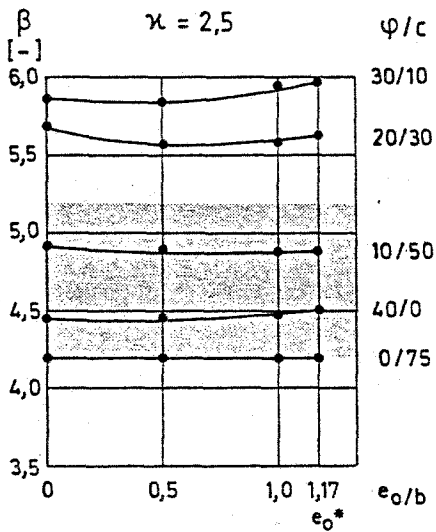
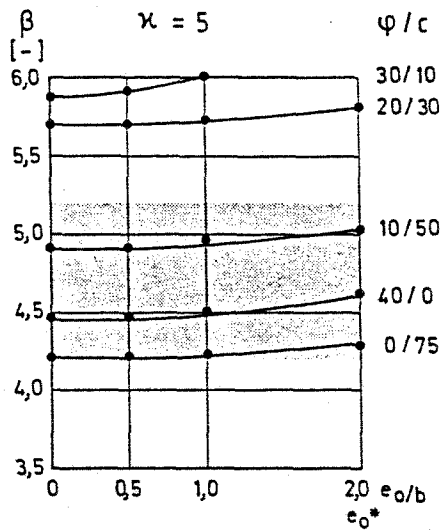
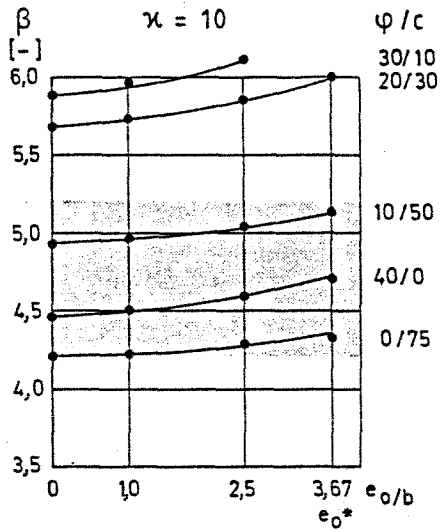
mit κ als dem Verhältnis der zentrisch zu der ausmittig angreifenden Fundamentlast erfaßt.

Zu bestimmen ist das Sicherheitsniveau bei einer Variation des deterministischen Parameters e_0 und des Verhältniswerts κ , der sich als Quotient zweier streuender Größen ergibt.

Für die zentrische Last wurden die statistischen Parameter der Eigengewichtsbelastung angesetzt. Für die ausmittig angreifende Last A wurde der Variationskoeffizient einer Normalverteilung von 5 % auf 10 % erhöht. Zum einen wird damit die Herkunft der ausmittigen Belastung aus dem Lastkollektiv berücksichtigt. (Die Streuung der Ausmitte infolge einer einzelnen Belastung ist lediglich von geometrischen Größen abhängig und in diesem Zusammenhang nicht von Wichtigkeit). Zum zweiten kann diese Vergrößerung aber auch als eine Berücksichtigung einer Streuung des Systemfaktors e_0 verstanden werden.

Wegen der Herkunft der Last A aus dem Lastkollektiv wurde auch auf den Ansatz einer EX-I-Verteilung für diese Größe verzichtet, zumal in diesem Fall Konvergenzschwierigkeiten auftraten.

Bei der Bemessung wurden zunächst die Nennwerte der Lasten Z und A, verknüpft durch das vorgegebene Verhältnis κ , ermittelt. Hierzu wurden die Nennwerte der anderen Größen mit den vorgegebenen Teilsicherheitsbeiwerten bestimmt. Aus den Lastnennwerten können dann mit den Lastteilsicherheitsbeiwerten die Mittelwerte der Lasten bestimmt werden. Für den nunmehr vollständigen Satz der Verteilungen der Basisvariablen kann dann nach dem bekannten Algorithmus (GruSiBau) das Sicherheitsniveau β bestimmt werden.



$\kappa = Z/A$

Z = zentrische Vertikallast

A = exzentrisch unter e_0 angreifende Vertikallast

BV	Typ	Grenze	V	TSB	Fraktile
ϕ	LN	50%	7,5%	1,25	50%
c	LN		20%	1,8	50%
Z	N		5%	1,3	50%
A	N		10%	1,3	50%

$a = b = d = 1,0 \text{ m}$ $\gamma_1 = \gamma_2 = 18 \text{ kN/m}^3$

Bild 4.5: Sicherheitsniveau bei lastbestimmter Exzentrizität

Das in den verschiedenen Kombinationen von e_0 und κ erreichte Sicherheitsniveau ist auf Bild 4.5 dargestellt. Zu beachten ist, daß der Wertebereich der Größe e_0 durch $e_0 \leq e_0^*$ nach Gleichung (3-1b) beschränkt wird und somit wegen der Abhängigkeit von e_0^* von κ variiert. In der Abfolge der Abbildungen zeigt sich, daß die untere Grenze des zulässigen Sicherheitsniveaus nur in zwei Fällen wenig unterschritten wird, und zwar für einen rein kohäsiven Boden bei einem hohen Anteil der stärker streuenden Last A. Die Überschreitung des Sollniveaus tritt in Abhängigkeit von den angesetzten Bodenkenngrößen durch die fallweise Überkompensation der Teilsicherheitsbeiwerte für ϕ und c wesentlich häufiger auf, hält sich aber im Rahmen des bei anderen Untersuchungen üblichen und ist nicht auf den untersuchten Faktor lastbestimmte Exzentrizität zurückzuführen. Die Änderung des Verhältniswertes κ von $\kappa = 10$ bis $\kappa = 0,5$ führt zu einem Absinken des Sicherheitsniveaus um etwa $\Delta\beta = 0,5$.

Zusätzlich ändert sich die Abhängigkeit des Sicherheitsniveaus von dem charakteristischen Hebelarm e_0 , der die äquivalente Exzentrizität der Last A beschreibt. Bei Werten $\kappa > 2,5$ nimmt das Sicherheitsniveau mit steigendem Wert e_0 zu, wobei aber selbstverständlich die insgesamt vom Fundament aufnehmbare Last sinkt. Bei Werten $\kappa < 2,5$ ergibt sich ein bezüglich steigendem e_0 konstantes oder leicht absinkendes Sicherheitsniveau bei ebenfalls fallenden Werten für die aufnehmbare Gesamtlast. Eine mögliche Ursache hierfür wäre, daß bei einem großen Wert von κ die (stärker als die zentrische Last streuend angesetzte) außermittige Last A klein ist und bei steigendem e_0 sich überproportional weiter verkleinert, so daß die Gesamtstreuung des Lastgliedes nur noch einen geringen Einfluß auf das Sicherheitsniveau hat. Bei kleinen Werten κ hingegen bleibt der Einfluß der Streuung des Lastgliedes wegen der größeren Streuung von A erhalten, so daß sich hier das bekannte Absinken des Sicherheitsniveaus mit steigendem Mittelwert der Exzentrizität zeigt.

In jedem Fall führt aber die lastbestimmte Exzentrizität, wenn die Streuung der Ausgangslasten berücksichtigt wird, nicht zu einem unzulässigen Abfall des Sicherheitsniveaus. Mit der Variation des charakteristischen Hebelarms e_0 wurde nachgewiesen, daß die Herkunft des im Fundamentalschnitt resultierenden, streuenden Moments keinen wesentlichen Einfluß auf das Sicherheitsniveau hat.

5. Schlußfolgerungen

Bereits in der Anfangsphase der Untersuchungen stellte sich heraus, daß durch geeigneten, in der Größenordnung auch realistischen, Ansatz des Variationskoeffizienten der Ausmitte das rechnerische Sicherheitsniveau beliebig herabgesetzt werden kann. Die im Prinzip einfache Berechnung von Sicherheitselementen für diese Variationskoeffizienten führt wegen der Unkenntnis des stochastischen Modells der Ausmitte nicht zu einem handhabbaren Ergebnis. Somit verschiebt sich die Fragestellung dahingehend, wie die Exzentrizität mit Parametern, deren stochastisches Modell bekannt ist, beschrieben werden kann. Erst nach diesem Schritt kann ein Sicherheitsniveau ermittelt werden.

Aus der Untersuchung der drei Grundfälle

- Pendelstütze (geometrische Exzentrizität bei entsprechender Fundamentauslegung)
- eingespannte Stütze, ggf. planmäßig mit einem deterministischen Moment belastet (eine Streuung des Moments und damit der Exzentrizität kann sich aus ungewollter Ausmitte der Stütze ergeben)
- eingespannte Stütze, das planmäßig streuende Moment wird in den streuenden Lastanteil und einen deterministischen Hebelarm zerlegt

ergibt sich, daß die in der Bemessung des Hochbaus nicht erfaßten Streuungen das Sicherheitsniveau des Fundaments in der Regel nicht unzulässig absinken lassen. Eine bodenmechanische Voraussetzung hierfür ist die Einhaltung der Forderung, daß der Bemessungswert e^* der Ausmitte kleiner als ein Drittel der Fundamentbreite ist (Begrenzung der klaffenden Fuge nach DIN 1054). Diese Forderung müßte unabhängig von dem berechneten Sicherheitsniveau erhoben werden, da spätestens hier der Gültigkeitsbereich der Grenzzustandsgleichung, also der Grundbruchgleichung nach DIN 4017, verlassen wird.

Der Bemessungswert e^* ergibt sich in der Regel aus dem Quotienten der Bemessungswert M^* und V^* , die sich wiederum aus den Bemessungswerten der Lasten in der Statik des Überbaus ergeben. Ein wichtiges Ergebnis der Untersuchung ist, daß die Art des Überbaus bei gegebenen Bemessungswerten M^* und V^* in OK Fundament keinen wesentlichen Einfluß auf das Sicherheitsniveau des Fundaments bezüglich des Grundbruchversagens hat.

Eventuelle "Unsicherheiten", also Streuungen, die wegen einer fehlenden Berücksichtigung das Sicherheitsniveau beeinflussen, ergeben sich also nur aus einer Vernachlässigung von Streuungseinflüssen in OK Fundament. Dies kann gewollt (Auslegung DIN 1045/72: "Beim Nachweis der Bodenpressung dürfen ... Momente (nach der Theorie II. Ordnung) vernachlässigt werden ...") oder ungewollt, z. B. durch die elastische Einspannung einer rechnerischen Pendelstütze, geschehen.

Ob sich in diesen Fällen eine Unterschreitung des zulässigen Sicherheitsniveaus ergibt, hängt von dem Ausmaß der unberücksichtigten Streuung ab. Bezieht man Mittelwert und Streuung der resultierenden, als normalverteilt angenommen, Ausmitte auf die Fundamentbreite, ergibt sich in Abhängigkeit vom Mittelwert eine Unterschreitung des zulässigen Sicherheitsniveaus ab einer Standardabweichung von $\sigma_e = 0,0125 * b \dots 0,025 * b$. In diesem Fall läßt sich das Sicherheitsniveau durch ein additives Teilsicherheitselement der Größe $\delta_e = 2 * \sigma_e$ auf ein ausreichendes Maß anheben.

Da diese nicht berücksichtigten Streuungen über ein Moment in das Fundament eingetragen werden, ergibt sich in diesen Fällen auch ein Moment in der aufgehenden Stütze. Eine Abschätzung dieser Größe zeigt, daß ihre Vernachlässigung in der Stützenbemessung in der Regel nicht zulässig sein wird. Dazu wird angenommen, daß die Exzentrizität um den Mittelwert 0 mit $\sigma_e = 0,0125*b \dots 0,025*b$ streut.

Dann gilt

$$e^* = \alpha * \beta * \sigma_e$$
$$e^* = 1,0 * 4,7 * \sigma_e$$

Für den Wichtungsfaktor α kann $\alpha = 0,7 \dots 1,0 = 1,0$ angenommen werden, da eine so streuende Exzentrizität bereits einen großen Einfluß auf die Grundbruchsicherheit hat (und deshalb auch mit einem Teilsicherheitsbeiwert belegt werden muß). Das zugehörige, nicht berücksichtigte, Stützenmoment ergibt sich zu

$$M = e^* \times V^*$$
$$M = 4,7 \times b \times \sigma_e / b \times V^*$$

Wird noch angenommen, daß das Fundament dreimal breiter als die Stütze (Wand) ist

$$b = 3 * b_w$$

ergibt sich

$$M = (0,18 \dots 0,35) \times b_w \times V^*$$

Mit anderen Worten liegt die Resultierende innerhalb der zweiten Kernweite, ein unbewehrter Querschnitt weist eine rechnerische klaffende Fuge auf.

Es erscheint zumindest wahrscheinlich, daß Größen, die eine solche Ausmittigkeit der Resultierenden im Stützenquerschnitt verursachen, bei der Stützenbemessung berücksichtigt werden.

Dann ist aber wieder die (abhängige) Streuung der Ausmitte mit den Lastteilsicherheitsbeiwerten abgedeckt.

Zusammenfassend läßt sich somit feststellen, daß die streuende Exzentrizität, als unabhängige Größe, dann keinen oder nur geringen Einfluß auf das Sicherheitsniveau des Versagensfalles Grundbruch hat, wenn die Streuung der Ausgangsgrößen in einem Maß berücksichtigt wird, wie es auch die Tragfähigkeit der aufgehenden Konstruktion erfordert. Die einzige im Fundament begründete Ursache der Streuung der Exzentrizität, die Streuung in der Fundamentgeometrie, ist nicht maßgebend. Eine Einführung von Teilsicherheits-elementen ist nicht erforderlich.

6. Anmerkungen zu grundlegenden Fragestellungen des Forschungsvorhabens

6.1 Zeitabhängigkeit des angestrebten Sicherheitsniveaus

Das dieser Arbeit zugrundeliegende angestrebte Sicherheitsniveau $\beta = 4,7$ gilt nach Tabelle 3 der GruSiBau für einen Bezugszeitraum von $T = 1$ Jahr, was nach König/Hosser/Schobbe (1982) "den Grenzfalle allein wirkender zeitinvarianter Größen zufriedenstellend" abdeckt. Von Hosser/König/Theile (1985) wird jedoch unabhängig von den in der Regel allein zeitabhängigen Lasten das Sicherheitsniveau auf einen Bezugszeitraum von $T = 50$ Jahren umgerechnet, was zu der Forderung $\beta = 3,83$ für ein ausreichendes Sicherheitsniveau führt. Inwieweit dieser Weg vom Grundbau mitbeschritten werden kann, ist an dieser Stelle nicht zu entscheiden. Es soll jedoch darauf hingewiesen werden, daß der Bezugszeitraum von $T = 50$ Jahren für den c_u -Fall nicht zutreffend ist.

6.2 Teilsicherheitsbeiwert und Begrenzung der Verteilung des Reibungswinkels

Die gewählte Kombination der Teilsicherheitsbeiwerte für ϕ und c

$$\gamma_{\phi} = 1,25$$

$$\gamma_c = 1,80$$

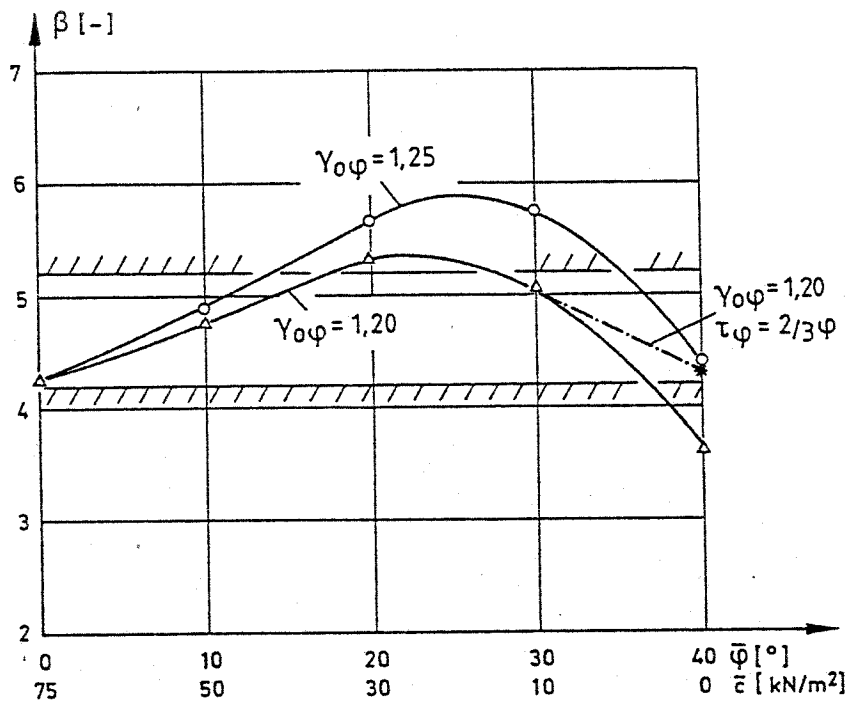
gewährleistet in aller Regel eine befriedigende Einhaltung der Untergrenze des Sicherheitsniveaus $\beta = 4,2$. In allen Untersuchungen tritt jedoch für einen etwa gleichen Einfluß der Variablen ϕ und c ein starker Anstieg des Sicherheitsniveaus mit einer häufigen Überschreitung des Wertes $\beta = 5,2$ ein. Um diesen Überkompensationseffekt zu mildern, wird folgendes Vorgehen vorgeschlagen:

Das rechnerische Sicherheitsniveau wird durch eine Anhebung der unteren Begrenzung der LN-Verteilung des Reibungswinkels von rolligen Böden auf $\tau = 2/3 \phi$ erhöht.

Der Teilsicherheitsbeiwert von ϕ wird wieder auf $\gamma_{\phi} = 1,20$ reduziert.

Die Anhebung der unteren Grenze ist physikalisch begründbar, da z. B. nach v. Soos (1986) der Reibungswinkel von Sanden nicht kleiner als 25° werden kann.

Der Verlauf des hiermit ermittelten Sicherheitsniveaus ist auf Bild 6.1 in die Abbildung 11 des Hauptberichts eingetragen. Das Ergebnis, daß für rollige Böden, d. h. für $m_c = 0,0$ das Sicherheitsniveau für die Kombination $\gamma_{0\phi} = 1,25$ und $\tau = 2/3 \phi$ etwa das gleiche ist wie für $\gamma_0 = 1,25$ und $\tau_{\phi} = 0,5$, kann der Größenordnung nach auf andere Parameterkombinationen übertragen werden, da die rechnerische Vergrößerung des Versagensbereichs von ϕ durch Absenken des Teilsicherheitsbeiwertes durch die Verkleinerung des Versagensbereichs durch Anheben der unteren Grenze ausgeglichen wird.



$$\varphi = \text{LN}, V_{\varphi} = 0.075, \tau = \varphi/2$$

$$c = \text{LN}, V_c = 0.2$$

$$S = \text{NV}, V_S^0 = 0.05$$

$$\gamma_{0\varphi} = 1.20 \text{ \& \ } 1.25$$

$$\gamma_{0c} = 1.80$$

$$\gamma_{0S} = 1.30$$

$$D/B = B/A = \gamma_1/\gamma_2 = 1.0$$

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 20 \text{ kN/m}^2, B = 1.0 \text{ m}$$

Bild 6.1: Erhöhung der Begrenzung der LN-Verteilung des Reibungswinkels

Betont sei nochmals, daß es sich bei diesem Vorgehen um eine Anhebung des rechnerischen Sicherheitsniveaus handelt, die für einen Anwender der Teilsicherheitsbeiwerte ohne Auswirkung bleibt. (Abgesehen davon, daß für $\gamma_{0\varphi}$ der Wert von 1,20 einzusetzen ist).

Dieser Vorschlag ergab sich aus der Erkenntnis, daß der prinzipielle Kurvenverlauf des Bildes 6.1 in allen Parameterstudien auftaucht, jedoch nicht unbedingt der Erfahrung entspricht. Seine Einarbeitung in den vorliegenden Bericht war nicht mehr möglich.

7. Zusammenfassung

Der Teilbericht der AG Nürnberg zum Forschungsvorhaben "Grundbruchsicherheit nach dem statistischen Sicherheitskonzept" behandelt die Ermittlung des Sicherheitsniveaus eines Fundaments unter einer exzentrischen Belastung ohne Horizontalkrafteinfluß. Es wird gezeigt, daß die Lastexzentrizität eine abhängige Größe ist. Werden die für die statische Berechnung des Überbaus angesetzten Lastgrößen vollständig in den Fundamentnachweis einbezogen, ergibt sich ein ausreichendes Sicherheitsniveau nach dem statistischen Sicherheitskonzept. Die Streuung der Exzentrizität wird durch die in der Bemessung des Überbaus angesetzten Teilsicherheitsbeiwerte berücksichtigt. Sind in den ermittelten Schnittgrößen in OK Fundament keine Teilsicherheitsbeiwerte enthalten, ist die Streuung der Exzentrizität durch ein additives Teilsicherheitselement zu berücksichtigen.

Literaturverzeichnis

Bejanmin/Cornell

Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers
Mc Graw-Hill, New York, 1972

DIN 1045/72

Auslegung, Betonkalender 1979/II, Seite 355
Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 1979

GruSiBau

Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauli-
che Anlagen
Hrsg.: DIN; Beuth, Köln, 1981

Hosser/König/Theile

Stellungnahme zu den Sicherheitsfestlegungen in Eurocode No. 2
Abschlußbericht IfBT Az. IV-1-7/97.1
August 1985 (unveröffentlicht)

Kany/Sieler

1. Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben Grundbruch vom
11.05.1986

König/Hosser/Schobbe

Sicherheitsanforderungen ...
Bauingenieur 57 (1982)

Pottharst

Brief zum Forschungsvorhaben Grundbruch an Dr.-Ing. J. Hanisch,
IfBT, vom 05.05.1986

von Soos

Ermittlung von Bodenkenngrößen ...

Beitrag zum TAW-Seminar "Sicherheit im Grundbau", Nürnberg, 1986

FORSCHUNGSVORHABEN

Einarbeitung der

” Grundlagen zur Festlegung von
Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen ”

in DIN 4017 - Grundbruchberechnungen ’

SCHLUBBERICHT DER ARBEITSGRUPPE KARLSRUHE

Teilgruppe 3 : Schräg und mittig belastete Fundamente

Teilgruppe 4c: Schwergewichtswände

Auftraggeber: Institut für Bautechnik, Berlin

IV 1 - 5 - 435 / 85

UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE ZU SCHRÄG UND MITTIG BELASTETEN FUNDAMENTEN DER ARBEITSGRUPPE KARLSRUHE

1. Vorbemerkung

Ziele und Arbeitsweise dieses Forschungsvorhabens sind im Hauptbericht ausführlich dargestellt. Der vorliegende Schlußbericht der Arbeitsgruppe Karlsruhe beinhaltet die Ergebnisse der Grundbruchberechnungen für schräg und mittig belastete Fundamente. In Teilgruppe 3 war der Einfluß der Scherparameter und der Neigung der Sohldruckresultierenden zu überprüfen; in Teilgruppe 4c wurde die Anwendung der "Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen" auf Stützbauwerke untersucht.

Die Festlegung des stochastischen Modells ist im Abschnitt 4 des Hauptberichtes angegeben. Abweichend hierzu wurden weitere Berechnungen mit geänderten Variationskoeffizienten des Reibungswinkels und mit einer angenommenen Normalverteilung für die Horizontalbelastung durchgeführt. Als charakteristische Werte wurden für alle Basisvariablen die Mittelwerte angesetzt.

TEILGRUPPE 3

2. Schräg und mittig belastete Fundamente

2.1 Voruntersuchungen

Grundsätzlich war zu untersuchen ob die Lastneigung streut und welchen Einfluß diese Streuung auf das Sicherheitsniveau hat.

Zur Verdeutlichung wird als Beispiel das Stützfundament eines Zweigelenkrahmens betrachtet. Die Lastneigung H/V wird für ständige Lasten und Verkehrslasten (Schneelasten, Kranlasten usw.) aus den Steifigkeiten des Überbaus bestimmt. Bei Stahlbetonrahmen verändert sich die Steifigkeit beim Übergang von Zustand I in Zustand II erheblich, somit auch die Lastneigung; ein stochastisches Modell liegt hierfür nicht vor.

Weitere Einwirkungen - wie Kräfte aus Aussteifungsverbänden, Ansatz des Erdwiderstandes, Anpralllasten usw. - auf das Fundament sind möglich. Die Horizontal- und Vertikallasten streuen fast unabhängig voneinander. Durch die teilweise Kopplung der Einwirkungen hätten Kombinationsanweisungen erarbeitet werden müssen, was den Rahmen dieses Forschungsvorhabens bei weitem gesprengt hätte.

In einem ersten Rechengang wurde für ein quadratisches Fundament mit $a = b = 2,0$ m und einer Einbindetiefe $d = 0$ m die charakteristische Beanspruchung s_k^0 bei einem Sicherheitsindex $\beta = 4,7$ ermittelt, wobei wie folgt vorgegangen wurde.

1. Berechnung

Die Lasten H und V wurden als voneinander unabhängige Zufallsvariablen modelliert. Ihnen wird eine Normalverteilung mit einem Variationskoeffizienten von jeweils 10 % zugeordnet. Das Verhältnis der Mittelwerte m_H/m_V wurde von 0 bis 0,3 fest vorgegeben.

2. Berechnung

Die Lastneigung δ_z wurde als streuende Größe eingeführt. Als Verteilungstyp wurde eine Normalverteilung mit einem Variationskoeffizienten von 10 % zu Grunde gelegt. Der Mittelwert m_{δ_z} wurde von 0 bis $\arctan 0,3$ variiert.

Die Rechenergebnisse sind in den Bildern 1 und 2 dargestellt. Der Vergleich der charakteristischen Beanspruchung (Bild 3) zeigt, daß bei Annahme der Lastneigung δ_z als Basisvariable außer bei sehr großen Reibungswinkeln ($\varphi \geq 35^\circ$) geringere Lasten zulässig werden.

Die weiteren Berechnungen wurden mit den unabhängigen Basisvariablen H und V durchgeführt.

Vergleichsrechnungen mit unterschiedlicher Fundamentgeometrie zeigten keinen nennenswerten Einfluß auf das Sicherheitsniveau und bestätigten die Ergebnisse der Münchner und der Wuppertaler Arbeitsgruppe.

2.2 Untersuchungen mit festen Teilsicherheitsbeiwerten

2.2.1 Ermittlung des Sicherheitsniveaus

Mit den Ergebnissen der Voruntersuchungen wurden die Teilsicherheitsbeiwerte für die Basisvariablen wie folgt festgelegt:

$$\gamma_{\varphi} = 1,20 \quad \text{für den Reibungswinkel}$$

$$\gamma_c = 1,80 \quad \text{für die Kohäsion}$$

$$\gamma_V = \gamma_H = 1,30 \quad \text{für die Einwirkungen}$$

Mit den Teilsicherheitsbeiwerten wurden die Bemessungswerte ermittelt und anschließend der Sicherheitsindex β berechnet. Die Lastneigung m_H/m_V wurde von 0 bis 0,4 berücksichtigt. Der Variationskoeffizient des Reibungswinkels wurde mit $V_{\varphi} = 2,5 \%$, 5% und $7,5 \%$ vorgegeben.

Die Berechnungen erfolgten für nichtbindige Böden ($30^{\circ} \leq m_{\varphi} \leq 40^{\circ}$) und für die Scherparameter der Hauptdiagonalen (Tabelle 1 des Hauptberichtes). Es wird ein quadratisches Fundament mit verschiedenen Einbindetiefen untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 und 2 dargestellt. Durch die mit den konstant angesetzten Teilsicherheitsbeiwerten bedingte Vereinfachung ergeben sich Abweichungen vom in der GrusiBau vorgeschriebenen Sicherheitsniveau. Abweichungen größer $\pm 0,5$ des Sicherheitsindex $\beta = 4,7$ sollten vermieden werden. Der zulässige Toleranzbereich ist in den Bildern 4 und 5 schraffiert eingezeichnet.

Bei einem Variationskoeffizienten des Reibungswinkels φ von $V_{\varphi} = 7,5 \%$ liegen alle Kurven ($0 \leq m_H/m_V \leq 0,4$) eng zusammen. Die Lastneigung hat nur geringen Einfluß auf das Sicherheitsniveau. Für größere Reibungswinkel ($m_{\varphi} \geq 32^{\circ}$) ergibt sich ein zu starker Abfall des Sicherheitsindex. Bei rein rolligen Böden liegt er weit unter der Grenze von $\beta_{min} = 4,2$. Bei kleineren Variationskoeffizienten des Reibungswinkels zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit des erzielten Sicherheitsniveaus von der Lastneigung.

Eine Abhängigkeit von der Einbindetiefe ist nicht zu erkennen.

Um das Sicherheitsniveau bei hohen Reibungswinkeln und nichtbindigen Böden ausreichend zu gewährleisten, muß sein Teilsicherheitsbeiwert erhöht werden. Durch die Änderung der unteren Begrenzung der LN-Verteilung von $m_\varphi/2$ auf $2/3 m_\varphi$ läßt sich der erforderliche Teilsicherheitsbeiwert aus

$$\bar{V} = \frac{0,075}{1 - 2/3} = 0,225$$

und der Hilfsgröße

$$\eta = \frac{\sqrt{1 + 0,225^2}}{e^{4,7 \cdot 1,0 \sqrt{\ln(1 + 0,225^2)}}} = 2,9129$$

zu

$$\gamma_\varphi = \frac{2,9129}{1 + 2/3(2,9129 - 1)} = 1,28$$

ermitteln. Durch die endgültige Festlegung des Teilsicherheitsbeiwertes auf $\gamma_\varphi = 1,28$ kann nun ein ausreichendes Sicherheitsniveau für alle gewählten Kombinationen erreicht werden.

2.2.2 Ermittlung der erforderlichen Fundamentabmessungen

Wie die Ergebnisse im vorangegangenen Abschnitt zeigen, kann das erforderliche Sicherheitsniveau nicht in allen Fällen erreicht werden. Es stellt sich nun die Frage, inwieweit die Fundamentabmessungen verändert werden müssen, damit der Sicherheitsindex von $\beta = 4,7$ eingehalten wird. Für ein quadratisches Fundament mit $a = b = 2,0$ m und eine Einbindetiefe $d = 1,0$ m werden die Sicherheitsindizes entsprechend Abs. 2.2.1 mit $\gamma_\varphi = 1,20$ ermittelt. Die Kantenlänge des Fundamentes wird solange geändert, bis $\beta = 4,7$ eingehalten ist. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 und Bild 6 aufgeführt.

Die Fundamentfläche ist bei sehr hohem Reibungswinkel um maximal etwa 30 % zu vergrößern, bei mittlerem Reibungswinkel liegt das erzielte Sicherheitsniveau im zulässigen Bereich. Eine Reduzierung der Fundamentfläche bis ca. 10 % wäre möglich.

2.3 Parallelberechnung GruSiBau / DIN 4017

Vergleichsrechnungen mit der bestehenden DIN 4017 wurden lediglich für die interne Beurteilung durchgeführt, da die Festlegungen der für den Nachweis erforderlichen Rechenwerte problematisch ist. Eine Kalibrierung der Ergebnisse der probabilistischen Berechnungen an bestehenden Normen sollte vermieden werden. Die Berechnungen mit den erarbeiteten, konstanten Teilsicherheitsbeiwerte nach GruSiBau (Stufe I) zeigen ein wesentlich homogeneres Sicherheitsniveau.

TEILGRUPPE 4C

3. Schwergewichtswände

3.1 Vorbemerkungen

Im Zwischenbericht der Arbeitsgruppe Karlsruhe war gezeigt worden, daß die Berechnung mit Hilfe der Methode der zusammengesetzten Bruchmechanismen höhere Sicherheitsbeiwerte als bei der Grundbruchuntersuchung ergibt. Der maßgebende Versagensmechanismus wurde durch Variation der Bruchkörpergeometrie gefunden. Die Formulierung der Grenzzustandsgleichung ist im Vergleich zur Grundbruchgleichung nach DIN 4017 schwieriger und benötigt wesentlich mehr Rechenzeit. Aus Zeitgründen und um mehrere Berechnungen durchführen zu können, wurden daher die weiteren Untersuchungen mit der Grenzzustandsgleichung nach DIN 4017 geführt.

Gemäß der Aufgabenstellung zu diesem Teilprojekt waren für die Einwirkung nur Erd-drucklasten zu berücksichtigen. Es sollte der Einfluß einer kohäsionslosen Hinterfüllung einer Stützwand bestimmt werden. Nach GruSiBau müßte der Lastteilsicherheitsfaktor $\gamma_\gamma = 1,3 \cdot 1,1 = 1,43$ betragen. Erste Untersuchungen zeigten jedoch schnell, daß dieser Wert zu enorm unwirtschaftlichen Abmessungen führt. Aus den durchgeführten probabilistischen Berechnungen kann ein geringerer Sicherheitsbeiwert ermittelt werden. Für

den Reibungswinkel des Hinterfüllungsbodens wurde dabei eine bei $m_{\varphi/2}$ begrenzte LN-Verteilung angenommen. Der Einbau der Hinterfüllung kann leicht kontrolliert werden. Der Ansatz kleinerer Variationskoeffizienten wäre damit gerechtfertigt. Die Berechnungen wurden mit $V_{\varphi} = 5\%$ und $7,5\%$ durchgeführt. Das stochastische Modell des anstehenden Bodens entspricht dem im Hauptbericht angegebenen. Die Wichten der Hinterfüllung, des gewachsenen Bodens und des Mauerkörpers wurden deterministisch festgelegt.

3.2 Rechenmodell

3.2.1 Annahmen zur untersuchten Stützwand

Die Geometrie der untersuchten Stützwand ist in Bild 7 angegeben. Die Wandrückseite ist vertikal. Ebenes Gelände wird vorausgesetzt.

Die resultierende Erddruckkraft greift im Wandmittelpunkt an. Ihre Neigung wird senkrecht zur Wand, d.h. $\delta = 0$, angenommen.

3.2.2 Durchgeführte Berechnungen

Bei allen Berechnungen wurden diejenige Fundamentbreite b , bei der das vorgegebene Bemessungsziel - Sicherheitsindex $\beta = 4,7$ - erreicht wird, und die Bemessungswerte und Wichtungsfaktoren α_i ermittelt. Zunächst wurde der anstehende Boden als nichtbindig mit $30^\circ \leq m_{\varphi 2} \leq 40^\circ$, und die Hinterfüllung (a) mit den gleichen stochastischen Parametern und (b) mit einem konstanten Mittelwert ($m_{\varphi 1} = 30^\circ, 35^\circ$ und 40°) angenommen. Die Ergebnisse sind der Tabelle Nr 4 zu entnehmen. Der gleiche Rechengang wurde für den anstehenden Boden mit den Scherparametern der Hauptdiagonalen (Tab. 1 des Hauptberichtes) durchgeführt. Der Mittelwert $m_{\varphi 1}$ des Hinterfüllbodens betrug dabei 35° bei einem Variationskoeffizienten von $V_{\varphi 1} = 5\%$ und $7,5\%$. Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse.

In dem Bild 8 sind die exakten Teilsicherheitsbeiwerte dargestellt. Sie zeigen für den Reibungswinkel φ_2 und die Kohäsion des anstehenden Bodens einen ähnlichen Verlauf wie die im Zwischenbericht mitgeteilten Werte.

3.2.3 Ergebnisinterpretation

Der größte Wert des Wichtungsfaktors α_{φ_1} für den Hinterfüllboden beträgt 0,51 bei einem Variationskoeffizienten $V_{\varphi_1} = 7,5 \text{ ‰}$.

Der erforderliche Teilsicherheitsbeiwert errechnet sich aus

$$\tilde{V} = \frac{0,075}{1 - 0,5} = 0,15$$

und der Hilfsgröße

$$\eta = \frac{\sqrt{1 + 0,15^2}}{e^{-4,7 \cdot 0,51 \sqrt{\ln(1 + 0,15^2)}}} = 1,446$$

zu

$$\gamma_{\varphi_1} = \frac{1,446}{1 + 0,5(1,446 - 1)} = 1,18$$

und ist auf den Mittelwert m_{φ_1} zu beziehen. γ_{φ} ist ungefähr gleich dem Faktor für den aktiven Erddruck. Er ist wesentlich geringer als der Wert, der sich nach "GruSiBau" ergibt.

Die Neigung der Sohldruckresultierenden schwankt - in Abhängigkeit vom Scherparameter φ_1 - zwischen 0,1 und 0,3. Für den Grundbruchnachweis sind daher die Ergebnisse der Untersuchungen von Teilgruppe 3 direkt übertragbar, was auch durch den Vergleich der berechneten Teilsicherheitsbeiwerte bestätigt wird.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorstehenden Untersuchungen sind unter Beachtung der den Berechnungen zugrunde gelegten Annahmen zu sehen. Es muß daher offen bleiben, wie und ob sich durch ein gesicherteres stochastisches Bodenmodell und genauere Angaben zu den Einwirkungen die Ergebnisse verändern. Für Lastkombinationen unabhängiger Einwirkungen müssen Kombinationsregel erarbeitet werden. Mit dem Ansatz der globalen Wichtungsfaktoren $\bar{\alpha}_R = 0,8$ für die Einwirkungen und $\bar{\alpha}_S = -0,7$ für die Widerstände liegen die Ergebnisse jedoch nach GruSiBau auf der sicheren Seite.

Für Stützbaubauwerke mit reinen Erddrucklasten als ständige Einwirkung wurde der Teilsicherheitsbeiwert für den Reibungswinkel zu $\gamma_{\varphi} \sim 1.2$ für den Grenzzustand der Tragfähigkeit ermittelt. Er weicht von dem in der GruSiBau angegebenen Wert erheblich ab.

Grundsätzlich konnte die Anwendbarkeit des neuen stochastischen Sicherheitskonzeptes auf schräg und mittig belastete Fundamente gezeigt werden.

Tab. 1: Sicherheitsindex β mit konstanten Teilsicherheitsbeiwerten

VERGLEICHSRECHNUNG : REIBUNGSWINKEL 30 - 40 GRAD

----- OHNE KOHAESION

a/b = 1 , d/b = 0 , gam1/gam2 = 1

H/V	0.00			0.10			0.20			0.30			0.40		
phi	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50
40	8.40	4.81	3.33	9.00	4.97	3.40	6.43	4.91	3.38	4.62	4.08	3.14	3.30	3.04	2.62
37.5	8.34	4.84	3.37	9.00	5.03	3.45	6.34	4.96	3.43	4.50	4.01	3.15	3.19	2.95	2.58
35	8.27	4.88	3.41	8.98	5.09	3.50	6.26	5.01	3.48	4.39	3.94	3.15	3.08	2.86	2.53
32.5	8.19	4.90	3.46	8.96	5.14	3.56	6.17	5.05	3.53	4.27	3.87	3.15	2.97	2.78	2.48
30.	8.11	4.93	3.49	8.92	5.20	3.61	6.09	5.08	3.58	4.16	3.80	3.14	2.86	2.70	2.49

a/b = 1 , d/b = 0.25 , gam1/gam2 = 1

H/V	0.00			0.10			0.20			0.30			0.40			0.50		
phi	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50
40	8.33	4.86	3.39	8.91	5.04	3.47	7.06	5.07	3.48	5.37	4.60	3.35	4.06	3.63	2.98	3.12	2.86	2.51
37.5	8.25	4.90	3.45	8.88	5.10	3.53	7.00	5.15	3.56	5.26	4.58	3.40	3.94	3.56	2.98	3.00	2.78	2.46
35	8.14	4.92	3.49	8.84	5.17	3.60	6.95	5.22	3.63	5.16	4.55	3.45	3.83	3.49	2.96	2.90	2.70	2.42
32.5	8.02	4.95	3.54	8.77	5.23	3.68	6.88	5.29	3.71	5.06	4.51	3.49	3.72	3.41	2.94	2.80	2.62	2.37
30	7.89	4.98	3.60	8.68	5.28	3.75	6.83	5.37	3.79	4.96	4.47	3.53	3.62	3.34	2.93	2.69	2.53	2.31

a/b = 1 , d/b = 0.5 , gam1/gam2 = 1

H/V	0.00			0.10			0.20			0.30			0.40			0.50		
phi	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50
40	8.29	4.87	3.41	8.82	5.06	3.49	7.26	5.12	3.52	5.61	4.76	3.41	4.29	3.81	3.09	3.32	3.03	2.63
37.5	8.20	4.91	3.47	8.83	5.12	3.56	7.20	5.20	3.60	5.50	4.75	3.47	4.16	3.74	3.09	3.20	2.94	2.59
35	8.08	4.94	3.52	8.77	5.18	3.63	7.14	5.27	3.67	5.39	4.73	3.53	4.04	3.66	3.08	3.08	2.86	2.54
32.5	7.96	4.97	3.58	8.69	5.24	3.71	7.08	5.35	3.76	5.29	4.71	3.58	3.92	3.59	3.07	2.97	2.77	2.49
30	7.80	4.99	3.63	8.60	5.30	3.79	7.02	5.43	3.85	5.17	4.68	3.63	3.81	3.51	3.05	2.85	2.67	2.43

a/b = 1 , d/b = 1 , gam1/gam2 = 1

H/V	0.00			0.10			0.20			0.30			0.40			0.50		
phi	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50
40	8.26	4.88	3.43	8.83	5.07	3.51	9.10	5.15	3.55	5.78	4.84	3.46	4.45	3.95	3.16	3.46	3.15	2.72
37.5	8.16	4.92	3.49	8.78	5.14	3.58	9.10	5.23	3.63	5.67	4.86	3.52	4.32	3.88	3.17	3.33	3.06	2.67
35	8.04	4.95	3.54	9.15	5.20	3.66	7.26	5.31	3.71	5.56	4.87	3.58	4.20	3.80	3.16	3.20	2.97	2.62
32.5	7.90	4.98	3.60	8.63	5.26	3.74	7.20	5.39	3.80	5.44	4.86	3.64	4.10	3.71	3.15	3.07	2.88	2.58
30	7.74	5.00	3.66	8.58	5.31	3.81	7.14	5.47	3.90	5.33	4.82	3.70	3.93	3.63	3.13	2.95	2.77	2.50

Tab. 2: Sicherheitsindex β mit konstanten Teilsicherheitsbeiwerten

VERGLEICHSRECHNUNG

a/b = 1 , d/b = 0 , gam1/gam2 = 1

H/V	0.00			0.10			0.20			0.30			0.40			0.50		
phi/k	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50
40/0	8.40	4.81	3.33	9.00	4.97	3.40	6.43	4.91	3.38	4.62	4.08	3.14	3.30	3.03	2.62	2.35	2.22	2.03
35/5	8.47	5.67	4.29	9.02	5.94	4.47	7.27	5.98	4.54	5.60	5.11	4.34	4.42	4.19	3.80	3.67	3.54	3.33
30/10	7.36	5.68	4.69	7.71	5.91	4.86	7.65	5.93	4.91	6.06	5.49	4.74	4.95	4.71	4.36	4.28	4.14	3.94
25/20	5.59	5.29	4.72	6.29	5.45	4.86	6.19	5.48	4.90	5.79	5.27	4.80	5.10	4.85	4.54	4.59	4.46	4.28
20/30	5.18	4.89	4.59	5.34	5.03	4.71	5.37	5.07	4.76	5.20	4.96	4.69	4.88	4.72	4.53	4.58	4.48	4.35
15/50	4.63	4.53	4.39	4.77	4.66	4.51	4.81	4.70	4.55	4.73	4.63	4.51	4.58	4.51	4.41	4.43	4.38	4.31
0 /75	4.27	4.27	4.27	4.53	4.53	4.53	3.71	3.71	3.71	3.27	3.27	3.27	3.97	3.97	3.97	3.96	3.96	3.97

a/b = 1 , d/b = 0.25 , gam1/gam2 = 1

H/V	0.00			0.10			0.20			0.30			0.40			0.50		
phi/k	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50
40/0	8.32	4.85	3.39	8.92	5.04	3.47	7.06	5.07	3.49	5.37	4.60	3.35	4.06	3.63	2.98	3.11	2.86	2.50
35/5	8.53	5.55	4.11	9.19	5.84	4.28	7.38	5.95	4.35	5.74	5.28	4.18	4.47	4.16	3.66	3.59	3.41	3.12
30/10	7.85	5.77	4.61	8.40	6.07	4.80	8.57	6.18	4.90	6.10	5.66	4.72	4.88	4.62	4.19	4.10	3.94	3.70
25/20	6.56	5.53	4.81	6.92	5.77	4.99	7.02	5.86	5.07	6.30	5.59	4.94	5.25	4.97	4.59	4.60	4.45	4.24
20/30	5.56	5.12	4.72	5.81	5.32	4.89	5.88	5.39	4.95	5.62	5.24	4.87	5.13	4.91	4.66	4.71	4.59	4.42
15/50	4.81	4.66	4.49	4.99	4.82	4.63	5.04	4.88	4.69	4.94	4.80	4.64	4.74	4.65	4.53	4.54	4.48	4.39
0 /75	3.60	3.63	3.67	3.23	3.26	3.30	3.95	3.95	3.90	4.09	4.09	4.10	4.09	4.09	4.10	3.98	3.99	3.99

a/b = 1 , d/b = 0.5 , gam1/gam2 = 1

H/V	0.00			0.10			0.20			0.30			0.40			0.50		
phi/k	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50
40/0	8.29	4.87	3.41	8.87	5.05	3.49	7.26	5.12	3.52	5.60	4.75	3.41	4.28	3.81	3.09	3.31	3.03	2.63
35/5	8.49	5.45	4.00	9.17	5.88	4.15	7.41	5.87	4.23	5.77	5.28	4.07	4.46	4.13	3.57	3.54	3.33	3.02
30/10	8.03	5.75	4.50	8.68	6.07	4.71	8.96	6.22	4.82	6.03	5.64	4.63	4.76	4.50	4.05	3.92	3.76	3.51
25/20	6.92	5.66	4.82	7.40	5.95	5.03	7.59	6.09	5.13	6.42	5.75	4.99	5.23	4.96	4.56	4.51	4.36	4.14
20/30	5.86	5.29	4.80	6.19	5.54	5.00	6.32	5.64	5.09	5.96	5.46	4.99	5.28	5.03	4.73	4.76	4.63	4.45
15/50	4.97	4.78	4.57	5.19	4.98	4.74	5.26	5.05	4.81	5.13	4.96	4.76	4.88	4.77	4.62	4.64	4.56	4.46
0 /75	3.77	3.77	3.77	4.68	4.68	4.68	4.16	4.16	4.16	4.17	4.17	4.17	4.20	4.20	4.20	4.03	4.03	4.03

a/b = 1 , d/b = 1 , gam1/gam2 = 1

H/V	0.00			0.10			0.20			0.30			0.40			0.50		
phi/k	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50	2.50	5.00	7.50
40/0	8.26	4.89	3.43	8.84	5.01	3.52	7.70	5.15	3.55	5.78	4.84	3.46	4.45	3.95	3.17	3.46	3.16	2.72
35/5	8.39	5.32	3.87	9.09	5.60	4.02	7.42	5.74	4.09	5.77	5.25	3.95	4.44	4.09	3.48	3.48	3.25	2.92
30/10	8.13	5.65	4.34	8.86	6.00	4.54	9.25	6.18	4.66	5.92	5.54	4.47	4.59	4.32	3.85	3.69	3.52	3.26
25/20	7.33	5.75	4.77	7.95	6.11	5.02	8.26	6.29	5.14	6.34	5.85	4.97	5.06	4.81	4.41	4.28	4.13	3.91
20/30	6.30	5.50	4.87	6.78	5.83	5.12	7.00	5.98	5.25	6.39	5.73	5.12	5.36	5.10	4.74	4.72	4.58	4.39
15/50	5.25	4.98	4.70	5.54	5.23	4.91	5.66	5.33	5.01	5.48	5.25	4.94	5.10	4.94	4.75	4.76	4.67	4.54
0 /75	3.87	3.88	3.88	4.04	4.05	4.05	3.95	3.95	3.95	3.88	3.89	3.88	3.94	3.94	3.94	4.12	4.13	4.13

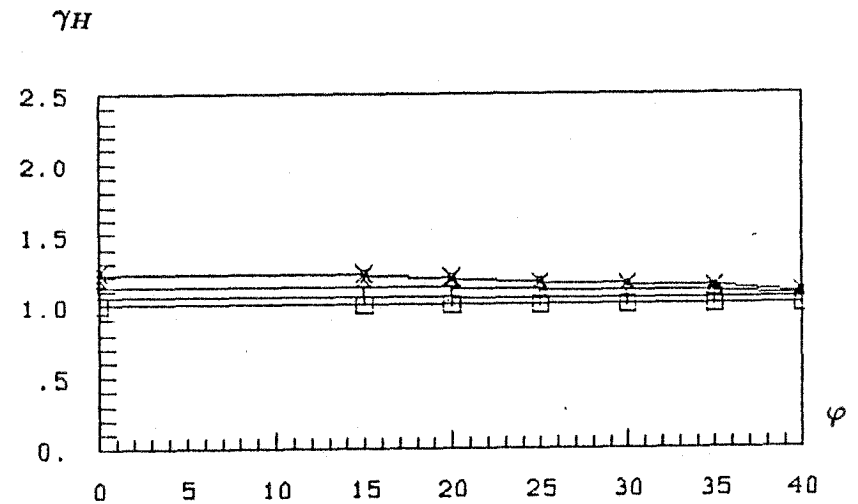
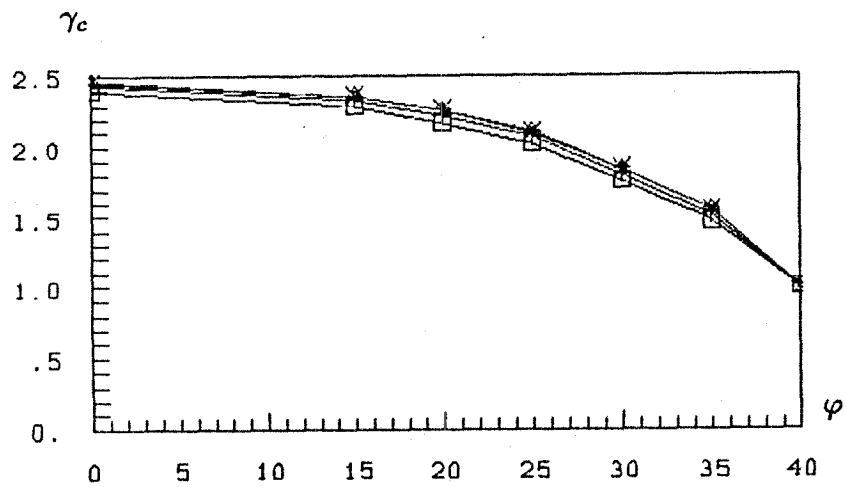
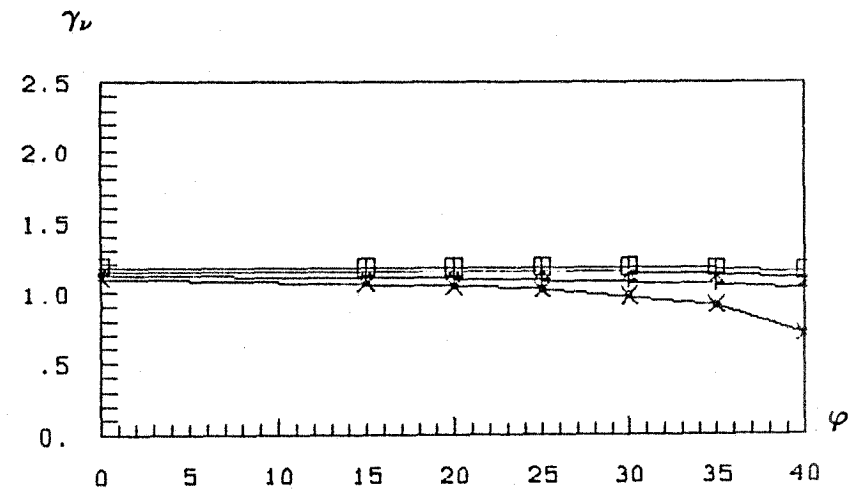
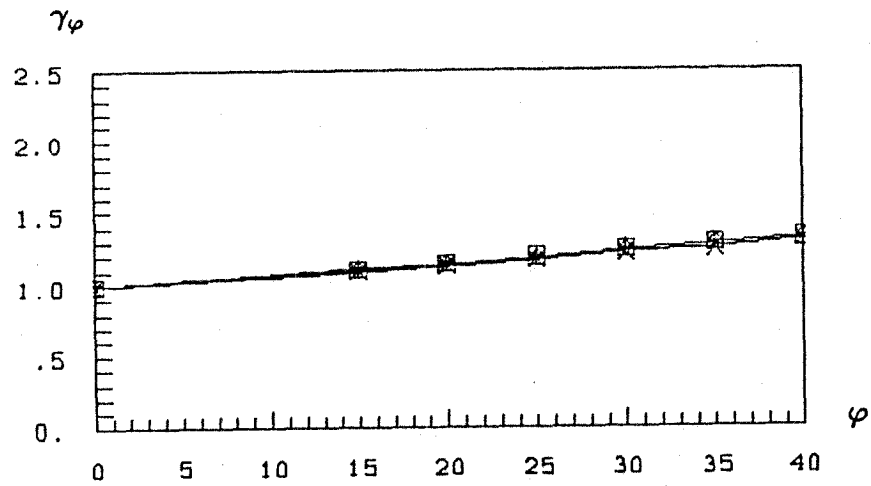


Bild 1: Berechnung 1: m_H/m_V
exakte Teilsicherheitsbeiwerte

□ 0.0
+ 0.1
△ 0.2
x 0.3

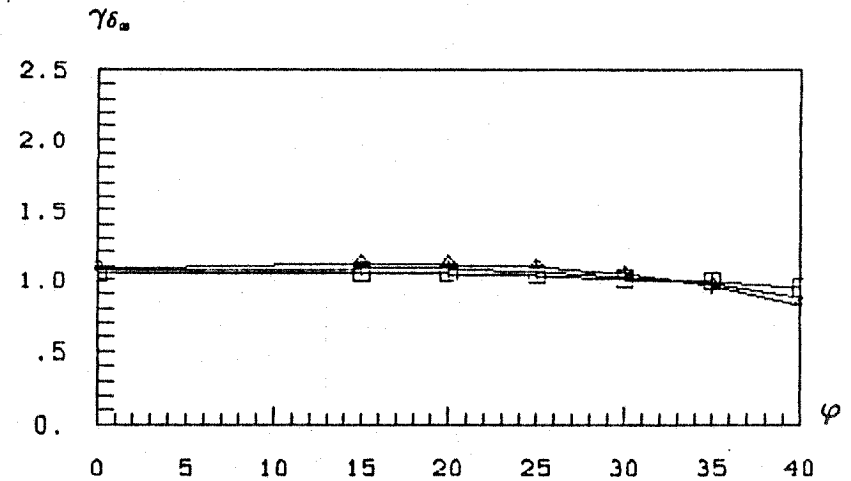
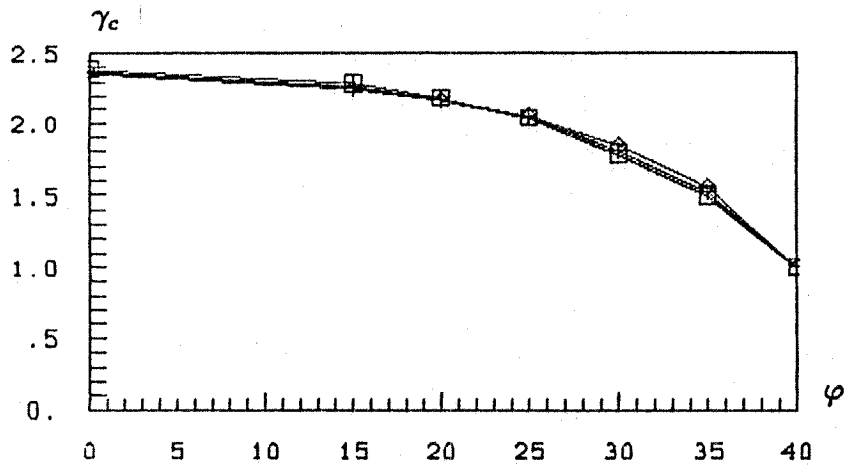
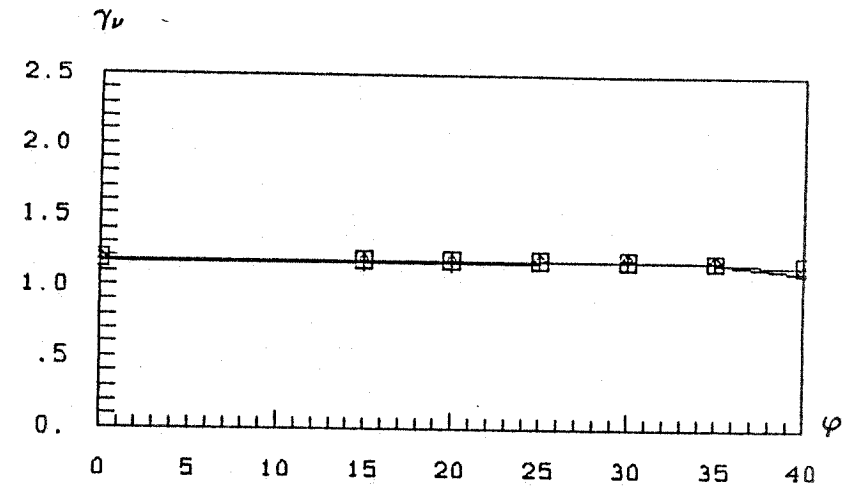
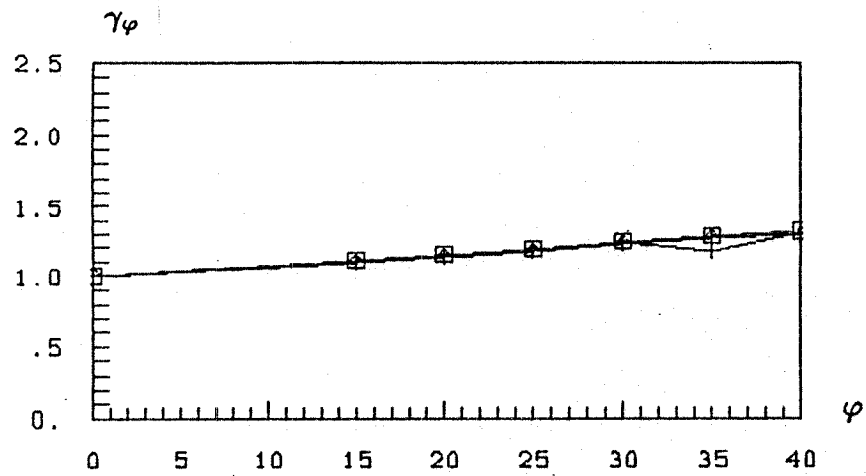


Bild 2: Berechnung 2: m_{δ_s}
exakte Teilsicherheitsbeiwerte

- 0.0
- + 0.1
- △ 0.2
- x 0.3

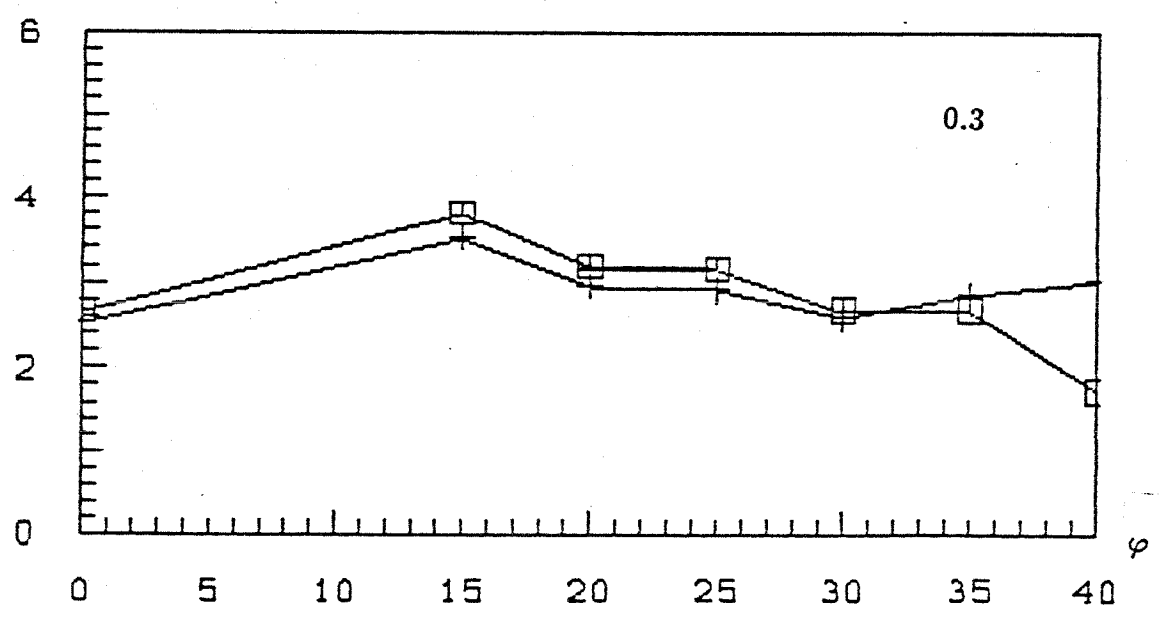
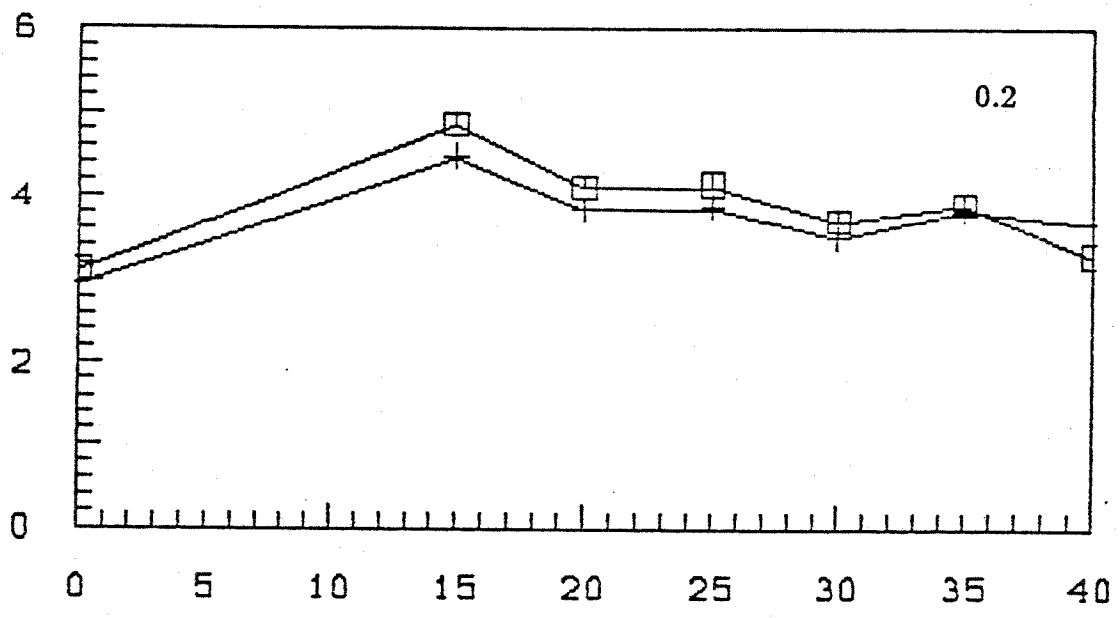
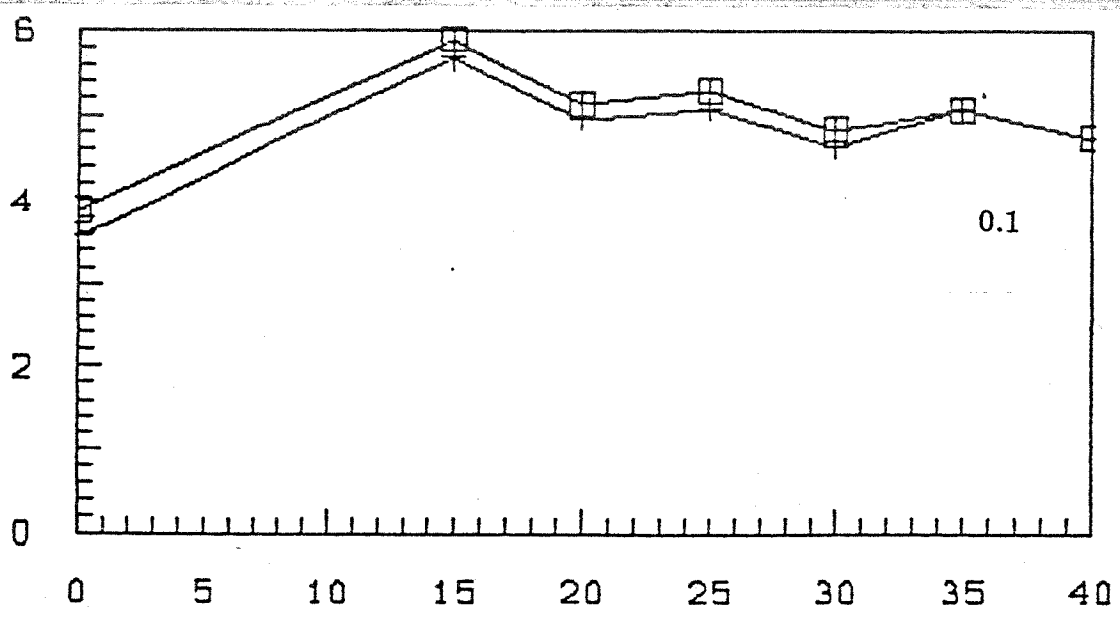
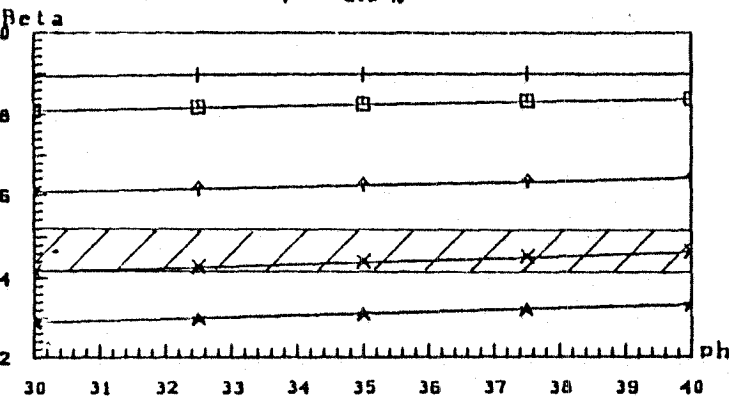


Bild 3: Charakteristische Beanspruchung

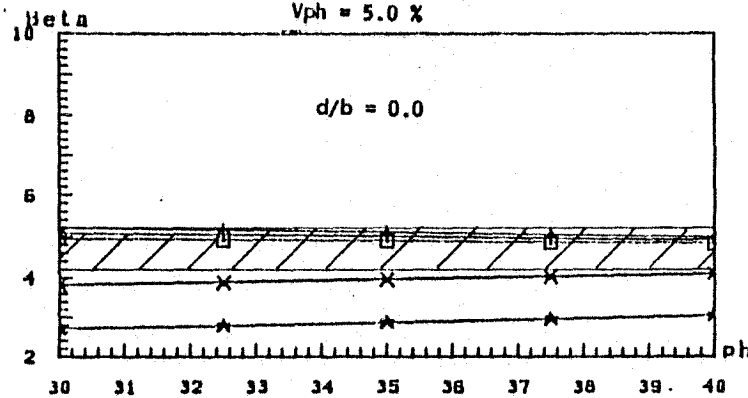
□ m_H/m_V
 + m_{δ_z}

V_{ph} = 2.5 %

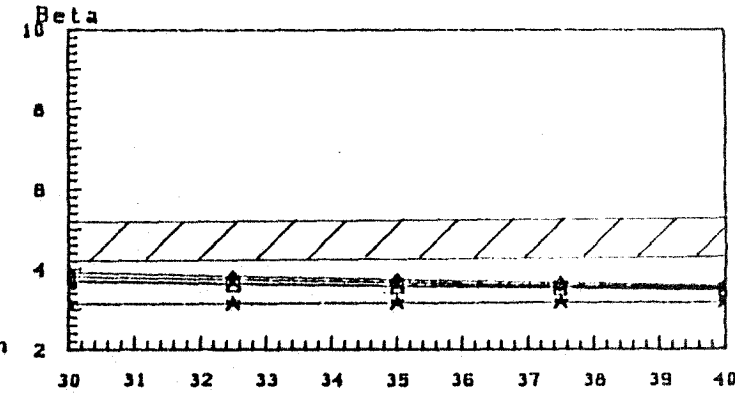
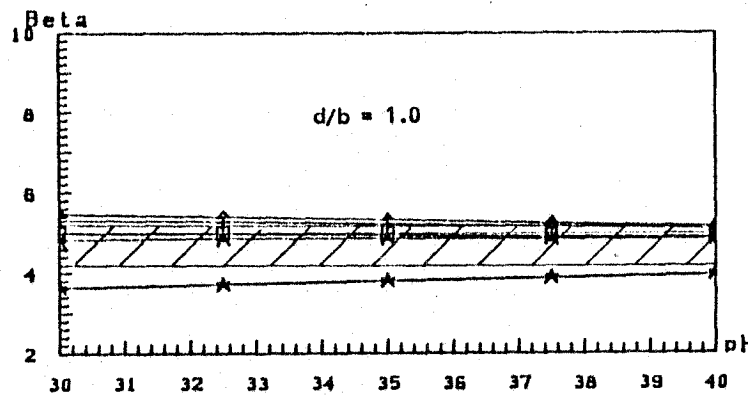
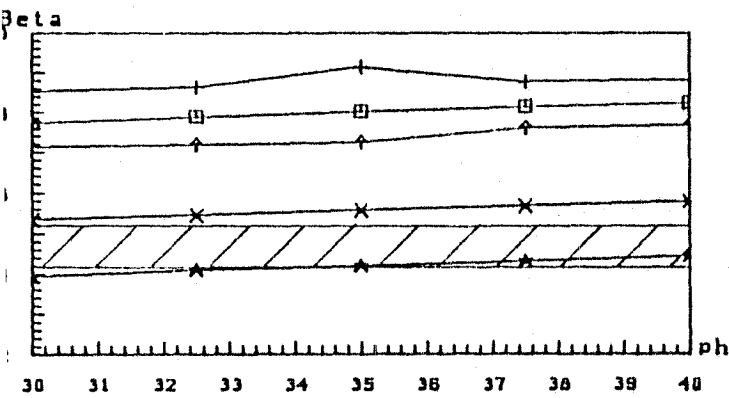
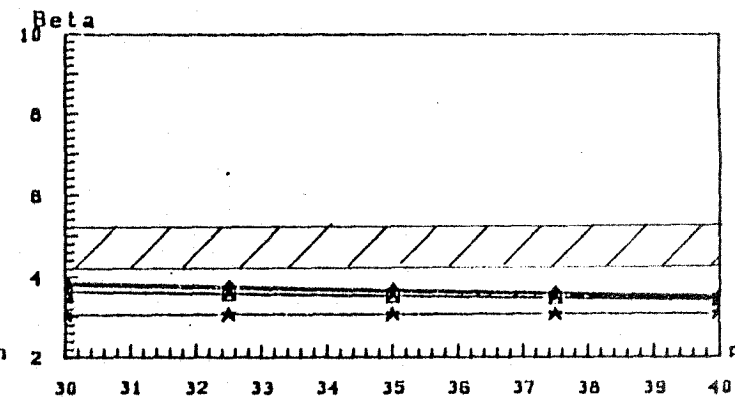
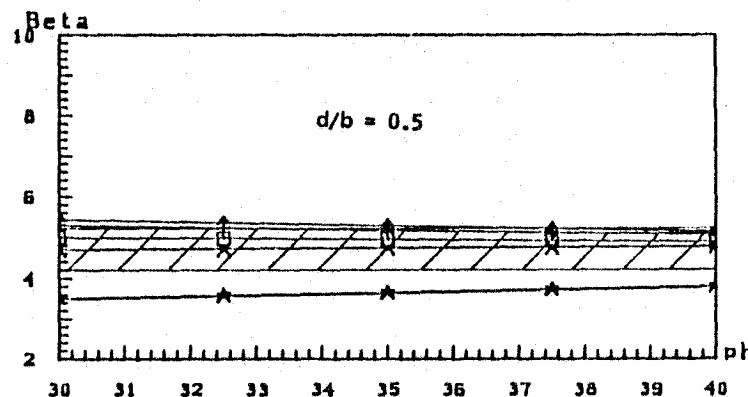
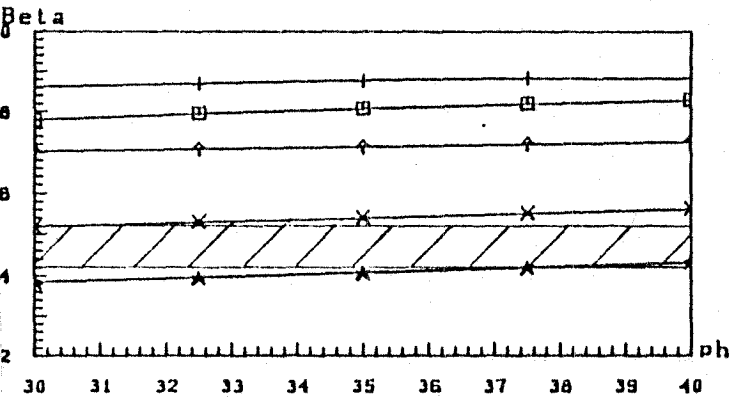
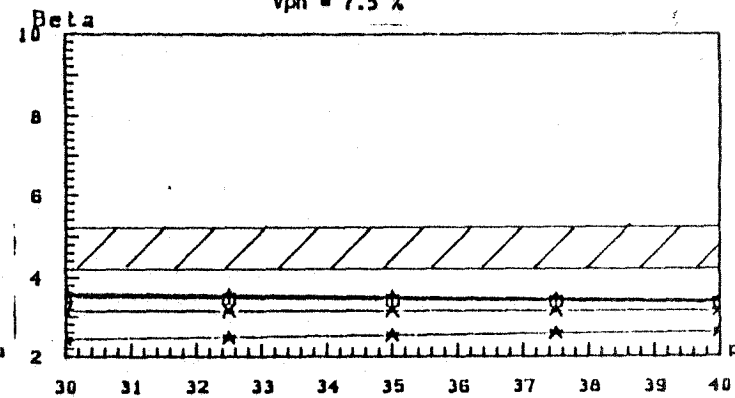


Vergleichsrechnung : Nichtbindiger Boden

V_{ph} = 5.0 %



V_{ph} = 7.5 %

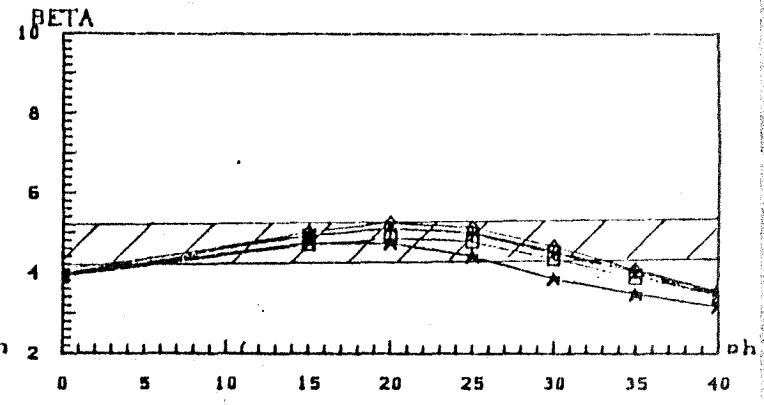
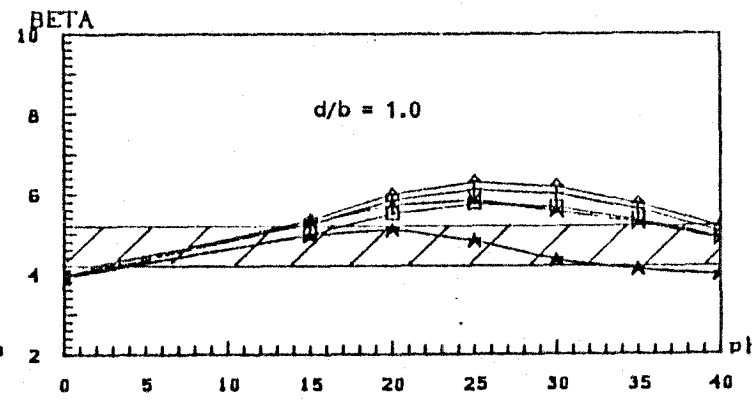
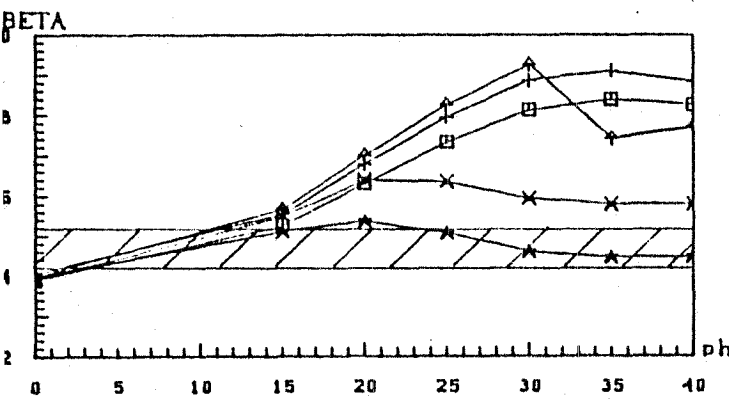
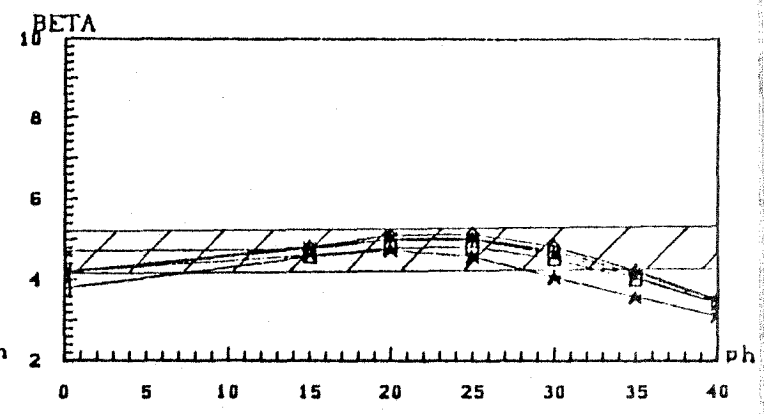
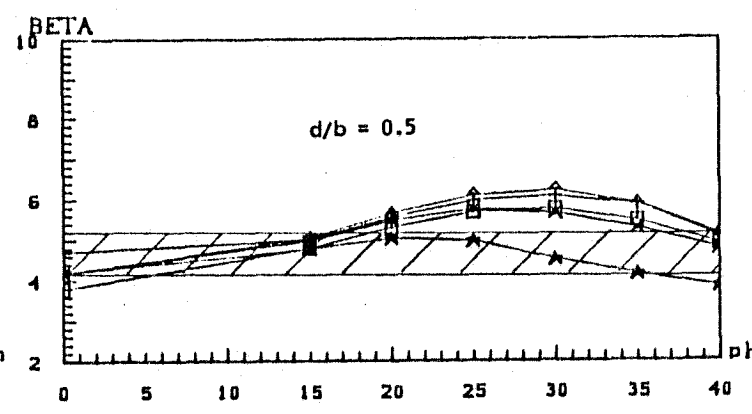
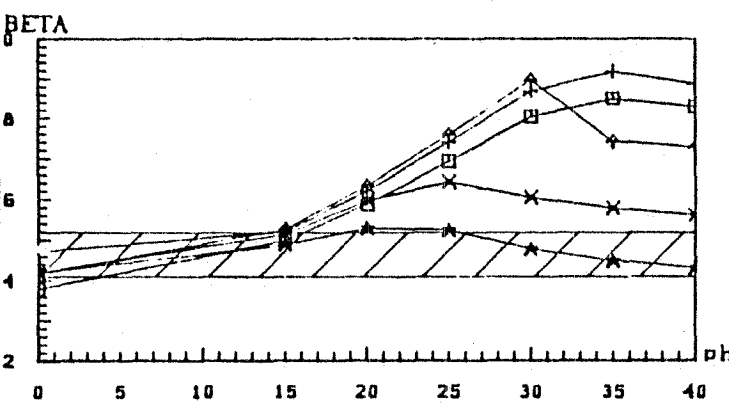
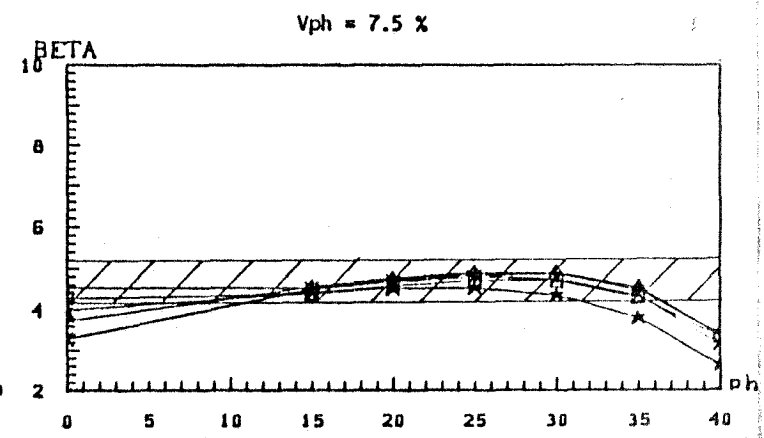
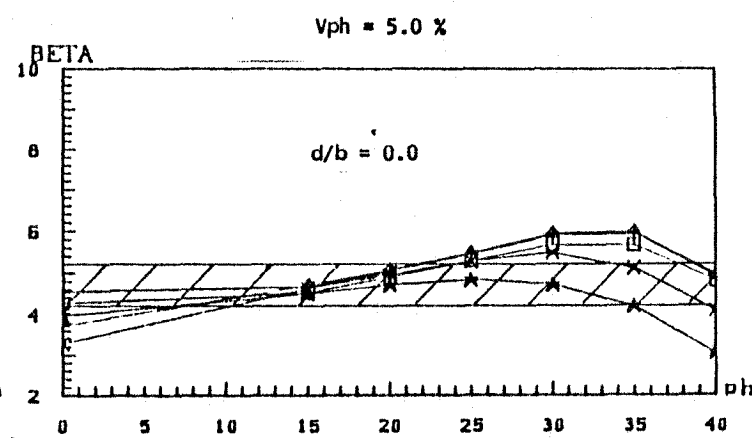
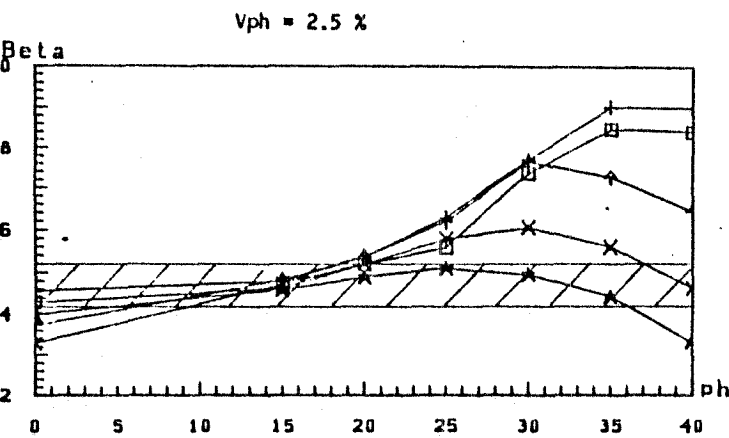


- HV=0.0
- + HV=0.1
- △ HV=0.2
- × HV=0.3
- ★ HV=0.4

Reibungswinkel LN-Verteilung $V_{ph} = 2.5/5/7.5\%$
 Kohäsion $c = 0.0$
 Vertikallast N-Verteilung $V_v = 10\%$
 Horizontallast N-Verteilung $V_h = 10\%$

$a/b = 1.0$
 $\gamma_{m1}/\gamma_{m2} = 1.0$
 $d/b = 0.0/0.5/1.0$

Bild 4: Sicherheitsindex β mit konstanten Teilsicherheitsbeiwerten



- H/V=0.0
- + + H/V=0.1
- △-△ H/V=0.2
- ×-× H/V=0.3
- ▲-▲ H/V=0.4

Reibungswinkel LN-Verteilung Vph = 2.5/5/7.5 %
 Kohäsion LN-Verteilung Vc = 20 %
 Vertikallast N-Verteilung Vv = 10 %
 Horizontallast N-Verteilung Vh = 10 %

a/b = 1.0
 gam1/gam2 = 1.0
 d/b = 0.0/0.5/1.0

Bild 5: Sicherheitsindex β mit konstanten Teilsicherheitsbeiwerten

Tab. 3 Erforderliche Fundamentbreiten $\beta = 4.70$

φ/c	$V_\varphi = 5\% \quad 7.5\%$		5% 7.5%		5% 7.5%		5% 7.5%	
	H/V=0.1		H/V=0.2		H/V=0.3		H/V=0.4	
0/75	2.00	2.00	2.095	2.095	2.09	2.09	2.1	2.1
15/50	1.90	1.95	1.90	1.94	1.91	1.95	1.95	2.01
20/30	1.83	1.90	1.82	1.90	1.83	1.90	1.85	1.92
25/20	1.78	1.90	1.78	1.89	1.78	1.90	1.81	2.01
30/10	1.77	1.95	1.77	1.94	1.77	2.09	2.04	2.09
35/5	1.89	2.05	1.805	2.09	1.81	2.06	2.11	2.11
40/0	1.90	2.218	1.90	2.22	1.91	2.26	2.16	2.27

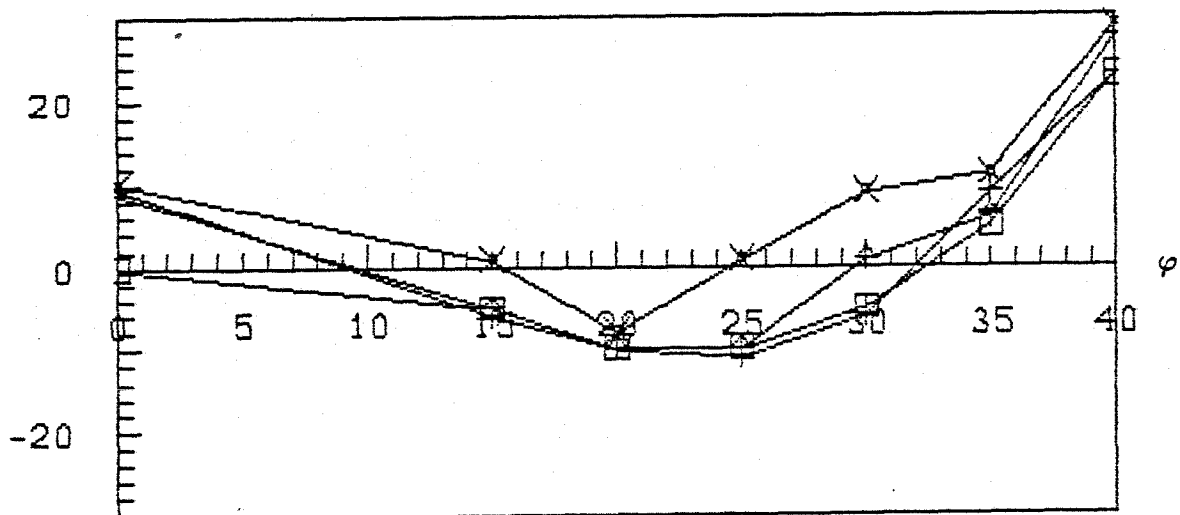


Bild 6: Änderung der Fundamentflächen ΔA [%]

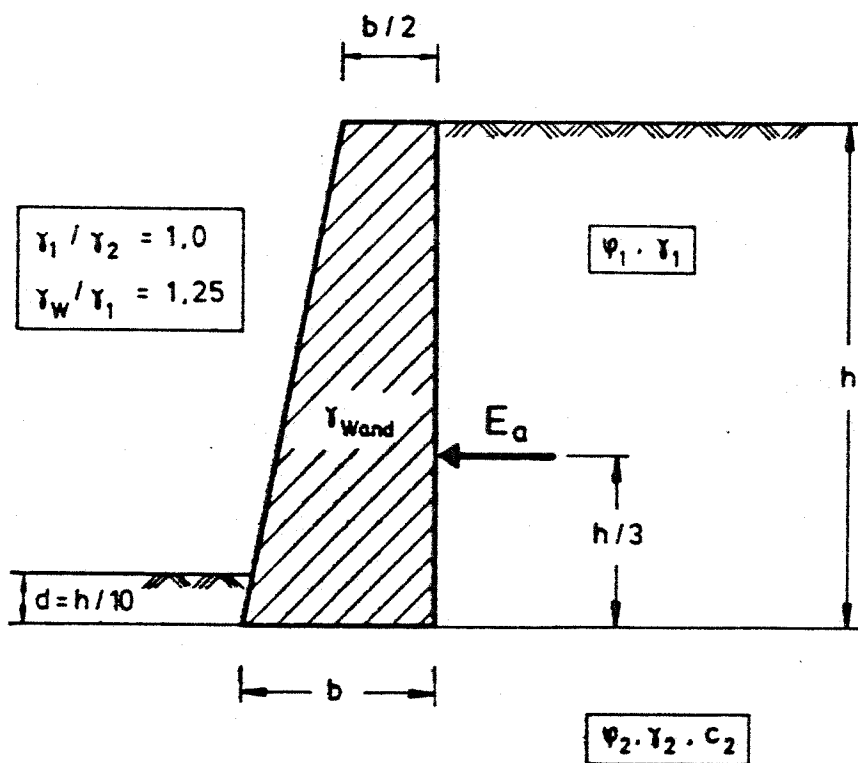


Bild 7: Untersuchte Stützwand

$$m_{\varphi_1} = m_{\varphi_2} \quad V_{\varphi_1} = V_{\varphi_2} = 7.5\%$$

m_{φ}/m_c	φ_1^*	φ_2^*	δ_S	$\alpha_{\varphi_1}^2$	$\alpha_{\varphi_2}^2$
30/0	26.97	22.61	0.165	0.09	0.91
35/0	30.46	26.64	0.20	0.17	0.83
40/0	33.79	30.84	0.23	0.26	0.74

$$m_{\varphi_1} = m_{\varphi_2} \quad V_{\varphi_1} = V_{\varphi_2} = 5\%$$

m_{φ}/m_c	φ_1^*	φ_2^*	δ_S	$\alpha_{\varphi_1}^2$	$\alpha_{\varphi_2}^2$
30/0	27.81	24.58	0.19	0.11	0.89
35/0	31.67	28.93	0.22	0.19	0.81
40/0	35.37	33.42	0.25	0.30	0.69

$$m_{\varphi_1} = 30^\circ \quad V_{\varphi_1} = V_{\varphi_2} = 7.5\%$$

m_{φ}/m_c	φ_1^*	φ_2^*	δ_S	$\alpha_{\varphi_1}^2$	$\alpha_{\varphi_2}^2$
30/0	26.97	22.61	0.165	0.09	0.91
35/0	26.36	26.55	0.22	0.15	0.86
40/0	25.89	30.55	0.27	0.20	0.80

$$m_{\varphi_1} = 35^\circ \quad V_{\varphi_1} = V_{\varphi_2} = 7.5\%$$

m_{φ}/m_c	φ_1^*	φ_2^*	δ_S	$\alpha_{\varphi_1}^2$	$\alpha_{\varphi_2}^2$
30/0	31.23	22.65	0.15	0.11	0.89
35/0	30.46	26.64	0.20	0.17	0.83
40/0	29.87	30.70	0.25	0.23	0.77

$$m_{\varphi_1} = 40^\circ \quad V_{\varphi_1} = V_{\varphi_2} = 7.5\%$$

m_{φ}/m_c	φ_1^*	φ_2^*	δ_S	$\alpha_{\varphi_1}^2$	$\alpha_{\varphi_2}^2$
30/0	35.47	22.69	0.13	0.12	0.88
35/0	34.52	26.72	0.18	0.19	0.81
40/0	33.79	30.84	0.23	0.26	0.74

Tab. 4 : Ergebnisse Berechnung (a) und (b)

$$m_{\varphi_1} = 35^\circ \quad V_{\varphi_1} = V_{\varphi_2} = 7.5\%$$

m_{φ}/m_c	φ_1^*	φ_2^*	c^*	δ_S	$\alpha_{\varphi_1}^2$	$\alpha_{\varphi_2}^2$	$\alpha_{\varphi_c}^2$
40/0	29.87	30.69	0.0	0.25	0.23	0.77	0.0
35/5	30.12	26.87	4.19	0.22	0.20	0.77	0.03
30/10	30.63	23.10	7.29	0.18	0.16	0.74	0.10
25/20	31.22	19.64	12.0	0.16	0.11	0.61	0.28
20/30	32.06	16.09	15.64	0.12	0.06	0.48	0.46
15/50	32.81	12.66	22.51	0.10	0.03	0.27	0.70
0/75	keine Ergebnisse						

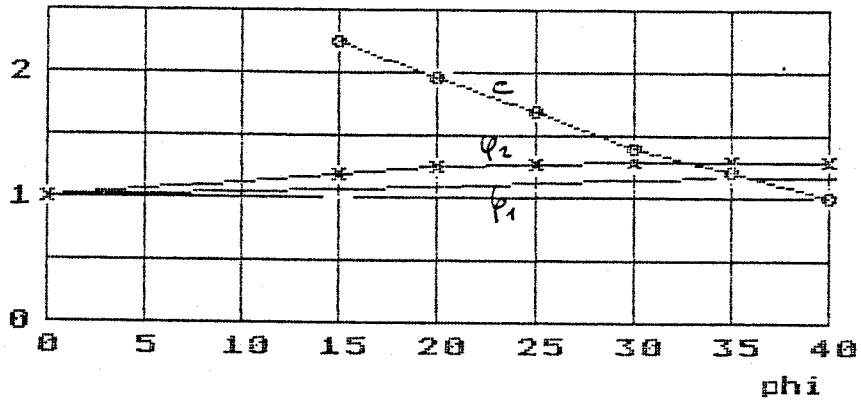
$$m_{\varphi_1} = 35^\circ \quad V_{\varphi_1} = \boxed{5\%}$$

m_{φ}/m_c	φ_1^*	φ_2^*	c^*	δ_S	$\alpha_{\varphi_1}^2$	$\alpha_{\varphi_2}^2$	$\alpha_{\varphi_c}^2$
40/0	32.01	30.37	0.0	0.23	0.13	0.85	0.0
35/5	32.20	26.61	4.14	0.21	0.13	0.837	0.03
30/10	32.58	22.94	7.17	0.17	0.10	0.79	0.11
25/20	32.98	19.56	11.81	0.15	0.06	0.64	0.30
20/30	33.51	16.05	15.42	0.11	0.03	0.49	0.48
15/50	33.93	12.65	22.37	0.09	0.02	0.27	0.71
0/75	keine Ergebnisse						

Tab. 5 : Ergebnisse Berechnung (Werte der Hauptdiagonalen)

Teilsicherheitsbeiwerte

$$V_{\varphi_1} = 75\%$$



Teilsicherheitsbeiwerte

$$V_{\varphi_1} = 50\%$$

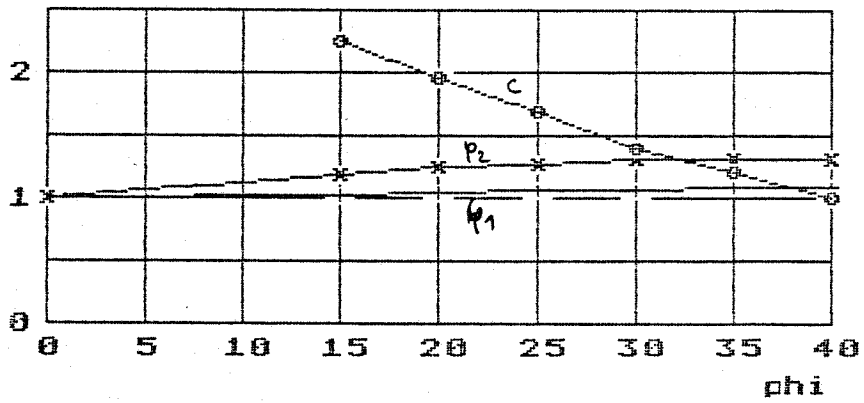


Bild 8 : Exakte Teilsicherheitsbeiwerte (Stützwand)

Forschungsprojekt

Einarbeitung der "Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen" (GruSiBau) in DIN 4017-Grundbruchberechnungen

Abschlußbericht zum Teilprojekt der Münchner Arbeitsgruppe

Teilprojekt 4: Schräg und außermittig belastete Fundamente

4 a: Stützenfundamente

4 b: Staumauer

Auftraggeber: Institut für Bautechnik, Berlin

Auftragnehmer: Lehrstuhl und Prüfamts für Grundbau, Bodenmechanik und Felsmechanik,
Technische Universität München
Direktor: o.Prof. Dr.-Ing. R. Floss

Bearbeiter: Dipl.Ing. Bernhard Peintinger

Datum: 15.05.87

A 4.1

Untersuchungsergebnisse zu schräg- und außermittig belasteten Fundamenten (Exzentrizität und Lastneigung in einer Richtung) der Arbeitsgruppe München.

Inhaltsverzeichnis

1.	Aufgabenstellung	2
2.	Stochastisches Bodenmodell	2
3.	Stützenfundamente	4
3.1	Rechenannahmen	4
3.1.1	Festlegung der Basisvariablen	4
3.1.2	Priorifestlegung der Teilsicherheitsbeiwerte	5
3.2	Parameterstudie	7
3.2.1	Einfluß der Variation der Bodenkennwerte	7
3.2.2	Einfluß der Variation der Einwirkungen	8
3.2.3	Einfluß der Geometrie	8
3.3	Vorschlag zur Festlegung von Teilsicherheitsbeiwerten	9
3.4	Vergleich mit der bestehenden DIN 4017	10
4.	Staumauern	11
4.1	Rechenannahmen	11
4.1.1	Festlegung der Basisvariablen	11
4.1.2	Prioriannahmen der Teilsicherheitsbeiwerte	12
4.2	Parameterstudie	13
4.2.1	Einfluß der Variation der Bodenkennwerte	14
4.2.2	Einfluß der Variation des Wasserstandes	14
4.2.3	Einfluß der Geometrie	14
4.3	Vorschlag zur Festlegung von Teilsicherheitsbeiwerten	15
4.4	Vergleich mit der bestehenden DIN 4017	15
5.	Beispielrechnung für eine Bemessung mit Teilsicherheitsbeiwerten	16
6.	Zusammenfassung	18
7.	Literaturverzeichnis	19
8.	Abbildungen	20
9.	Tabellen	58

1. Aufgabenstellung

Von der Münchner Arbeitsgruppe war im Rahmen des Forschungsvorhabens die Anwendung der "Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen" auf Grundbruchberechnungen für schräg- und außermittig belastete Fundamente zu untersuchen. Hierbei war in der 4. Teilgruppe zum einen der gemeinsame Einfluß von Horizontalkraft H und Vertikalkraft V als voneinander unabhängige Basisvariable zu erarbeiten. Zum anderen war für das spezielle Beispiel einer Staumauer mit im wesentlichen streuenden Horizontalkraftanteil die Allgemeingültigkeit der getroffenen Festlegungen zu überprüfen.

2. Stochastisches Bodenmodell

Die Grundbruchlast eines Fundamentes gegebener Geometrie wird durch die Bodenkenngrößen der Scherfestigkeit (Reibungswinkel ϕ und Kohäsion c) sowie der Wichte des Bodens beeinflusst.

Da die Variation der Wichte im Gegensatz zu der Scherfestigkeit einen geringen Einfluß auf die Grundbruchsicherheit hat (vgl. 4.3. des Hauptberichts) wurde sie als deterministische Größe angesetzt.

Die Scherfestigkeitsparameter ϕ und c des Bodens müßten grundsätzlich als stochastische Felder modelliert werden, um ihre räumliche Variation zu erfassen. Da jedoch bei Plastizitätsaufgaben der mittlere Wert der Scherfestigkeit im Bruchkörper maßgebend ist und bisher noch keine allgemeingültigen quantitativen Aussagen über die Autokorrelationsstruktur gemacht werden können, wird davon ausgegangen, daß die räumliche Fluktuation durch Mittelbildung auf ein vernachlässigbares Maß ausgeglichen wird (vgl. Peintinger/Reitmeier 1983). Die Modellierung der Scherparameter als Zufallsvariable beschreibt also hauptsächlich die Unkenntnis des genauen Mittelwertes und die daraus resultierende Variabilität der rechnerischen Scherparameter ϕ und c .

Die Festlegung des Verteilungstyps und der Verteilungsparameter ist im Hauptbericht im Kapitel 4.1 beschrieben und die Kombination der Mittelwerte des Reibungswinkels ϕ und der Kohäsion c sowie deren Variationskoeffizienten sind in Tabelle 1 des Hauptberichts angegeben.

Für den Reibungswinkel ϕ und die Kohäsion c wird als charakteristische Größe deren Mittelwert festgelegt.

3. Stützenfundamente

3.1 Rechenannahmen

3.1.1 Festlegung der Basisvariablen

Die Geometrie für das vorgegebene Rechenbeispiel ist im Bild 1 dargestellt. Die Beanspruchung des Fundaments erfolgt durch die resultierende Kraft R mit ihren Komponenten H und V, die entsprechend Bild 1 in den Abständen h und f vom Mittelpunkt der Sohlfläche angreift. Hierbei sind die Fundamentabmessungen Länge a und Breite b, die Einbindetiefe d sowie die Hebelarme h der Horizontalkraft H und f der Vertikalkraft V bezogen auf den Mittelpunkt der Sohlfläche deterministische Rechengrößen.

Die Lasten H und V wurden entsprechend ihrer Ursache als unabhängige Zufallsvariable modelliert. Die Vertikallast V wurde als normal verteilt, die Horizontallast H extremwert verteilt angenommen (Vgl. Tabelle Seite 8 des Hauptberichts). Als charakteristische Werte für die Lasten H und V wurden deren Mittelwerte definiert. Die Neigung δ des Mittelwertes der Lastresultierenden $E(R) = \bar{R}$ wurde fest vorgegeben.

$$\tan \delta = E(H) / E(V)$$

Hingegen war die Neigung der Bemessungslasten $\tan \delta^* = H^*/V^*$ eine variable Größe, da, wie bereits oben erwähnt, die Lasten H und V als unabhängige Zufallsvariable zu betrachten sind.

Es war demnach für das Beispiel der eingespannten Stütze die Grenzzustandsfunktion (die Grundbruchgleichung der DIN 4017) $g(\phi, c, H, V; a, b, d, h, f)$ in Abhängigkeit der 4 unabhängigen Zufallsvariablen ϕ, c, H, V und der oben genannten deterministischen Größen zu untersuchen.

3.1.2 Priorifestlegung der Teilsicherheitsbeiwerte

Der Grenzzustand des Grundbruchs ist genau dann erreicht, wenn die Grenzzustandsfunktion g für die Bemessungswerte ϕ^* , c^* , V^* und H^* den Wert 0 annimmt. Die Bemessungswerte lassen sich durch die festgelegten charakteristischen Werte und die Teilsicherheitsbeiwerte angeben (GruSiBau, 1981).

Für die Widerstände ϕ und c gilt

$$\phi^* = \phi_K / \gamma_{0\phi} = \bar{\phi} / \gamma_{0\phi}$$

$$c^* = c_K / \gamma_{0c} = \bar{c} / \gamma_{0c}$$

und für die Einwirkungen H und V

$$V^* = V_k \cdot \gamma_{0V} = \bar{V} \cdot \gamma_{0V}$$

$$H^* = H_k \cdot \gamma_{0H} = \bar{H} \cdot \gamma_{0H} \text{ mit } \tan \delta = \bar{H} / \bar{V}$$

Ausgehend von den Voruntersuchungen und den Festlegungen in den GruSiBau wurden die Teilsicherheitsbeiwerte für die Scherfestigkeit mit $\gamma_{0\phi} = 1,25$ und $\gamma_{0c} = 1,8$, die für die Einwirkungen H und V mit $\gamma_{0V} = \gamma_{0H} = 1,30$ angenommen.

Die charakteristischen Werte der Lasten \bar{H} und \bar{V} wurden für eine zugrunde gelegte Lastneigung δ aus der Bedingung $g = 0$ ausgerechnet und anschließend für die zahlenmäßig festgelegten Verteilungsparameter der Widerstände und der Einwirkungen der Sicherheitsindex β und die Wichtungsfaktoren α der einzelnen Zufallsvariablen berechnet.

Das Ergebnis einer solchen Untersuchung ist im Bild 2 dargestellt. Es zeigt für einen Boden mit den Mittelwerten für die Scherfestigkeitsparameter $\bar{\phi} = 20^\circ$ und $\bar{c} = 30 \text{ kN/m}^2$ das erreichte Sicherheitsniveau wie den Verlauf der Wichtungsfaktoren α in Abhängigkeit von der Neigung δ der resultierenden Belastung \bar{R} . Aus dem Bild ist ersichtlich, daß für dieses Beispiel der Wichtungsfaktor α_V der Vertikallast V für Lastneigungen $\tan \delta > 0,10$ negativ wird, zum anderen der Wichtungsfaktor α_H Werte größer 0,9 erreicht. Dies bedeutet, daß die Vertikallast V für größere Lastneigungen nicht mehr abtreibend sondern rückhaltend wirkt. Der wesentliche Einfluß auf die Versagenswahrscheinlichkeit des Fundamentes durch Grundbruch geht von einer möglichen Erhöhung der Horizontallast H aus.

Es mußte deshalb eine weitere Kombination von Teilsicherheitsbeiwerten für die Einwirkungen H und V untersucht werden. Hierfür wurden $\gamma_{OV} = 0,8$ und $\gamma_{OH} = 1,50$ angesetzt. Der Verlauf des Sicherheitsindex β für die beiden Kombinationen von Teilsicherheitsbeiwerten ist im Bild 3 angegeben. Das Ergebnis zeigt, daß für dieses Beispiel bei geringen Lastneigungen die ursprünglich gewählten Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{OV} = \gamma_{OH} = 1,3$ und bei größeren Lastneigungen $\tan \delta > 0,10$ die zusätzlich eingeführten Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{OV} = 0,8$ und $\gamma_{OH} = 1,5$ bis auf die Lastneigung $\tan \delta = 0,25$ ein ausreichendes Sicherheitsniveau liefern. Bei zu großen Lastneigungen ergibt sich eine rechnerische Exzentrizität für die Bemessungslasten, die keine ausreichende Standsicherheit für das Fundament mehr ergeben.

Die folgenden Parameterstudien wurden deshalb stets für die beiden Kombinationen der Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen durchgeführt.

3.2. Parameterstudie

Als Vergleichsgrundlage wurde als Basisbeispiel ein quadratisches Einzelfundament mit den in der Tabelle 1 angegebenen Rechenwerten gewählt. Der Verlauf des Sicherheitsindex β in Abhängigkeit der Scherparameter ϕ und c in den Bildern 4 und 5 zeigt, daß bis auf die Lastneigung $\tan \delta = 0,25$ zumindest für eine der beiden Kombinationen der Teilsicherheitsbeiwerte γ_{OV} und γ_{OH} das Sicherheitsniveau $\beta = 4,2$ nahezu erreicht wird. Eine geringfügige Unterschreitung tritt bei reinen Kohäsionsböden ($\phi = 0$) und den reinen Reibungsböden ($c = 0$) auf. Dies ließe sich durch Anhebung der Teilsicherheitsbeiwerte für ϕ und c korrigieren, jedoch auf Kosten einer zu sicheren Lösung bei gemischt körnigen Böden (z. B. $\phi = 20^\circ$ und $c = 30 \text{ kN/m}^2$).

3.2.1 Einfluß der Variation der Bodenkennwerte

Um die Brauchbarkeitsgrenzen der gewählten Teilsicherheitsbeiwerte bei starker oder geringer Variation der Scherfestigkeitsparameter festzustellen, wurden für die gemischt körnigen Böden sowohl der Variationskoeffizient V_ϕ und V_c , bei reinen Reibungsböden V_ϕ bzw. bei reinen Kohäsionsböden V_c variiert. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in den Bildern 6-13 dargestellt. Bei gemischt körnigen Böden wird auch bei größeren Variationskoeffizienten ($V_c = 30\%$ und $V_\phi = 7,5\%$ bzw. $V_c = 20\%$ und $V_\phi = 10\%$) für Lastneigungen bis $\tan \delta \leq 0,2$ ein ausreichendes Sicherheitsniveau erreicht. (vergl. Bilder 6-9). Hingegen fällt das Sicherheitsniveau bei reinen Reibungsböden für $V_\phi = 10\%$ bzw. bei einem reinen Kohäsionsboden für $V_c = 30\%$ beträchtlich unter das Mindestmaß von $\beta = 4,2$. (Vergl. Bilder 10 - 13)

Bei größeren Variationskoeffizienten der Scherfestigkeitsparameter müssen bei der Untersuchung der Grundbruchsicherheit im Anfangszustand ($\phi = 0$) bzw. bei reinen Reibungsböden die Teilsicherheitsbeiwerte erhöht werden.

3.2.2 Einfluß der Variation der Einwirkungen

Bei Verringerung der Variationskoeffizienten der Lasten auf $V_V = V_H = 5\%$ erhält man für die gewählten Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{OV} = 0,8$ und $\gamma_{OH} = 1,5$ bei größeren Lastneigungen ein Sicherheitsniveau von $\beta > 5,2$. Dies führt auch bei reinen Reibungsböden und bei reinen Kohäsionsböden zu unwirtschaftlicher Bemessung der Fundamente (vergl. Bilder 14 - 19).

3.2.3. Einfluß der Geometrie

Zum einen war zu überprüfen, in wieweit sich das Sicherheitsniveau bei proportionaler Vergrößerung der quadratischen Einzelfundamente (vergl. Bilder 20 - 25) und bei entsprechend breiten Streifenfundamenten (vergl. Bilder 26 - 31) für die gewählten Teilsicherheitsbeiwerte ändert. Zum anderen war der Einfluß der Lage des Angriffspunktes der Lastresultierenden R an der Fundamentoberkante bzw. an der Fundamentunterkante auf das Sicherheitsniveau zu studieren. Die Ergebnisse sind für den reinen Kohäsionsboden (Bilder 32 - 35) den gemischt körnigen Böden (Bilder 36 - 39) und den reinen Reibungsböden (Bilder 40 - 43) dargestellt.

Aus den Ergebnissen kann der Schluß gezogen werden, daß das erreichte Sicherheitsniveau bei Bemessung der Grundbruchlast mit den vorgeschlagenen Teilsicherheitsbeiwerten weder durch die geometrischen Abmessungen noch durch die Lage des Angriffspunktes der Resultierenden wesentlich beeinflusst wird.

3.3 Vorschlag zur Festlegung von Teilsicherheitsbeiwerten

Wie die Untersuchungen gezeigt haben, ist die Priorifestlegung der Teilsicherheitsbeiwerte für die Scherfestigkeiten des Bodens

$\gamma_{0\phi} = 1,25$ und $\gamma_{0c} = 1,8$
und für die Einwirkungen

a) $\gamma_{0V} = \gamma_{0H} = 1,3$ oder

b) $\gamma_{0V} = 0,8$ und $\gamma_{0H} = 1,5$

ausreichend für Böden mit Reibung und Kohäsion auch bei größeren Variationskoeffizienten der Scherfestigkeitsparameter. Jedoch wird das geforderte Sicherheitsniveau $\beta_{\min} = 4,2$ für reine Reibungsböden und reine Kohäsionsböden bereits bei Variationskoeffizienten $V_{\phi} = 7,5\%$ und $V_c = 20\%$ gering unterschritten. Bei größeren Variationskoeffizienten ist das erreichte Sicherheitsniveau jedoch nicht mehr ausreichend. Es wäre zu überdenken, ob auch bei den Teilsicherheitsbeiwerten auf der Widerstandsseite verschiedene Kombinationen vorgeschlagen werden sollten. Die Aufteilung der Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen in 2 Kombinationen, je nachdem ob die Vertikallast haltend oder abtreibend wirkt, hat sich grundsätzlich als brauchbar erwiesen. Eine weitergehende Untersuchung der Aufteilung der Vertikallast in die Anteile Eigengewicht und Verkehrslast müßte zeigen, ob hier eine Aufteilung von $\gamma_{0V} = 0,8$ in $\gamma_f^G = 0,9$ und $\gamma_f^Q = 0$ nach Grusibau möglich ist.

Die gewählten Teilsicherheitsbeiwerte ergeben bei der Bemessung der Grundbruchlast exzentrisch belasteter Fundamente für unterschiedliche geometrische Abmessungen ein ausreichend homogenes Sicherheitsniveau.

3.4 Vergleich mit der bestehenden DIN 4017

Der Vergleich erfolgte für das Basisbeispiel unter den in Abschnitt 5 des Hauptberichts angegebenen Rechenannahmen.

a) Sicherheit auf die Lasten bezogen $n_p = 2$

Bild 44 zeigt, daß mit den Sicherheiten $n_p = 2$ bezogen auf die Lasten H und V ein ausreichendes Sicherheitsniveau bei Lastneigungen $0 < \tan \delta < 0,1$ mit Ausnahme des reinen Reibungsbodens erreicht wird. Dies war zu erwarten, da bei kleinen Lastneigungen $\tan \delta$ der Wichtungsfaktor α_V positiv ist.

Für den reinen Reibungsboden ist das geringe Sicherheitsniveau auch bei geringen Lastneigungen $\tan \delta$ mit den Wichtungsfaktoren α_ϕ der nahezu bei -1 liegt und den relativ geringen Werten α_V und α_H zu erklären. (siehe Bild 46)

b) Sicherheiten auf die Scherparameter bezogen $n_r = 1,25$ $n_c = 2$

Nach Bild 45 erhält man für die Sicherheiten nach DIN 4017 bezogen auf die Scherparameter ein ausreichendes Sicherheitsniveau bei Lastneigungen $0 \leq \tan \delta \leq 0,1$, mit Ausnahme des reinen Reibungsbodens.

4. Staumauern

4.1. Rechenannahmen

4.1.1 Festlegung der Basisvariablen

Bei Staumauern kann im Gegensatz zu dem Beispiel des schräg und außermittig belasteten Stützenfundamentes davon ausgegangen werden, daß die relativ geringen Streuungen der geometrischen Abmessungen (vergl. Bild 47) und der Wichte des Betons die Verkehrslast V eine deterministische Größe ist.

In ersten Voruntersuchungen wurde entsprechend dem Beispiel des Stützenfundaments die Bemessungslast H^* aus Wasserdruck so bestimmt, daß der Wert der Grenzzustandsfunktion für die Bemessungswerte der Widerstände und Einwirkungen zu Null wird. Dies ergab jedoch, durch Rückrechnung zulässige charakteristische Wasserstände von nur 50 bis 60 % der Mauerhöhe. Diese Vorgehensweise lieferte keine repräsentativen Berechnungsbeispiele.

Andererseits ist die Horizontallast H für sich keine Zufallsvariable sondern eine Funktion des zufällig variierenden Wasserstandes h_w . Da durch wasserbauliche Maßnahmen der Wasserstand nie größer sein kann als die Höhe der Staumauer h_M , wurde für die Verteilung des Wasserstandes h_w eine bei $h_w = h_M$ rechtsseitig begrenzte logarithmische Normalverteilung angenommen (siehe Bild 47). Die Zufallsvariable beträgt dann $h_w = h_M - X$.

X ist eine logarithmisch normal verteilte Variable mit dem Mittelwert \bar{x} = dem Freibord fr und der Standardabweichung $s(x)$.

Die Größe des Freibordmaßes fr ist von der Mauerhöhe h_M unabhängig. Sie wird so festgelegt, daß durch mögliche Stauspiegelschwankungen und Wellenschlag eine Überspülung der Wand in der Regel ausgeschlossen ist. Für die Berechnungen wurde $fr = \text{const.} = 1,5 \text{ m}$ angenommen. Die charakteristische Größe des Wasserstandes h_w ergibt sich demnach zu

$$h_{w,k} = h_M - fr$$

Um ein Vergleichskriterium für die jetzige Bemessungsvorschrift nach DIN 4017 und dem neuen Vorschlag nach GruSibau (1981) zu erreichen, wurde für eine vorgegebene Staumauerbreite b_M die Mauerhöhe h_M errechnet, bei der nach der jeweiligen Bemessungsvorschrift die Grenzzustandsgleichung für Grundbruch erfüllt ist.

4.1.2. Prioriannahmen der Teilsicherheitsbeiwerte

Die Teilsicherheitsbeiwerte der Scherfestigkeit $\gamma_{0\phi} = 1,25$ und $\gamma_{0c} = 1,8$, die sich bei mittig sowie bei schräg und außermittig belasteten Fundamenten bewährt hatten, wurden beibehalten.

Erste Versuche, die bei den Stützenfundamenten vorgeschlagenen Teilsicherheitsbeiwerte γ_{0V} und γ_{0H} für das Beispiel Staumauer zu übernehmen, lieferten keine befriedigenden Ergebnisse. Bei der sinnvollen stochastischen Modellierung des Wasserstands (vergl. 4.1.1) ist es nicht mehr sinnvoll, einen multiplikativen Teilsicherheitsbeiwert γ_{0H} bzw. γ_{hw} festzulegen. Er würde eine Unsicherheit in der Wichte des Wassers beschreiben, die nicht vorliegt. Es wurde deshalb ein additives Sicherheitselement $\delta_{hw} = 2,5 \cdot s(h_w)$ vorgeschlagen. Es ist dadurch begründet, daß bei zunehmenden Abmessungen (b_M und h_M) der Staumauer der Einfluß des Wasserstands auf das Sicherheitsniveau abnimmt, da das Verhältnis Freibord zur Mauerhöhe (fr/h_M) kleiner wird (siehe α_{hw} - Werte auf Bild 52 b und 53 b).

Für die vertikale Eigengewichtslast wurde $\gamma_{0V} = 1.3$ beibehalten. Mit dieser Festlegung konnte jedoch für Böden mit Reibungswinkel ϕ größer 20° kein ausreichendes Sicherheitsniveau erzielt werden (vergl. Bild 48). Um die Teilsicherheitsbeiwerte für die Scherfestigkeiten nicht verändern zu müssen, wurde in Anlehnung des Vorschlags für Stützenfundamente bei größer werdendem Einfluß der Horizontalkraft hier also von h_w (vergl. α_{hw} im Bild 54 b und 55 b) der Versuch unternommen, alternativ $\gamma_{0V} = 0,9$ (entsprechend GruSiBau bei günstig wirkenden Eigengewichtslasten) vorzuschlagen. Mit diesem Teilsicherheitsbeiwert konnte das Sicherheitsniveau im Bereich für Böden mit größerem Reibungswinkel ausreichend angehoben werden (vergl. Bild 48).

Die folgende Parameterstudie für das Beispiel der Staumauer wurde deshalb mit den Teilsicherheitsbeiwerten der Scherfestigkeit

$\gamma_{0\phi} = 1,25$ und $\gamma_{0c} = 1,8$
und für die Einwirkungen

a) $\gamma_{0V} = 1,3$ und $h_w = 2,5 \cdot s(h_w)$

b) $\gamma_{0V} = 0,9$ und $h_w = 2,5 \cdot s(h_w)$

durchgeführt.

4.2. Parameterstudie

Die Geometrie der idealisierten Staumauer ist in Bild 47 dargestellt. Die Rechenannahmen für das Referenzbeispiel sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

4.2.1. Einfluß der Variation der Bodenkennwerte

Bei Anwendung der vorgeschlagenen Kombination der Teilsicherheitsbeiwerte wird nur bei den reinen Reibungsböden und einem Variationskoeffizienten $V_{\phi} = 10 \%$ das Sicherheitsniveau knapp unterschritten (vgl. Bilder 49 a, b)

Bei einer Erhöhung des Variationskoeffizienten auf $V_c = 30 \%$ erhält man bei Böden mit den Scherfestigkeitsparametern c größer 30 kN/m^2 und ϕ kleiner 20° kein ausreichendes Sicherheitsniveau (vergl. Bilder 50 a, b)

4.2.2 Einfluß der Variation des Wasserstandes

Bei Reduzierung der Standardabweichung des Wasserstandes h_w auf $0,25 \text{ m}$ ergibt sich für Böden mit einem Reibungswinkel größer 20° und Kohäsion c kleiner 30 kN/m^2 zum Teil eine zu unwirtschaftliche Bemessung, da der Sicherheitsindex auf Werte β größer $5,2$ ansteigt (vergl. Bild 51).

4.2.3 Einfluß der Geometrie

Da das Freibordmaß fr sinnvollerweise unabhängig von den Staumauerabmessungen angenommen wurde, spielt die Variation des Wasserstandes h_w bei kleinen Staumauerabmessungen eine größere Rolle als bei großen Staumauerabmessungen. (Zunahme der α_{hw} Werte mit geringen Staumauerabmessungen, vgl. die Bilder 52 b - 57 b). Für kleine Staumauerabmessungen (hier $b_M = 5 \text{ m}$) konnte für den reinen Kohäsionsboden daher mit der gewählten Kombination von Teilsicherheitsbeiwerten kein ausreichendes Sicherheitsniveau erzielt werden. (vgl. Bild 52 a und 53 a). Erst ab Reibungswinkel ϕ größer 20° stieg das Sicherheitsniveau auf Werte β größer 4 unter Verwendung des Teilsicherheitsbeiwertes ($\gamma_{0V} = 0,9$).

4.3. Vorschlag zur Festlegung von Teilsicherheitsbeiwerten

Wie zuvor erläutert, ist es schwierig konstante Teilsicherheitsbeiwerte festzulegen, da der Einfluß des Wasserstandes h_w je nach geometrischen Abmessungen der Staumauer unterschiedlich ist.

Ebenso läßt sich wie bereits in 3.3 gesagt mit den Teilsicherheitsbeiwerten $\gamma_{0\phi} = 1,25$ bzw. $\gamma_{0c} = 1,8$ für reine Reibungsböden bzw. reine Kohäsionsböden das geforderte Sicherheitsniveau nicht immer einhalten. Dies gilt insbesondere bei zunehmenden Variationskoeffizienten V_c .

4.4. Vergleich mit der bestehenden DIN 4017

Für beide Sicherheitsdefinitionen nach DIN 4017 ergibt sich ein sehr inhomogenes und zum Teil nicht ausreichendes Sicherheitsniveau in Abhängigkeit von der Scherfestigkeit des Bodens sowie der Staumauerabmessung. Für Böden mit Scherparametern $\phi = 20^\circ$ und Kohäsion $c = 30 \text{ kN/m}^2$ ergeben sich je nach Staumauerabmessung Werte für den Sicherheitsindex von $5 \leq \beta \leq 8$, um bei einem reinen Reibungsboden Werte zwischen $1 \leq \beta \leq 4$ anzunehmen (vergl. Bilder 52 a - 57 a).

a) Sicherheit auf die Last bezogen $\eta_p = 2$

Mit dieser Sicherheitsdefinition läßt sich bei geringen Staumauerabmessungen für $\phi \geq 30^\circ$ kein ausreichendes Sicherheitsniveau mehr erzielen.

b) Sicherheit auf die Scherparameter bezogen $\eta_r = 1,25$, $\eta_c = 2,0$

Diese Sicherheitsdefinition ergibt im allgemeinen ein zu hohes Sicherheitsniveau. Nur beim reinen Reibungsboden erhält man ein zu geringes Sicherheitsniveau.

5. Beispielrechnung für eine Bemessung mit Teilsicherheitsbeiwerten

Um die Vorgehensweise einer Bemessung eines Fundaments mit gegebener Geometrie bei vorgegebener Neigung der charakteristischen Last nach dem neuen Bemessungskonzept vorzustellen und mit dem bisherigen Bemessungsergebnissen nach DIN 4017 zu vergleichen werden drei Beispielrechnungen in den Tabellen 3, 4 und 5 exemplarisch gezeigt. Dabei wurde von den bereits im 5. Kapitel des Hauptberichts zusammengestellten Rechenannahmen ausgegangen.

Die Berechnung der Grundbruchlast muß bei schräg belasteten Fundamenten wegen der Neigungsbeiwerte bis auf die reinen Reibungsböden iterativ erfolgen. In den Tabellen ist deshalb stets ein Schätzwert der zulässigen Vertikallast angegeben und in der letzten Spalte die daraus errechnete zulässige Last V .

Bei den überwiegend kohäsiven Böden (vergl. Tabelle 3) erhält man nach dem neuen Bemessungskonzept eine zulässige Vertikallast von $V_{zul} = 768$ kN, da der kleinere der beiden Werte für die beiden Kombinationen der Teilsicherheitsbeiwerte maßgebend ist. Nach dem bisherigen Bemessungskonzept nach DIN 4017 ergibt sich eine zulässige Vertikallast $V_{zul} = 603,8$ kN, wenn die Sicherheiten auf die Lasten bezogen werden und $V_{zul} = 657,1$ kN, wenn die Sicherheiten auf die Scherparameter bezogen sind. Nach dem neuen Bemessungsvorschlag ergibt sich somit eine um 27,3 % bzw. 16,9 % höhere zulässige Vertikallast.

In der Tabelle 4 werden für gemischt körnige Böden bei einer relativ stark geneigten Resultierenden ($\tan \delta = 0,15$) die Bemessungskonzepte verglichen. Es ist ersichtlich, daß hier die Vertikallast V haltend wirkt. Um ein ausreichendes Sicherheitsniveau zu erhalten, sind die Teilsicherheitswerte $\gamma_{OV} = 0,8$ und $\gamma_{OH} = 1,5$ maßgebend. Dadurch wird die zulässige Vertikallast auf $V_{zul} = 377$ kN beschränkt. Dies entspricht einer Reduzierung um 28 % gegenüber der jetzt gültigen Bemessungsvorschrift nach DIN 4017.

Der Vergleich der Bemessungsvorschriften für reine Reibungsböden ist in Tabelle 5 dargestellt. Es ergibt sich für das neue Bemessungskonzept eine um 18,3 % geringere zulässige Last von $V_{zul} = 3631$ kN.

Die zulässigen Lasten nach der gültigen Norm DIN 4017 und dem neuen Vorschlag sind in den Bildern 58 bis 63 für die Lastneigungen $\tan \delta = 0,05, \dots, 0,25$ einander gegenübergestellt. Hierbei sind die jeweils maßgebenden Werte, die sich aus den beiden Kombinationen von Teilsicherheitsbeiwerten errechnen, durch eine dickere Strichstärke hervorgehoben. Es ist ersichtlich, daß bei kleinen Lastneigungen $\tan \delta \leq 0,10$ die zulässige Last bei überwiegend kohäsiven Böden nach dem neuen Bemessungsvorschlag größer ist, bei Reibungsböden dagegen kleiner. Bei ansteigender Neigung der Resultierenden \bar{R} ist die derzeit gültige Norm zu unsicher. Nach dem neuen Vorschlag ergeben sich dann mit den Teilsicherheitsbeiwerten $\gamma_{OV} = 0,8$ und $\gamma_{OH} = 1,8$ geringere zulässige Beanspruchungen.

6. Zusammenfassung

Durchgehend bei allen Berechnungen hat sich gezeigt, daß es bei schräg und außermittig belasteten Fundamenten grundsätzlich erforderlich ist zu unterscheiden, ob die Vertikallast haltend oder abtreibend wirkt. Die quantitativen Ergebnisse beruhen natürlich auf den dem Vergleich zugrunde gelegten vereinbarten Annahmen über die Rechenwerte bzw. charakteristischen Werte der Scherparameter wie Verteilungstyp und Verteilungsparameter. Dadurch sind bei Bewertung der Zahlenergebnisse auch stets diese Rechenannahmen kritisch zu beurteilen.

Es wäre zu überprüfen, ob ein weiterer Ausbau des stochastischen Bodenmodells in Bezug auf Autokorrelationsstruktur (Reitmeier, Alber 1986 und Alber 1987) realistischere Ergebnisse liefern würde.

Auch mit den getroffenen Annahmen für das stochastische Modell konnte aber die grundsätzliche Anwendbarkeit des neuen Sicherheitskonzeptes auf das Problem der Grundbruchberechnung und zur Herleitung von Teilsicherheitsbeiwerten auch für schrägen und außermittigen Lastangriff gezeigt werden.

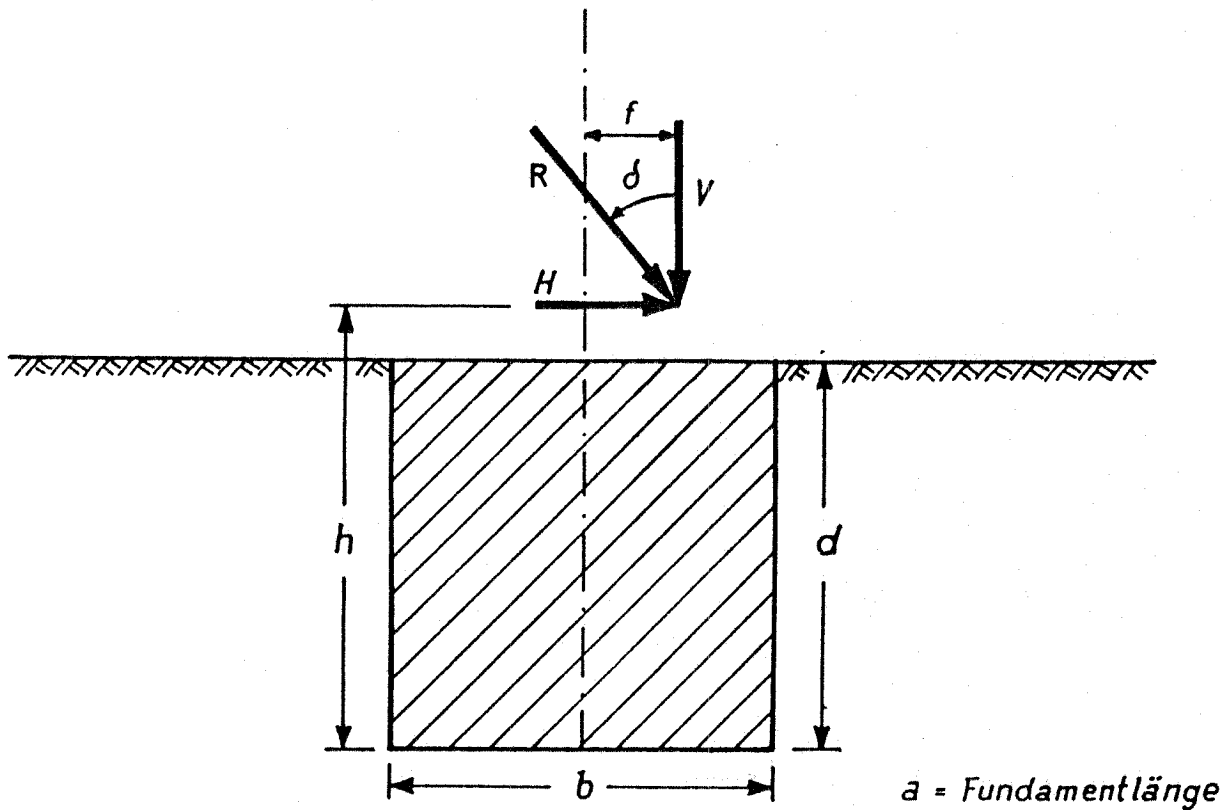
Literaturverzeichnis:

zusätzlich zu den im Hauptbericht zitierten Veröffentlichungen

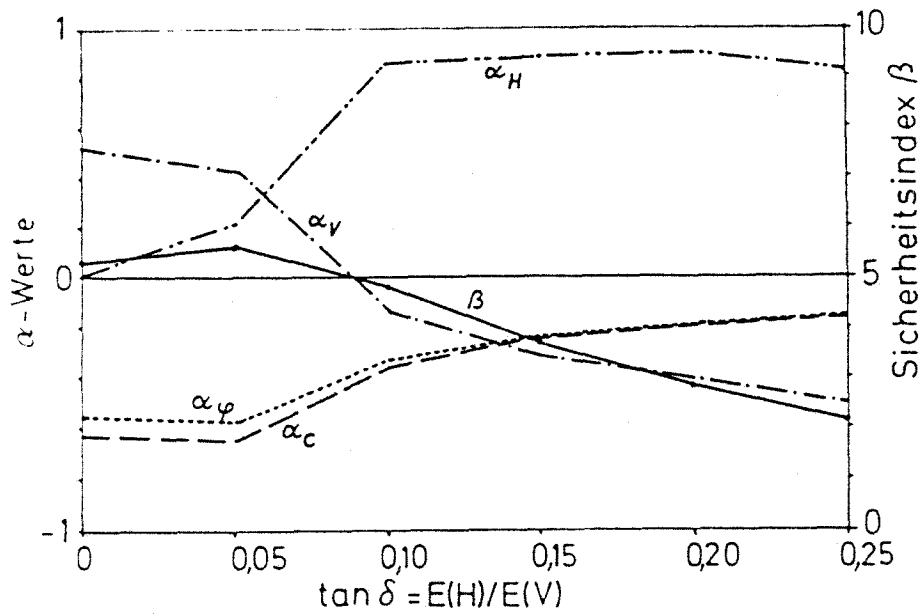
- Alber, D., 1987: Ein stochastisches Bodenmodell für geotechnische Aufgaben, Heft 8, Schriftenreihe Lehrstuhl und Prüfamts für Grundbau, Bodenmechanik und Felsmechanik TU München
- Alber, D., 1986: Beschreibung der räumlichen Streuung von Bodenkennwerten mit Hilfe der Zeitreihenanalyse, Heft 7, Schriftenreihe Lehrstuhl und Prüfamts für Grundbau, Bodenmechanik und Felsmechanik TU München
- Peintinger, B.;
Reitmeier, W. (1983): Effects of statistical uncertainties about the parameters of a stochastic field modelling soil properties in slop stability. Proc. 4th ICASP, S. 1425 - 1435.

Bild 1

Geometrie des schräg und außermittig belasteten
Fundaments



a = Fundamentlänge

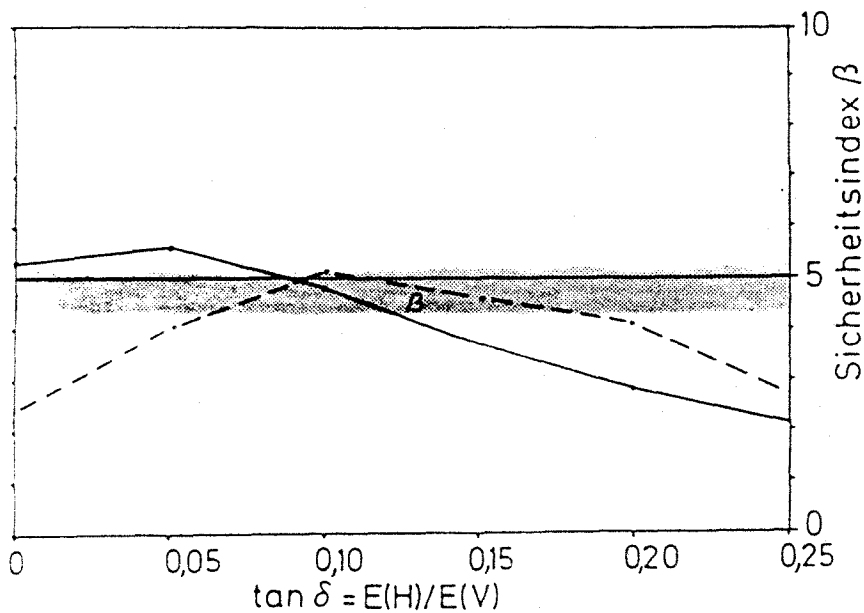


Geometrie:
 $a = 2,0$ $b = 2,0$ $d = 2,0$
 $h = 2,0$ $f = 0,1$

Stochastik:
 $E(\varphi) = 20^\circ$
 $E(c) = 30 \text{ kN/m}^2$
 $V(\varphi) = 7,5 \%$
 $V(c) = 10 \%$
 $V(\text{Lasten}) = 10 \%$

Teilsicherheitsbeiwerte:
 $\gamma_\varphi = 1,25$ $\gamma_c = 1,80$
 $\gamma_V = 1,30$ $\gamma_H = 1,30$

Bild 2



Geometrie:
 $a = 2,0$ $b = 2,0$ $d = 2,0$
 $h = 2,0$ $f = 0,1$

Stochastik:
 $E(\varphi) = 20^\circ$
 $E(c) = 30 \text{ kN/m}^2$
 $V(\varphi) = 7,5 \%$
 $V(c) = 10 \%$
 $V(\text{Lasten}) = 10 \%$

Teilsicherheitsbeiwerte:
 $\gamma_\varphi = 1,25$ $\gamma_c = 1,80$
 — $\gamma_V = 1,30$ $\gamma_H = 1,30$
 -- $\gamma_V = 0,80$ $\gamma_H = 1,50$

Bild 3

BEISPIEL SCHRAEG UND AUSSERMITTIG BELASTETES FUNDAMENT NACH GRUSIBAU

GEOMETRIE: $a = 2.0$ $b = 2.0$ $d = 2.0$ $h = 2.00$ $f = .10$ (M) VAR.-KOEFF.: $\text{PHI} = .075$ $C = .200$ LASTEN = .100

BETA-VERLAUF BEI VORGABE DER TEILSICHERHEITSBEWERTE: $\text{GAMPHI} = 1.25$ $\text{GAMC} = 1.80$ $\text{GAMV} = 1.30$ $\text{GAMH} = 1.30$

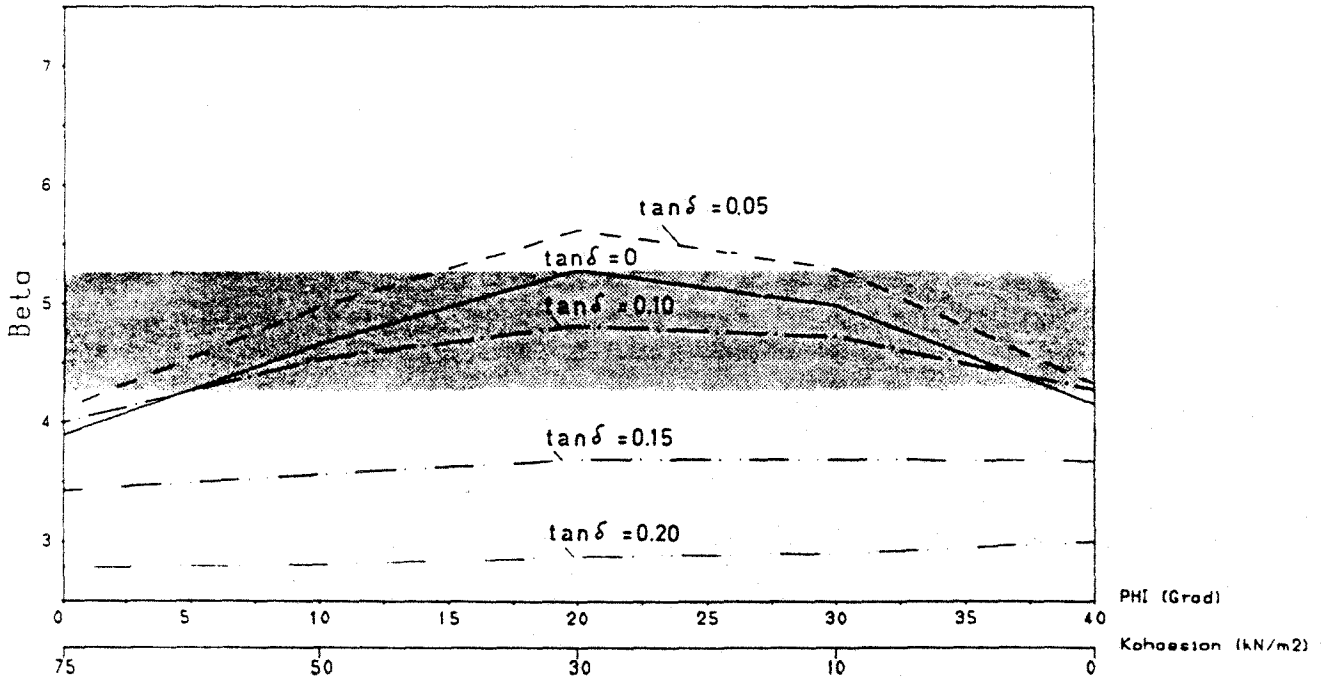


Bild Nr. 4

BEISPIEL SCHRAEG UND AUSSERMITTIG BELASTETES FUNDAMENT NACH GRUSIBAU

GEOMETRIE: $a = 2.0$ $b = 2.0$ $d = 2.0$ $h = 2.00$ $f = .10$ (M) VAR.-KOEFF.: $\text{PHI} = .075$ $C = .200$ LASTEN = .100

BETA-VERLAUF BEI VORGABE DER TEILSICHERHEITSBEWERTE: $\text{GAMPHI} = 1.25$ $\text{GAMC} = 1.80$ $\text{GAMV} = .80$ $\text{GAMH} = 1.50$

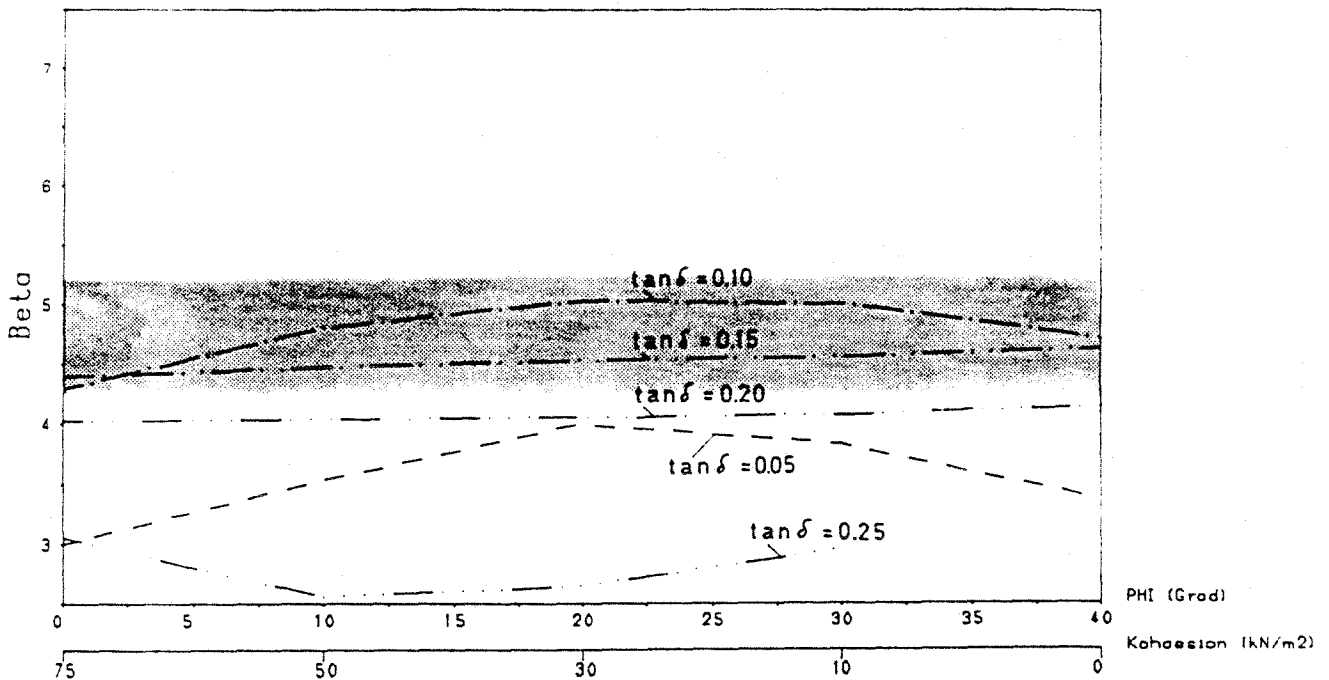
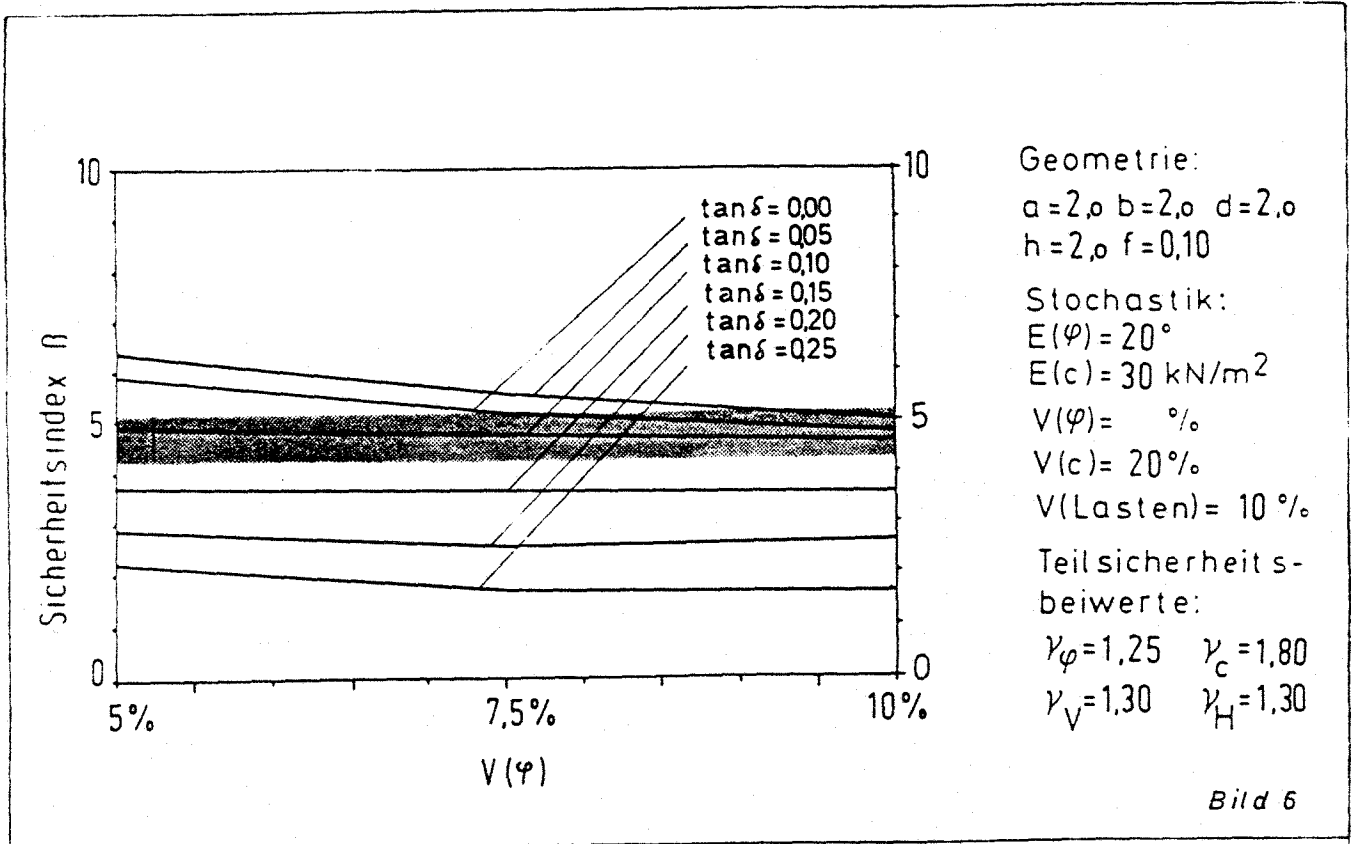
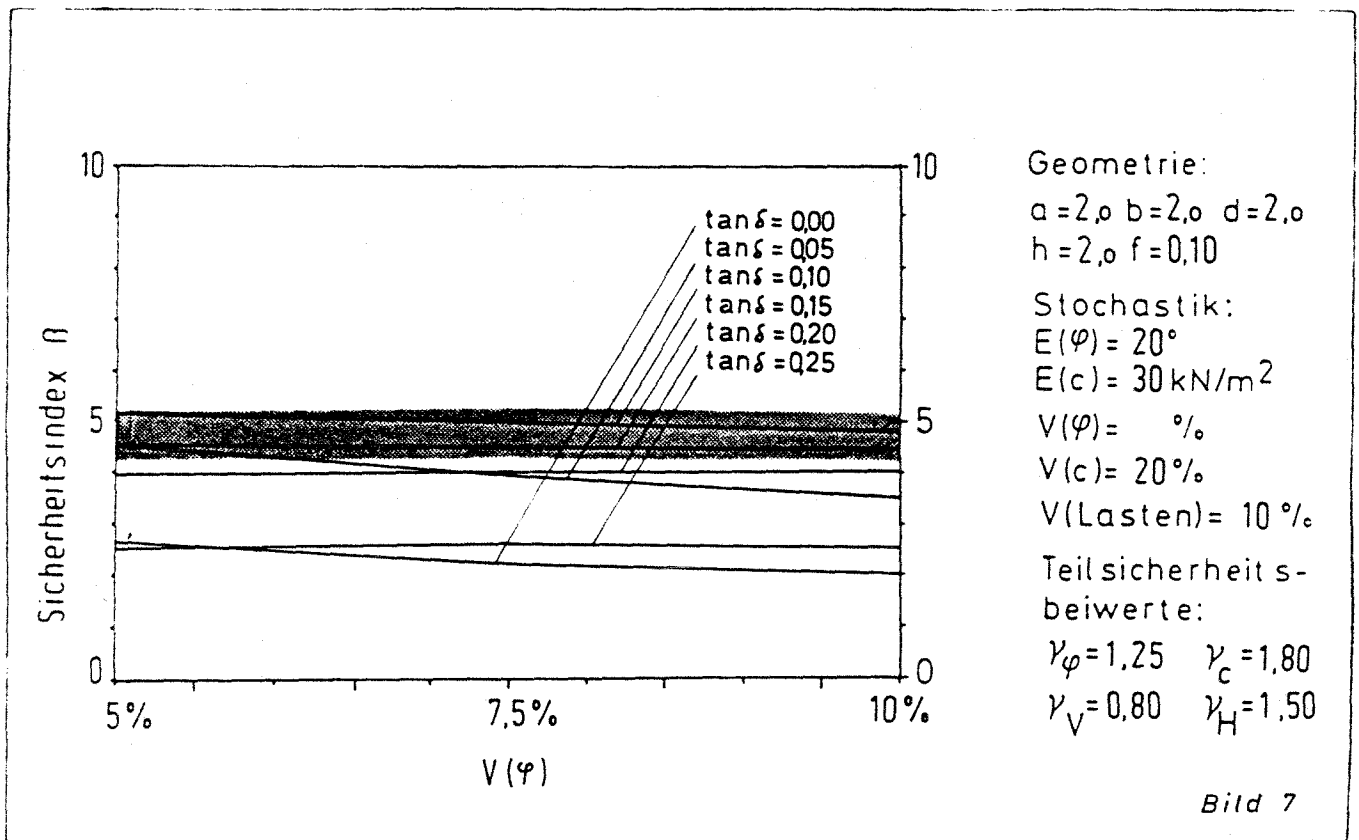


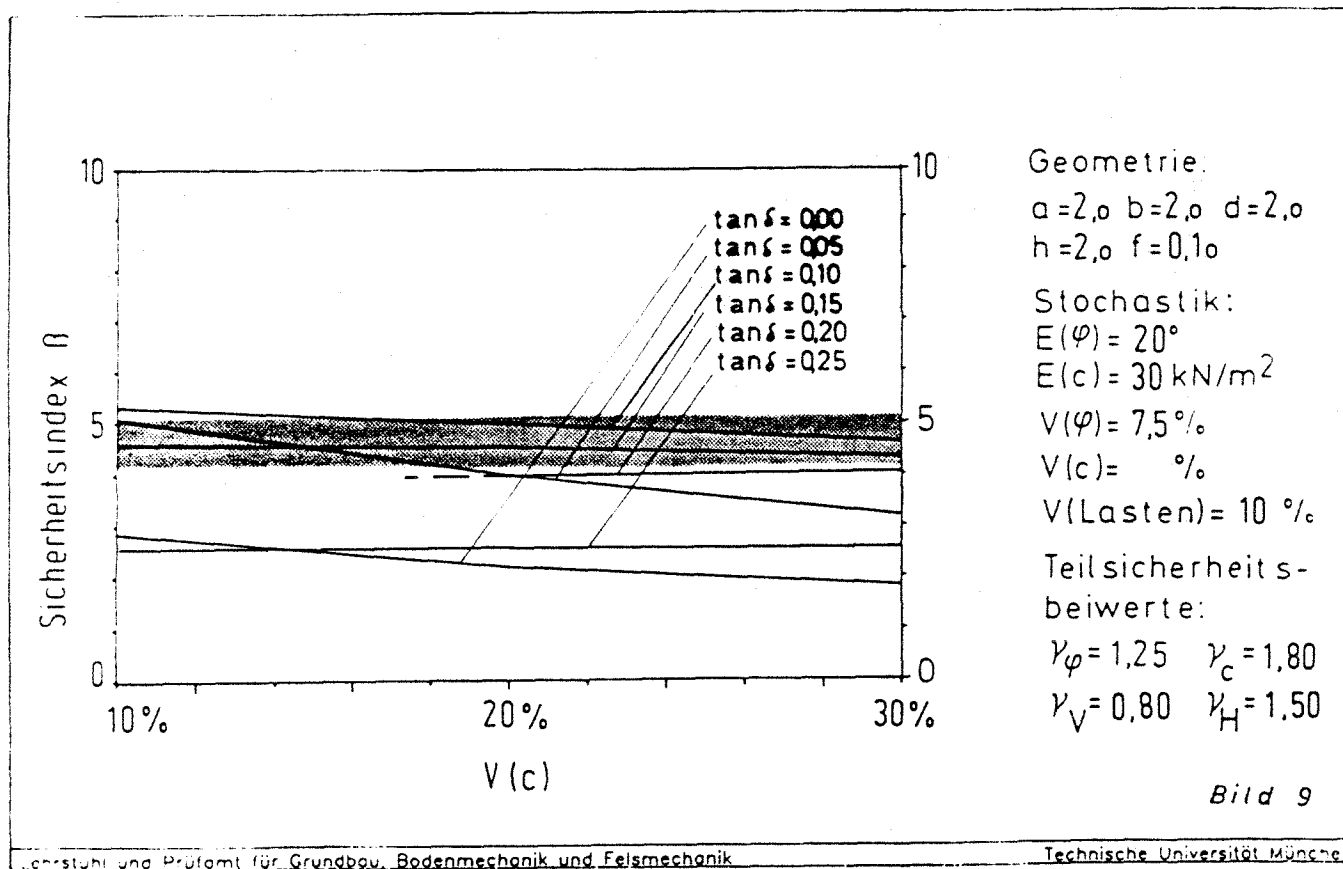
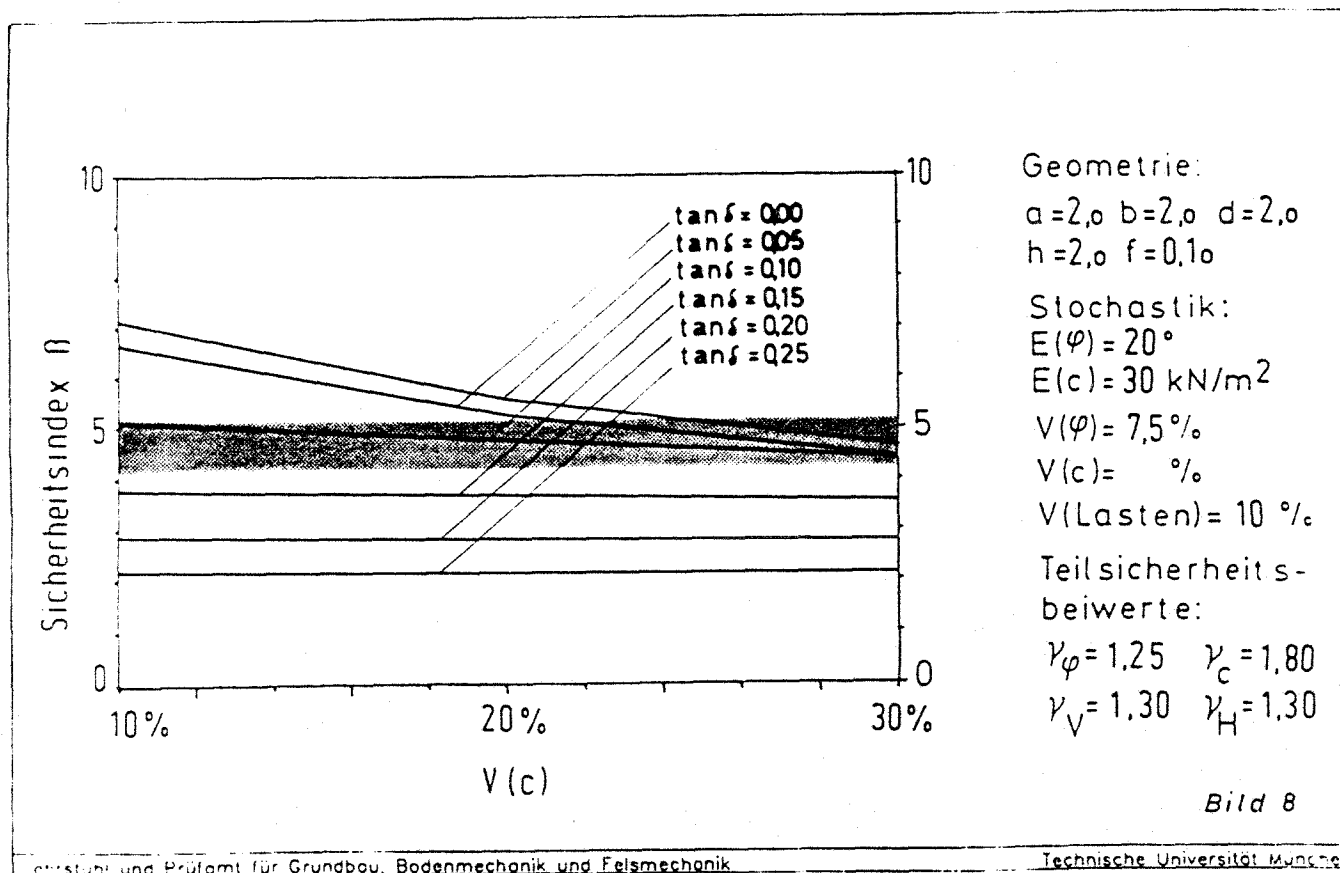
Bild Nr. 5

1

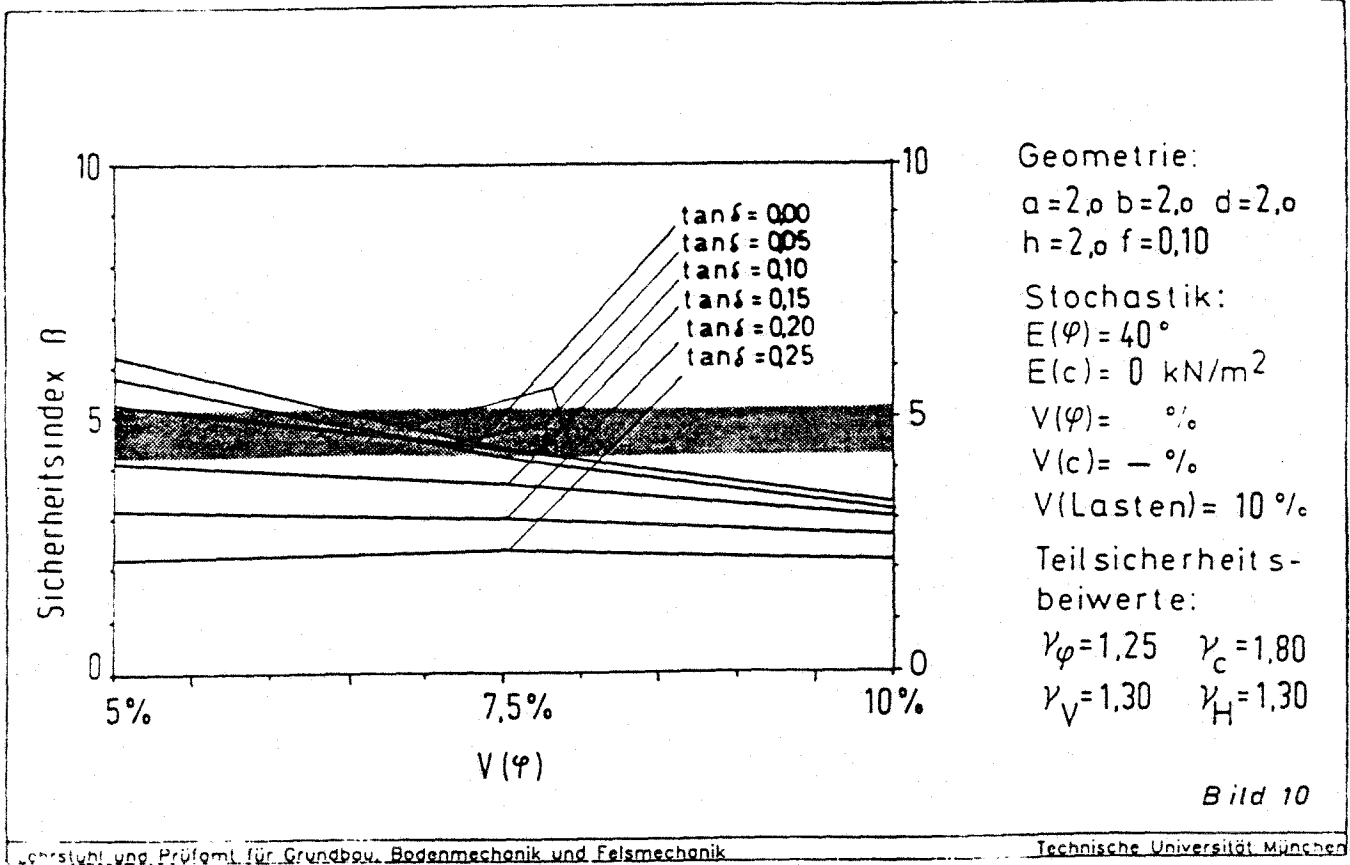


1

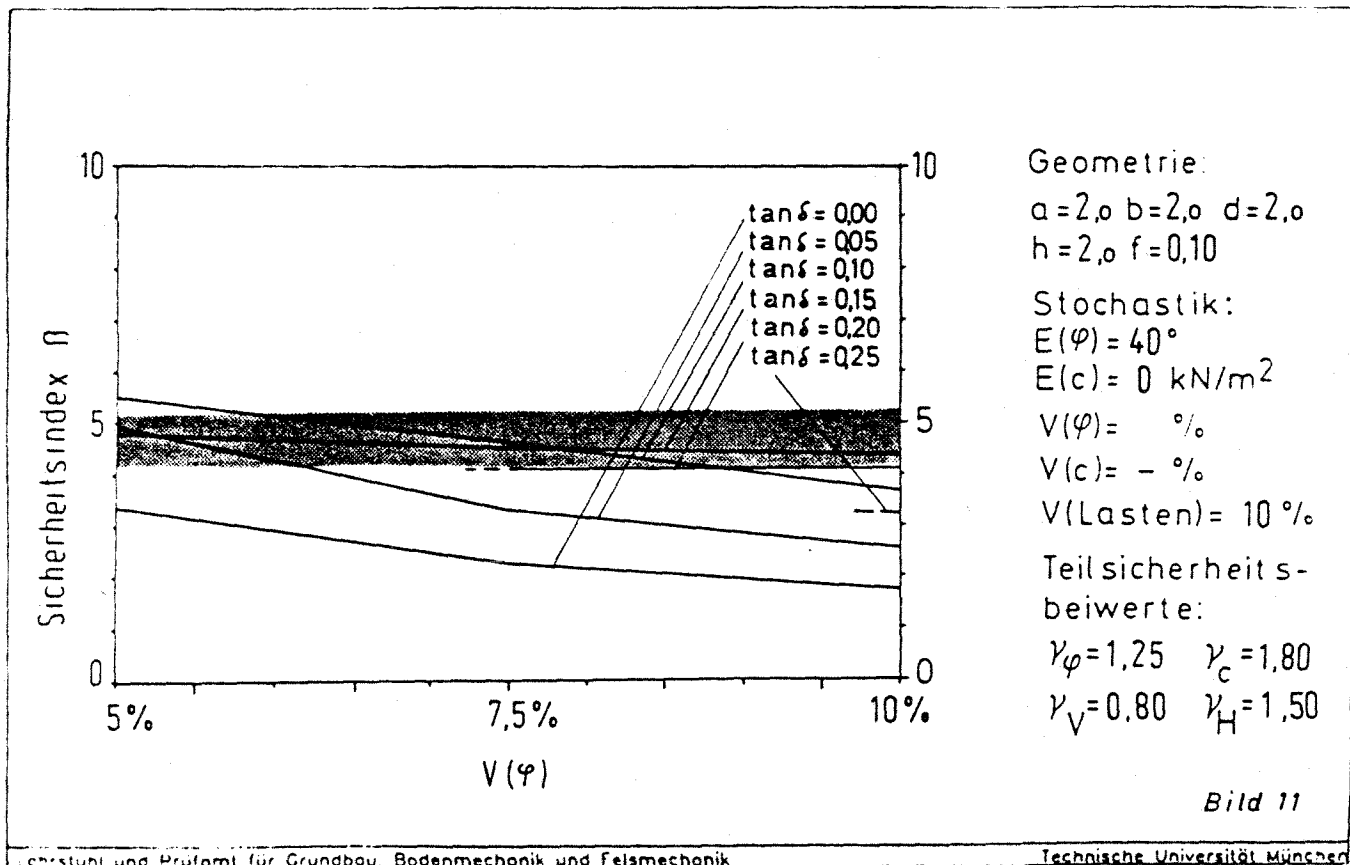


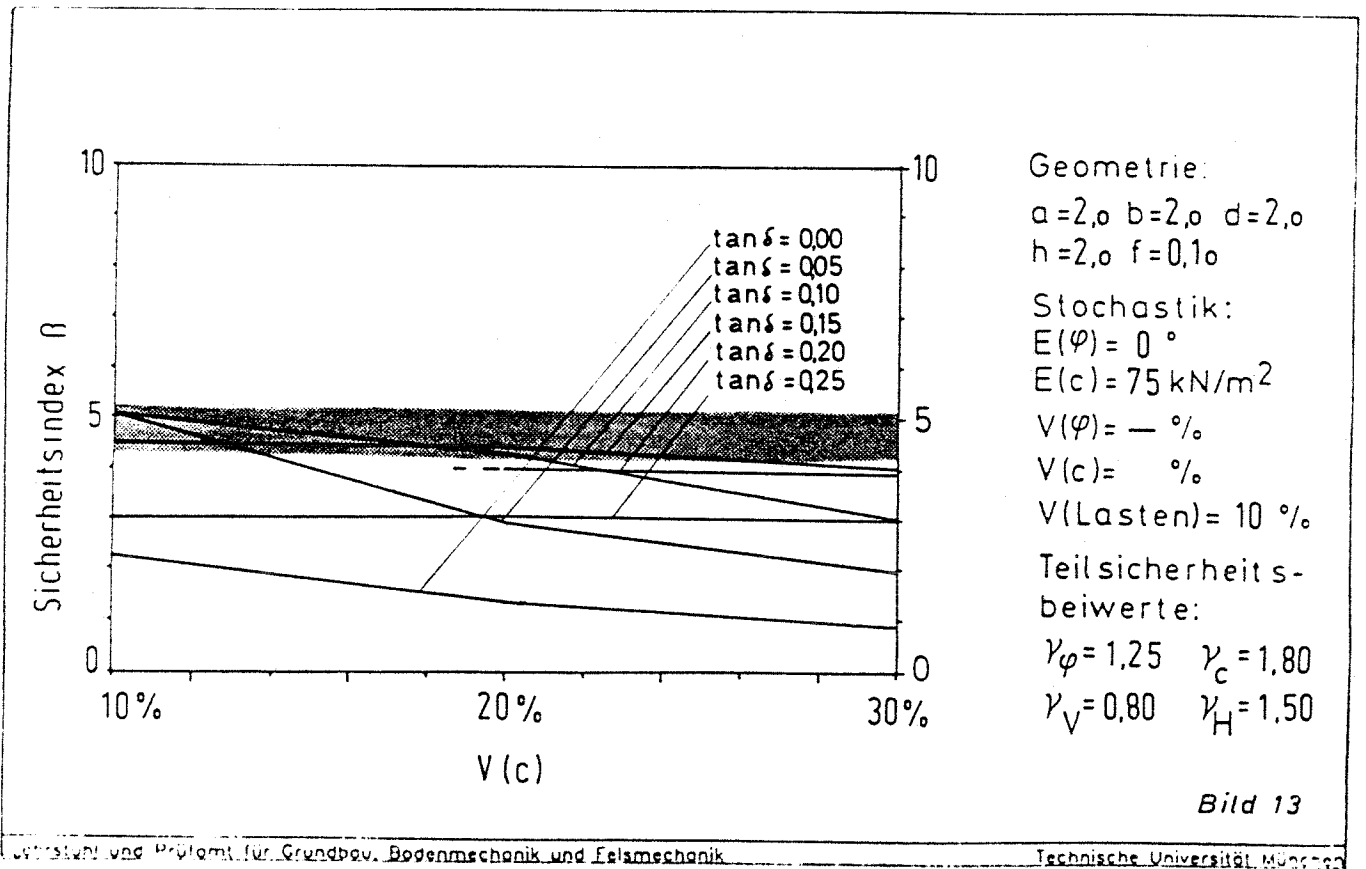
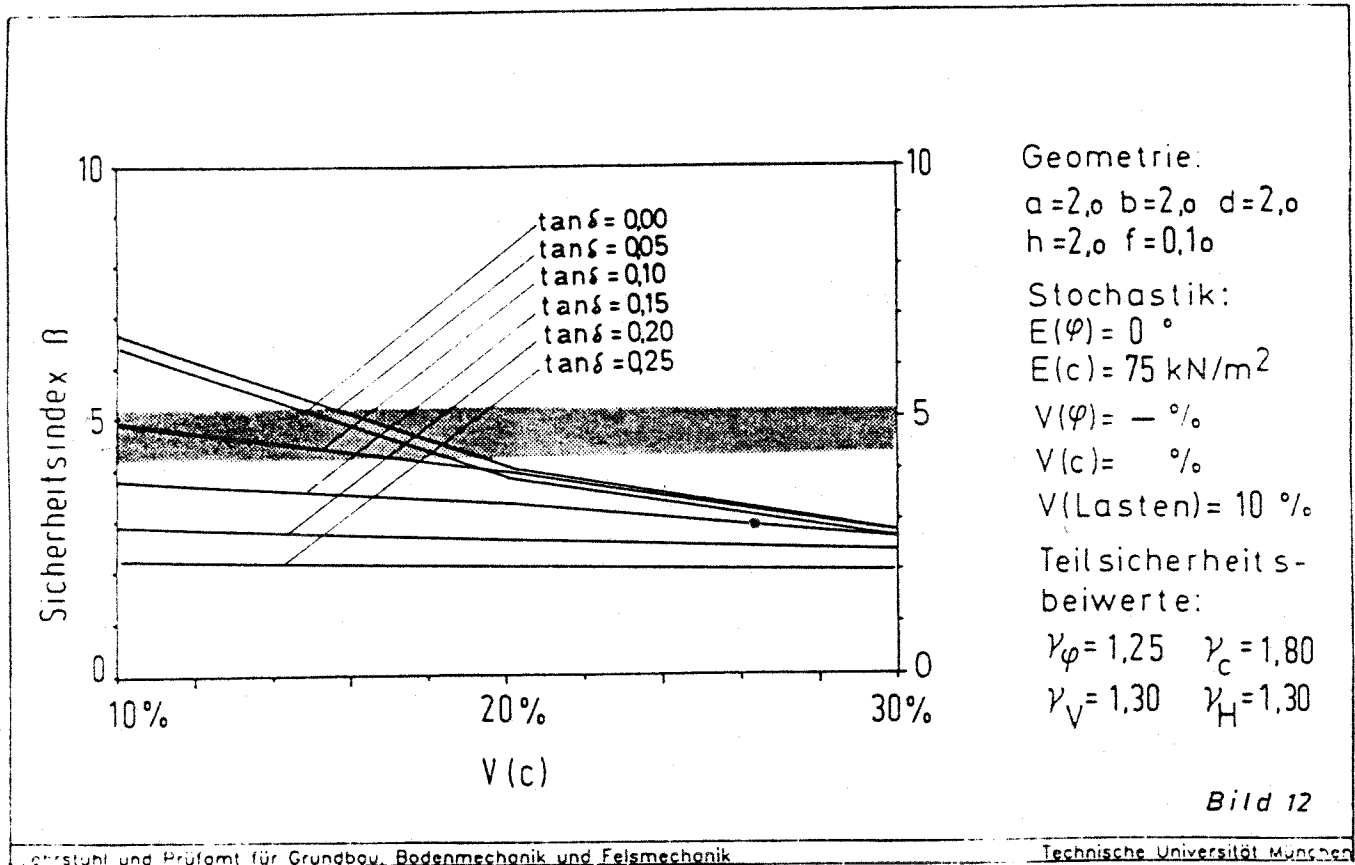


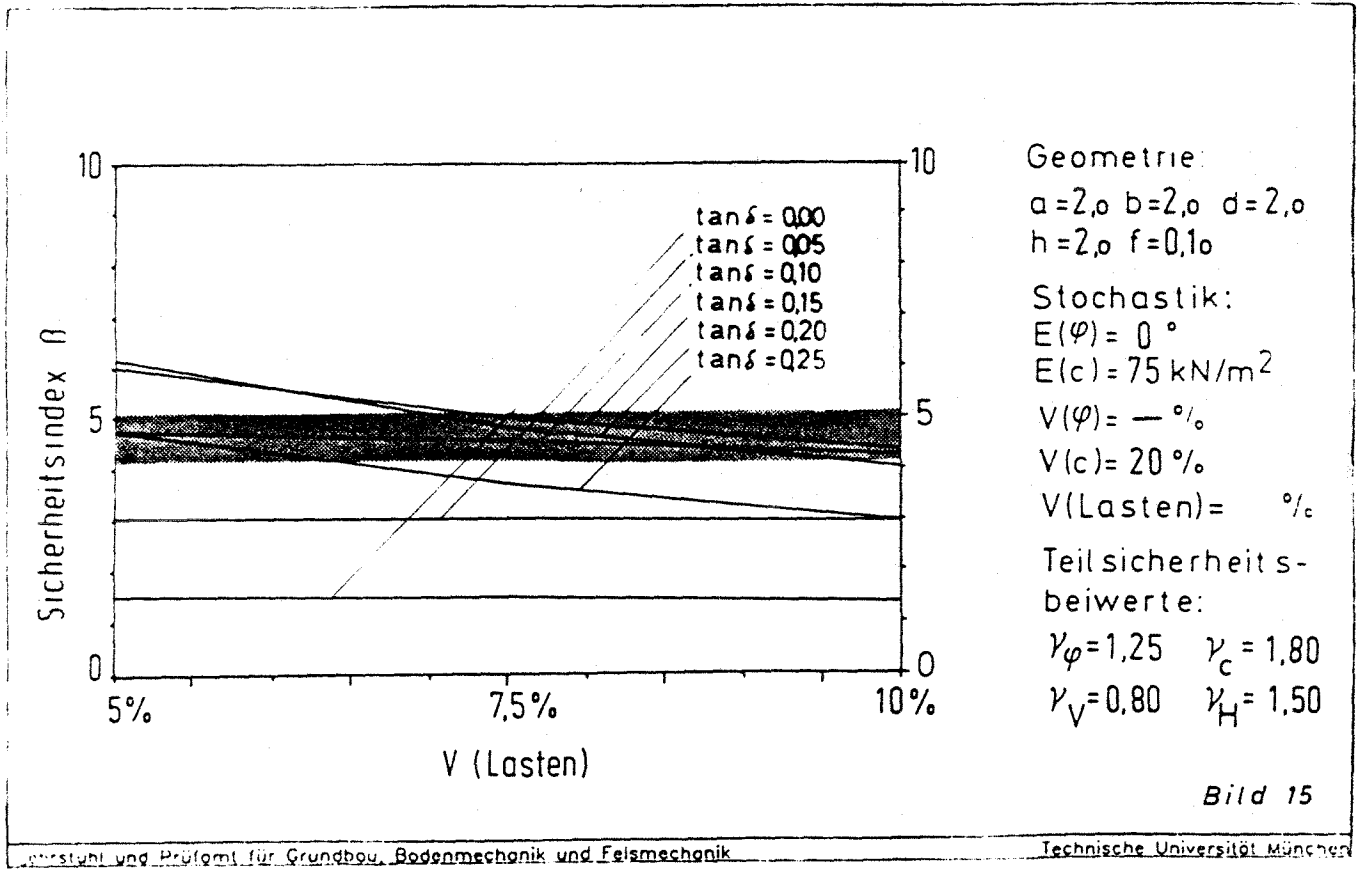
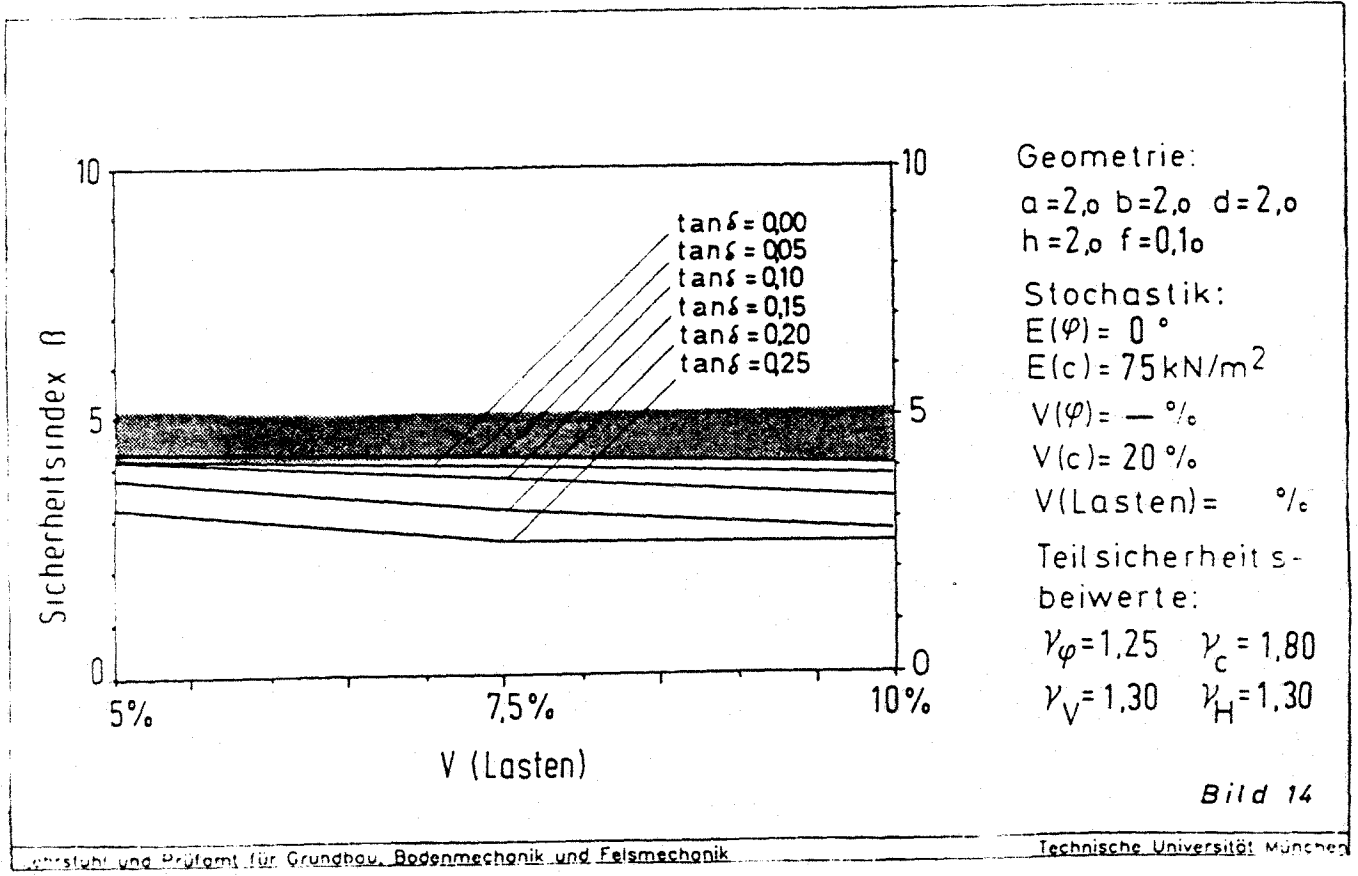
1

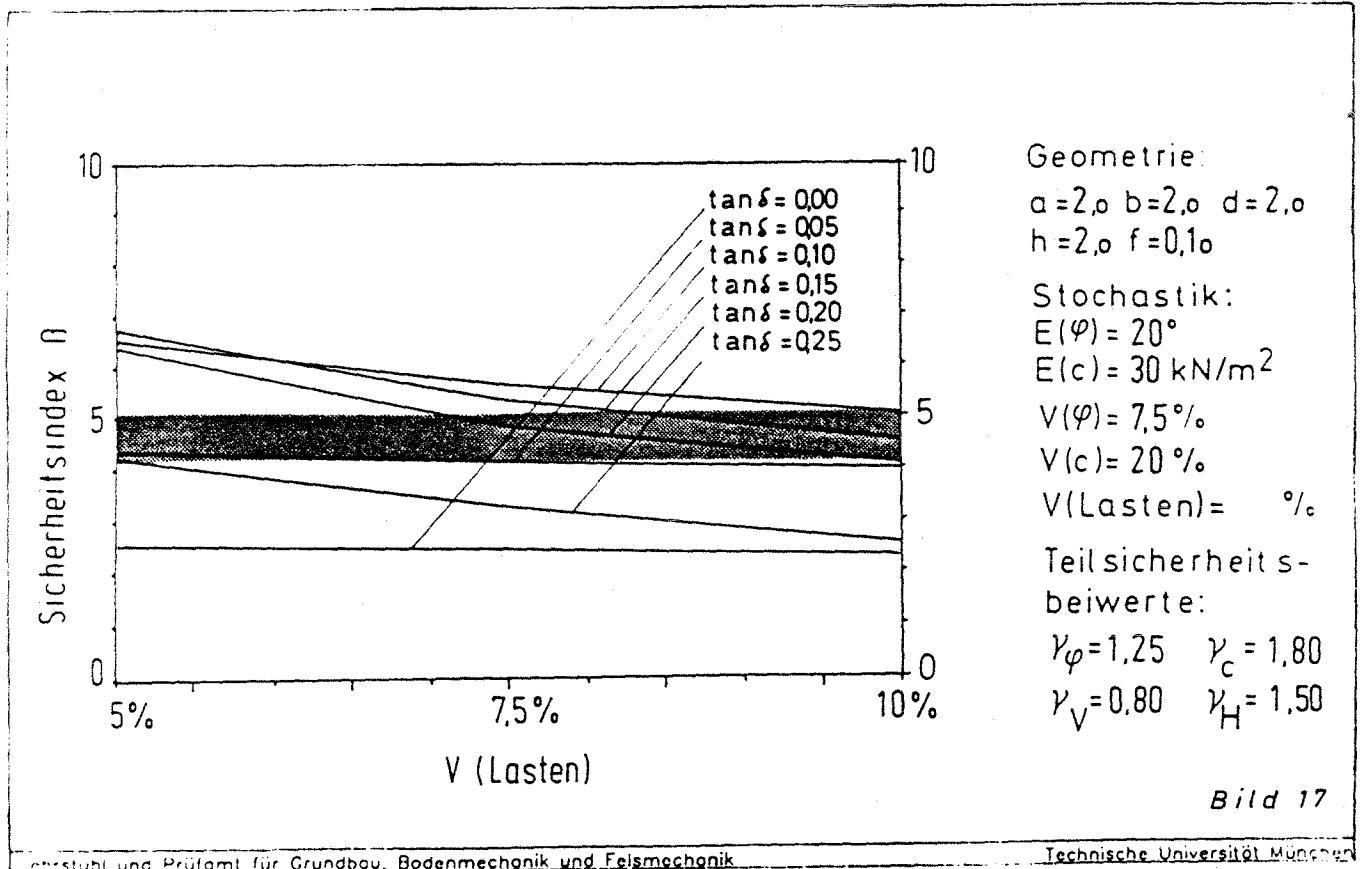
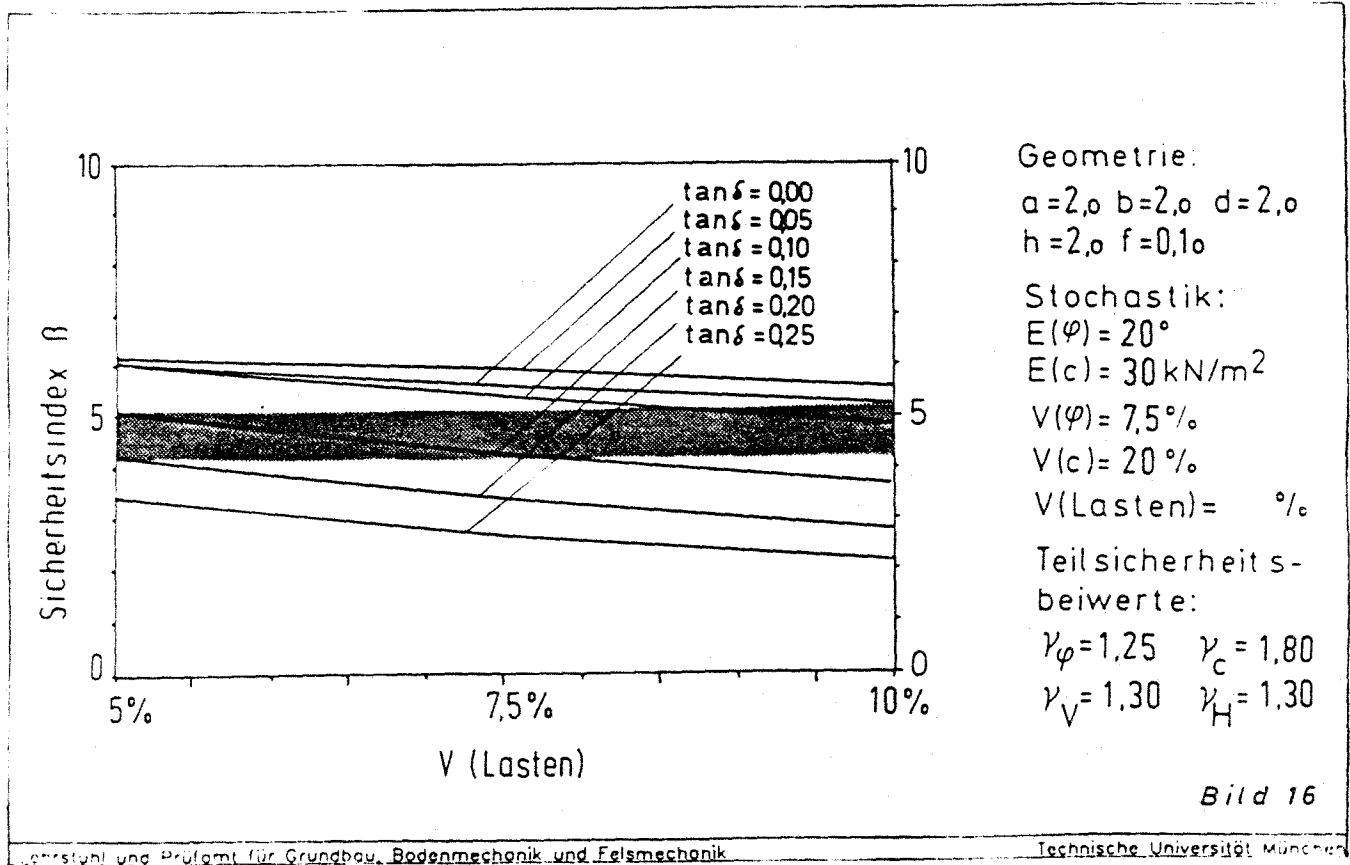


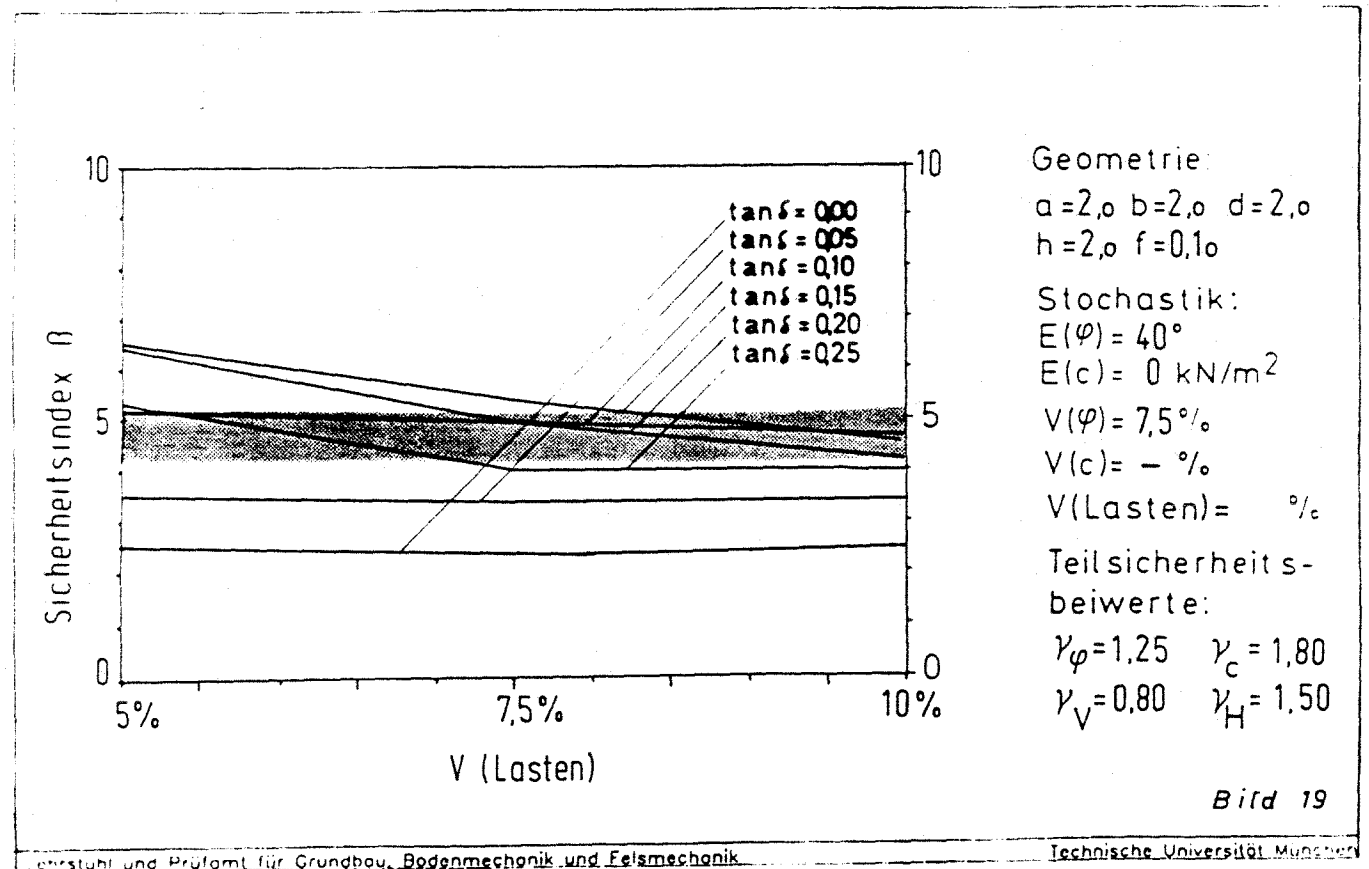
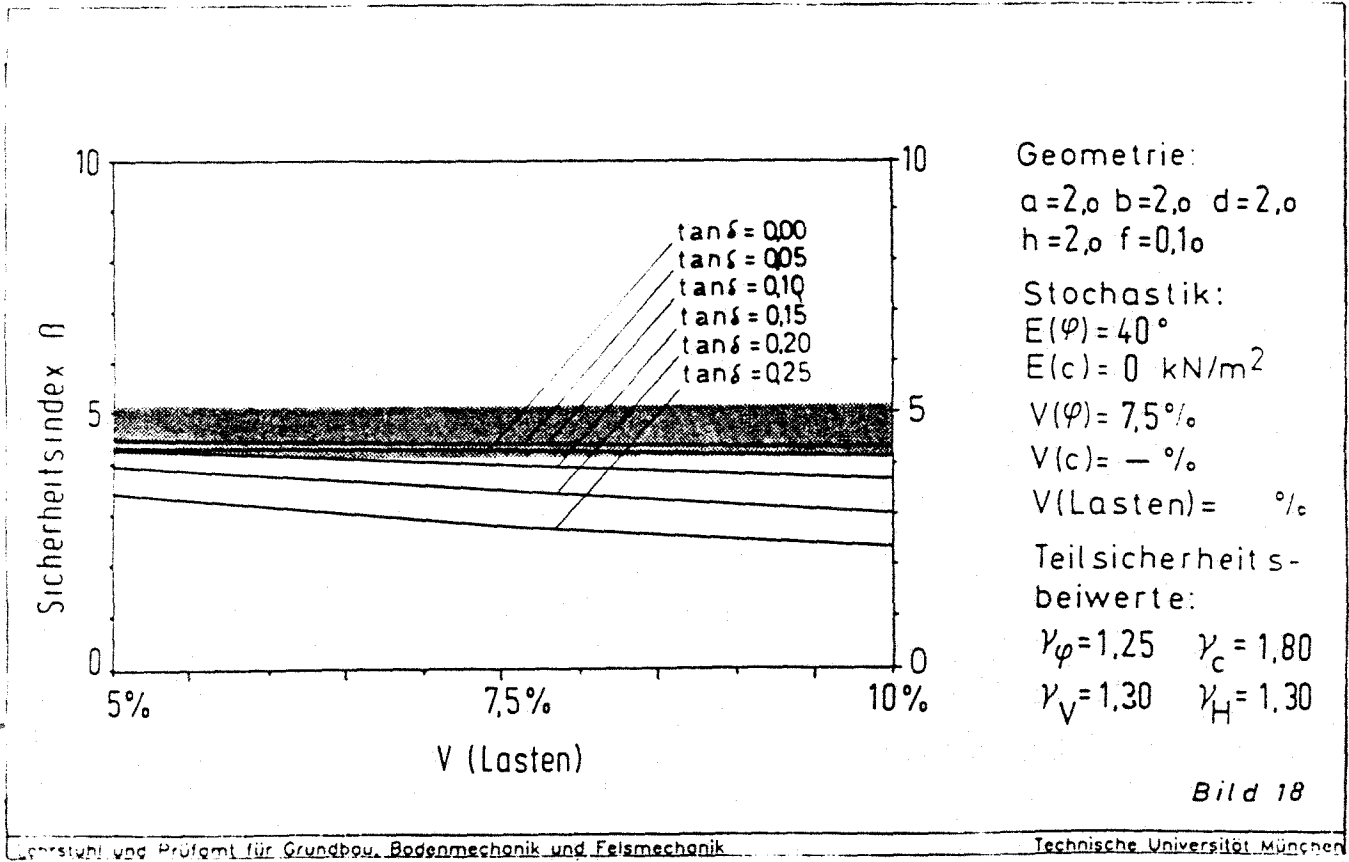
1

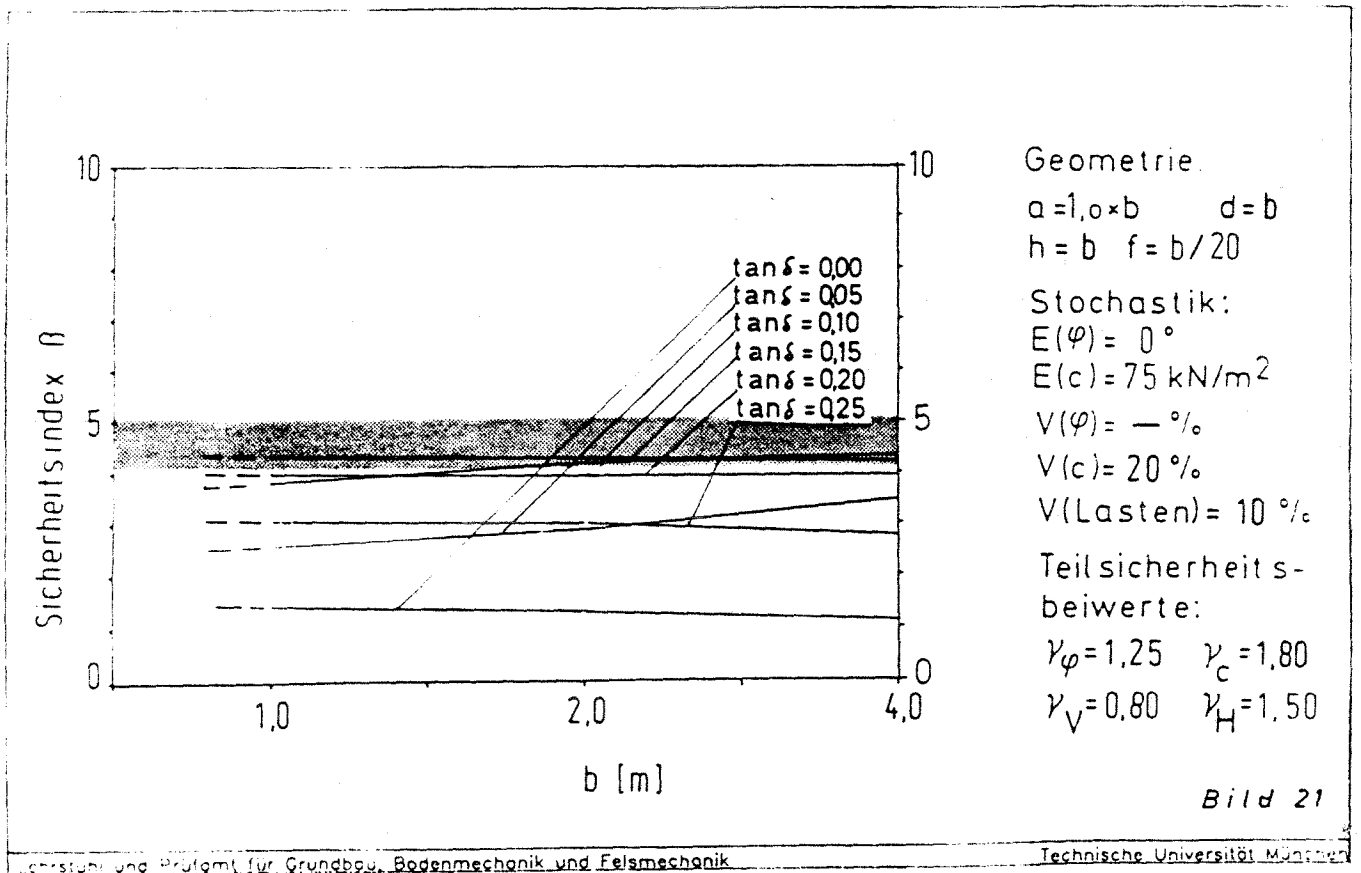
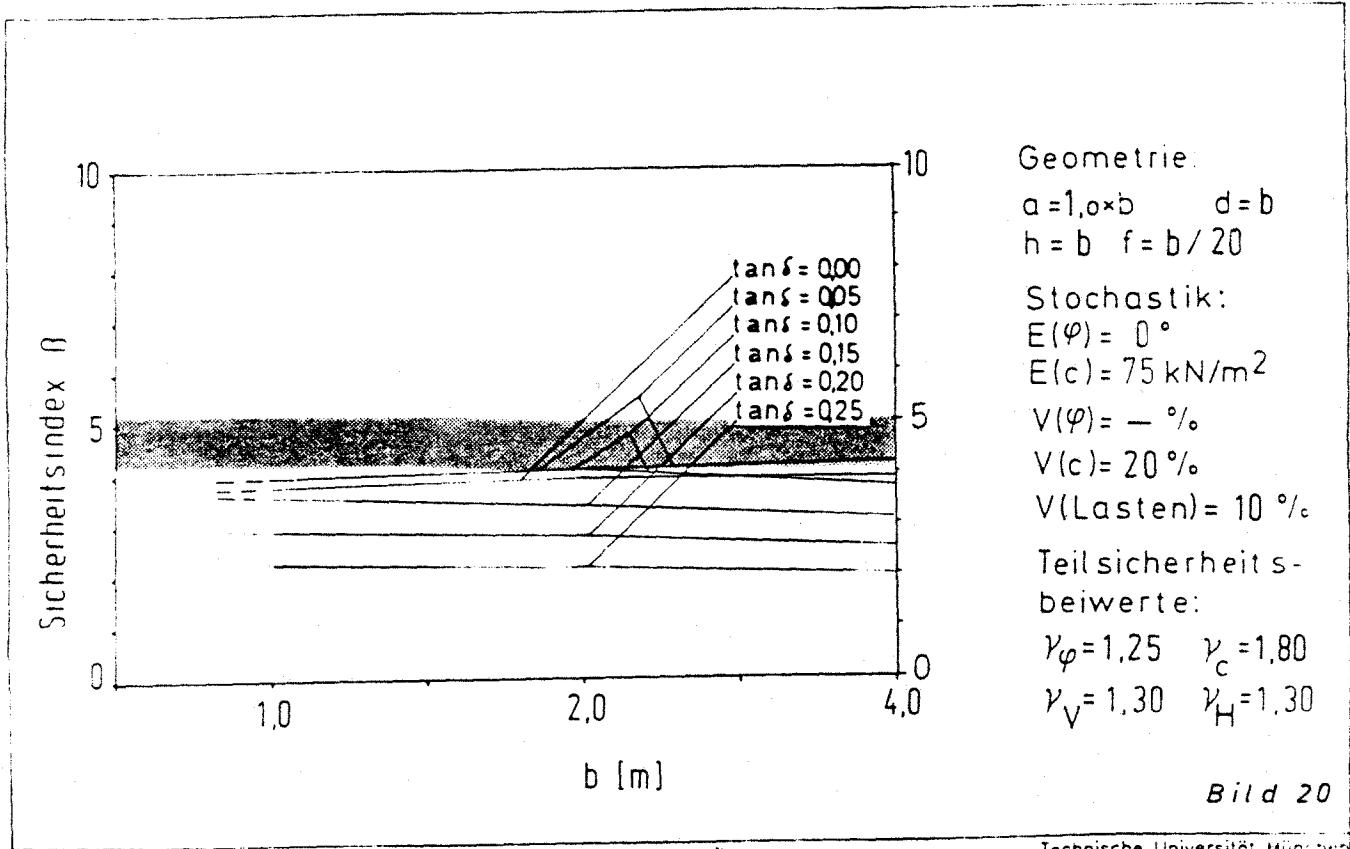


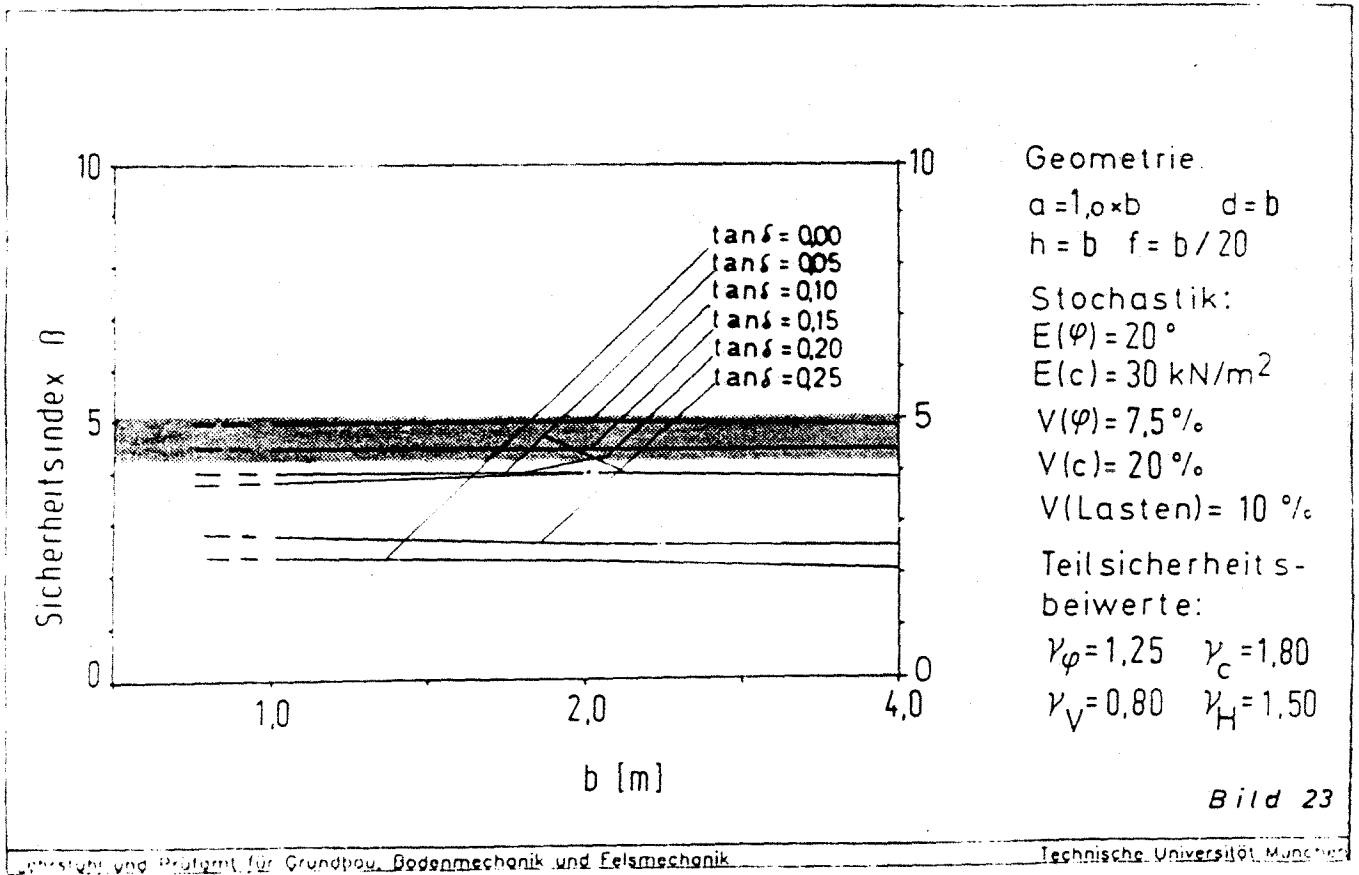
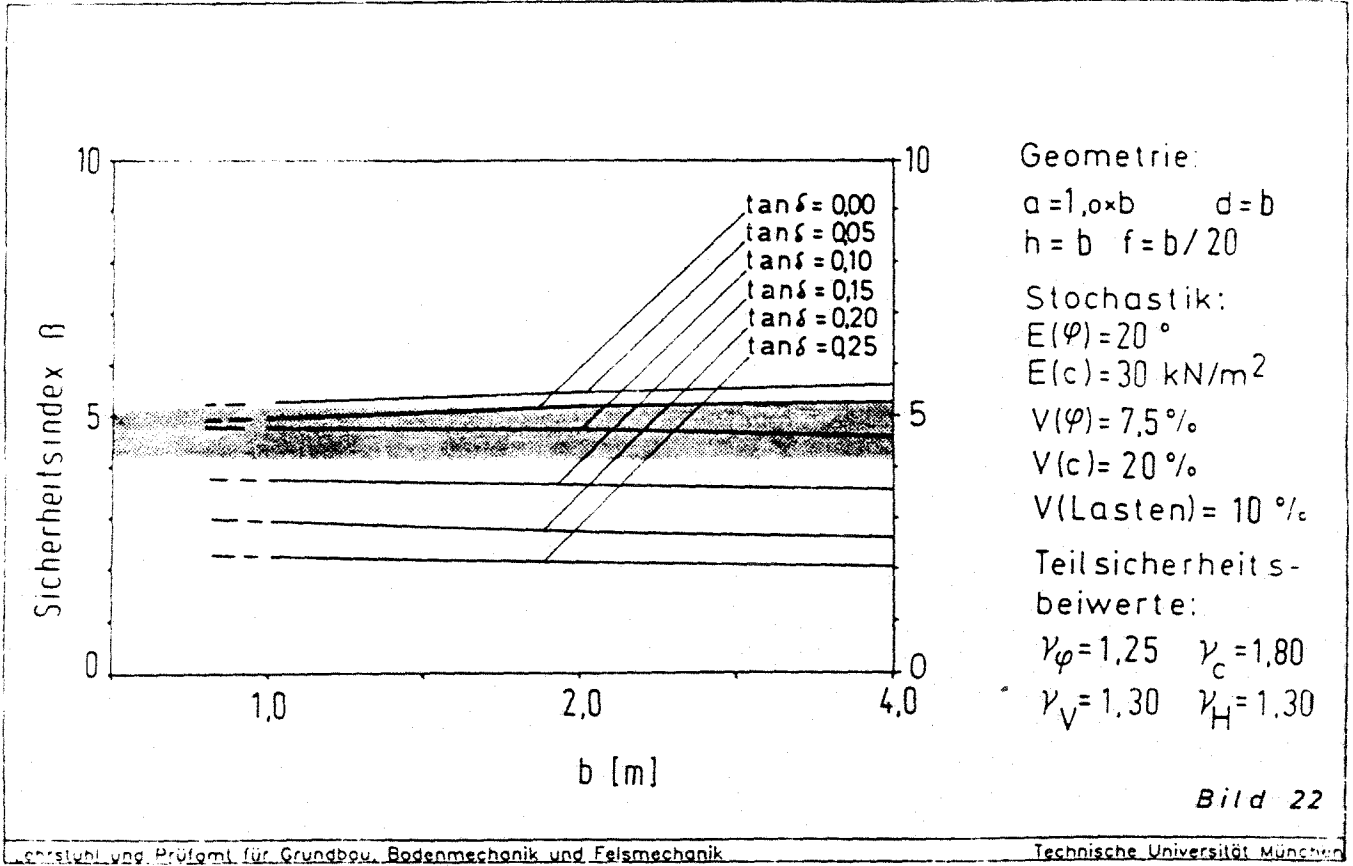


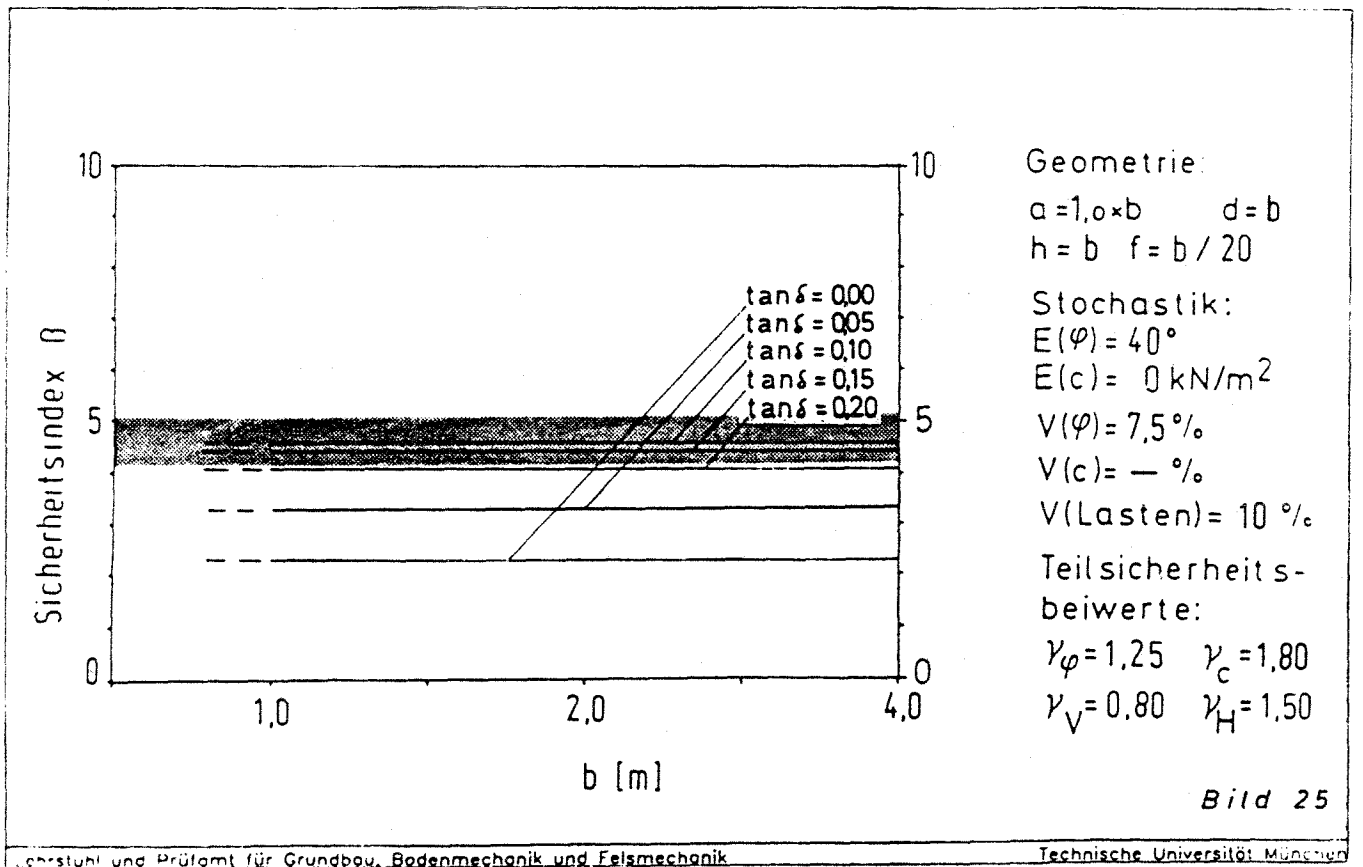
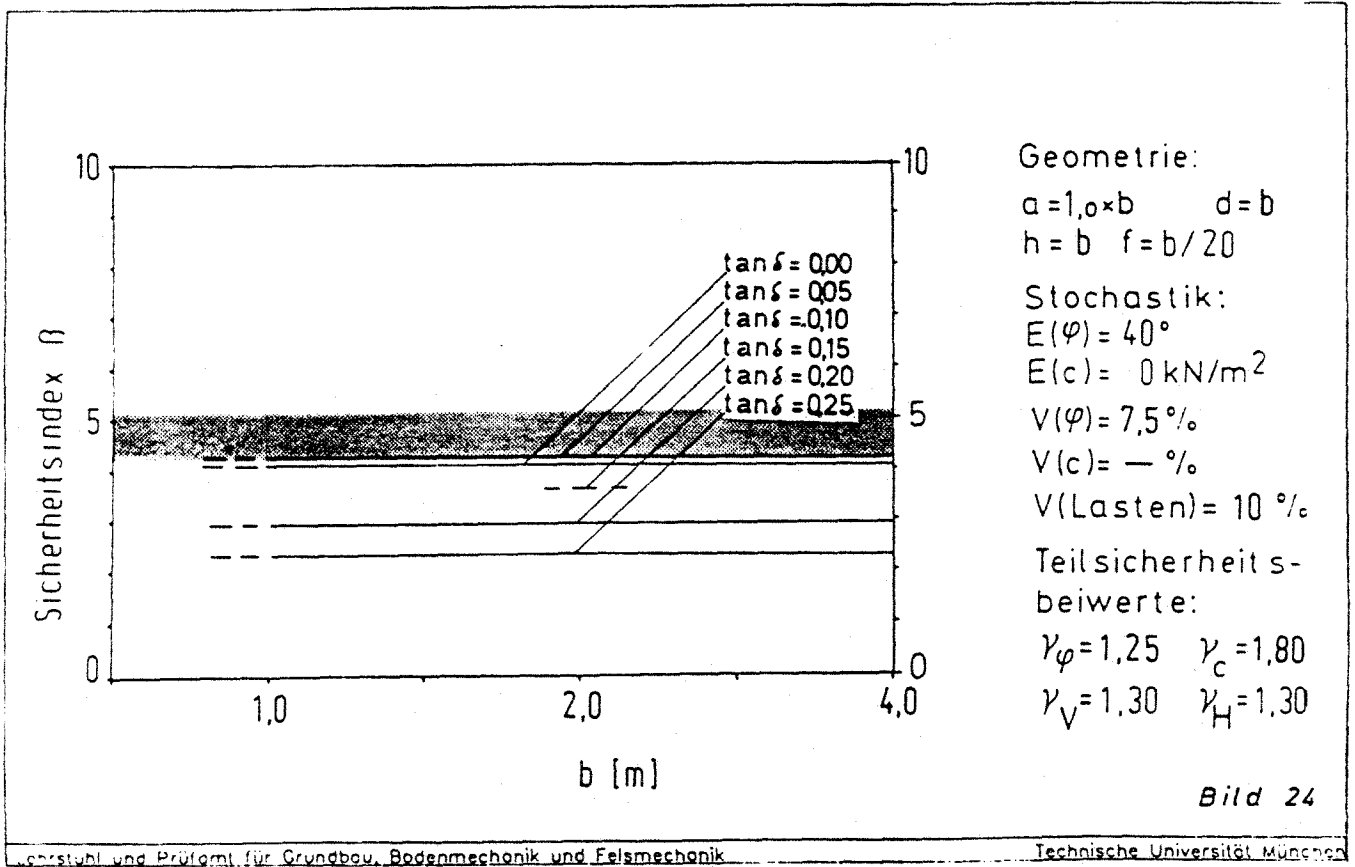


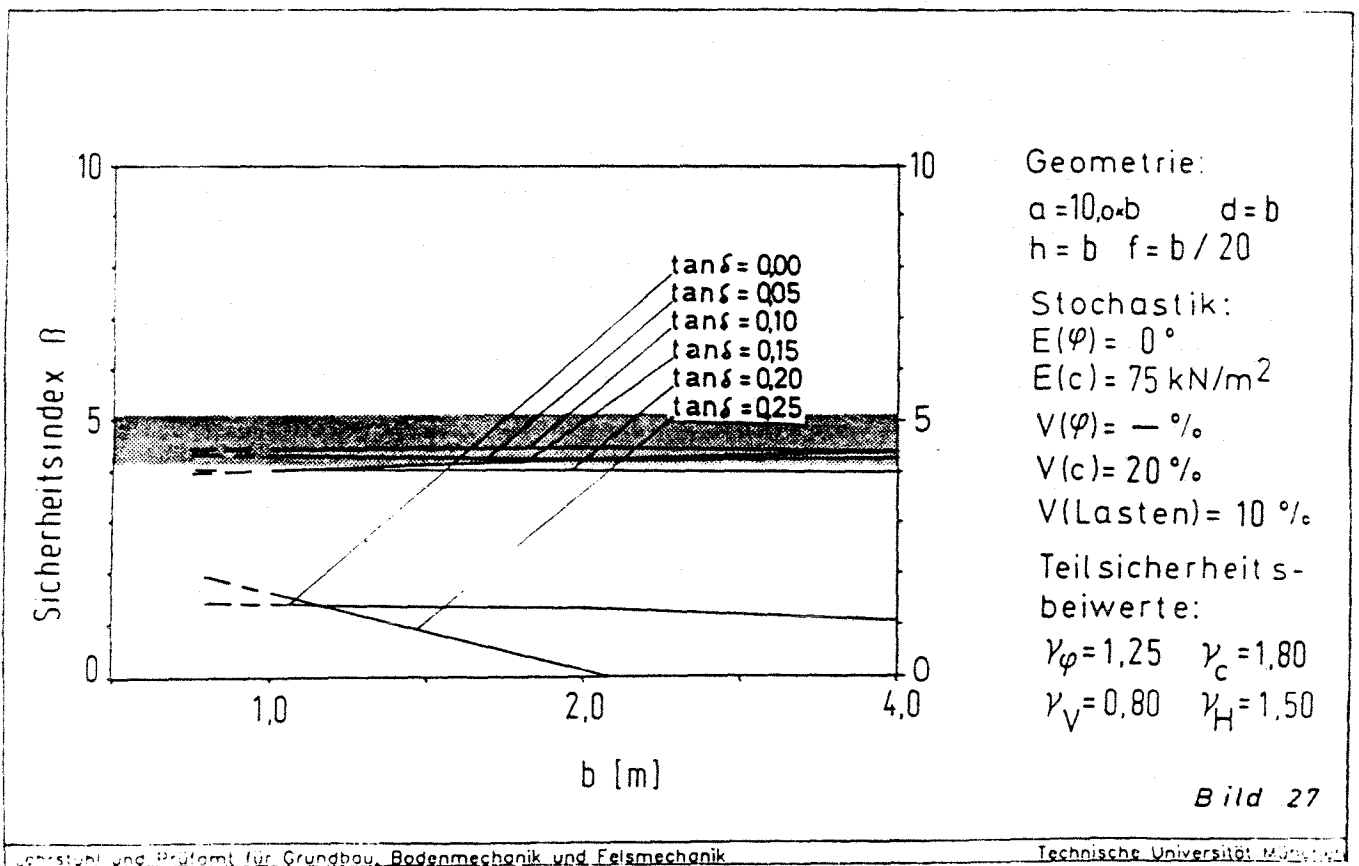
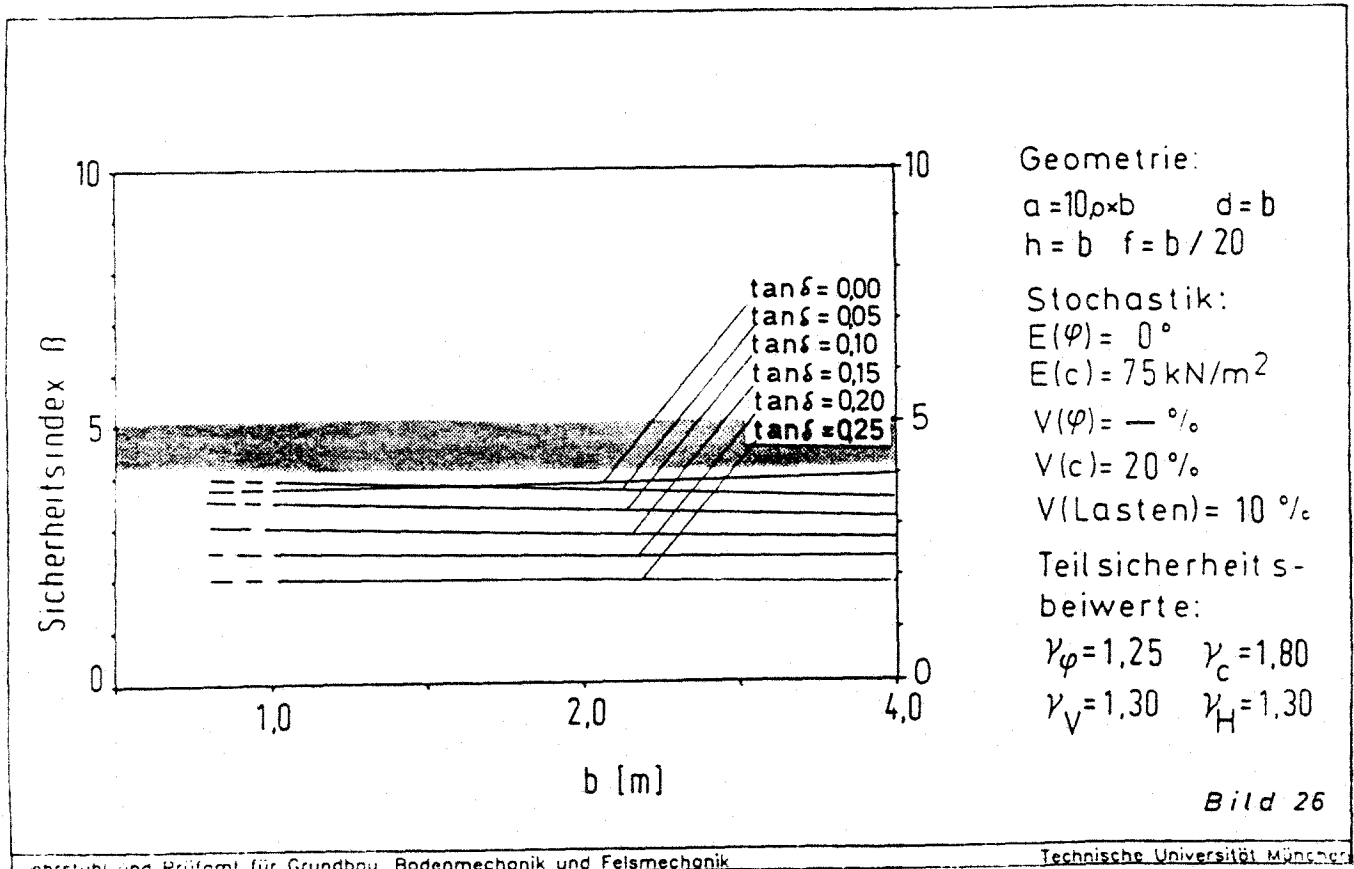


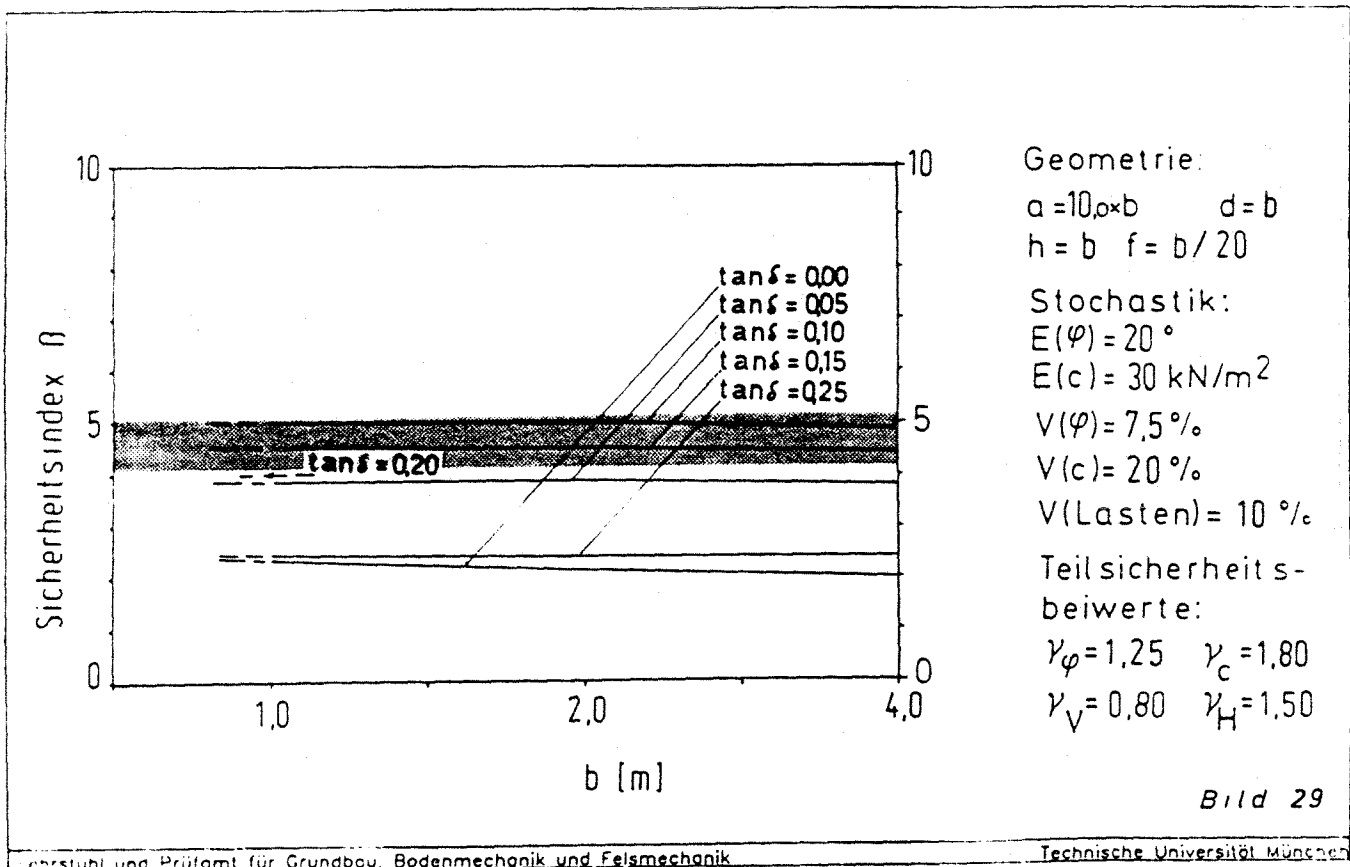
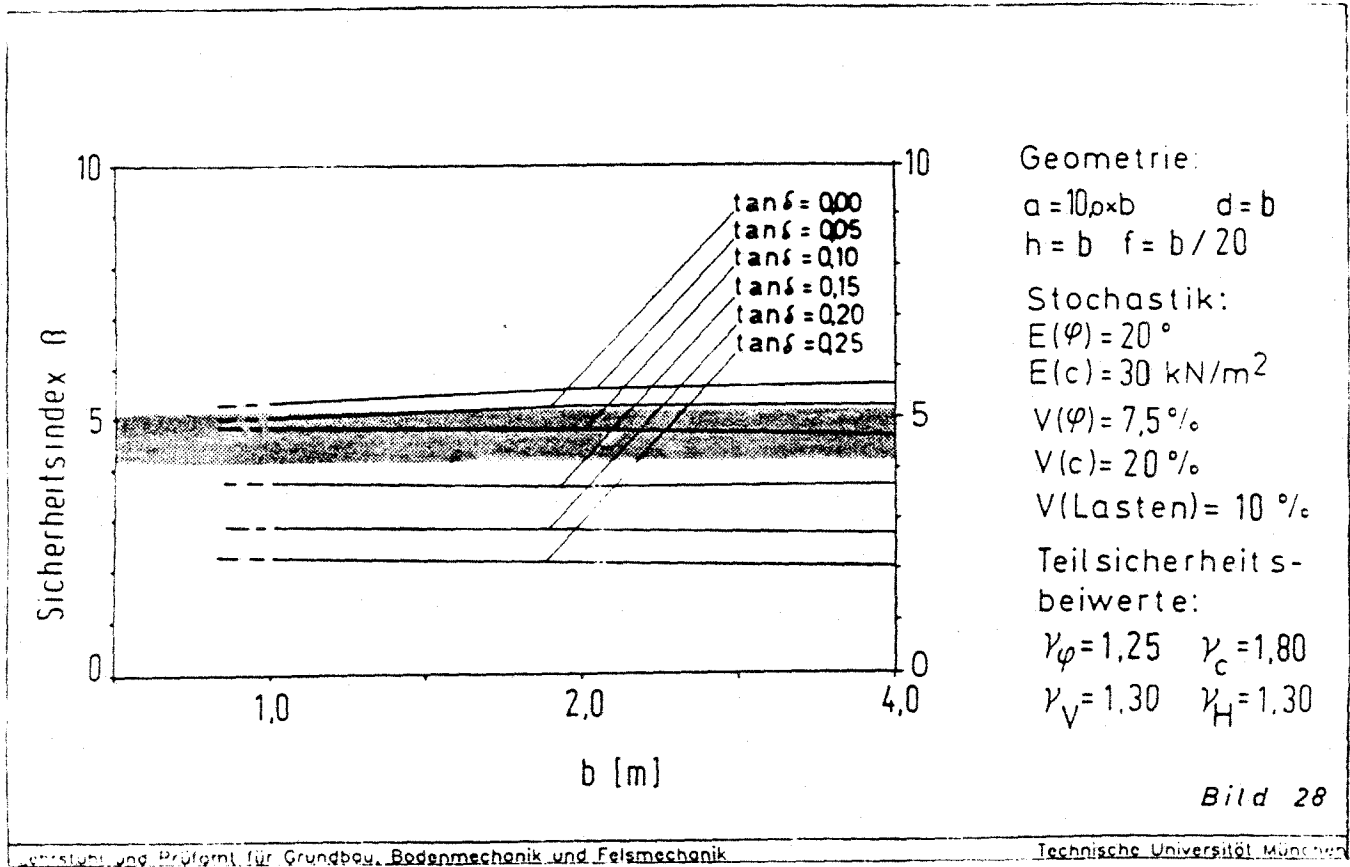


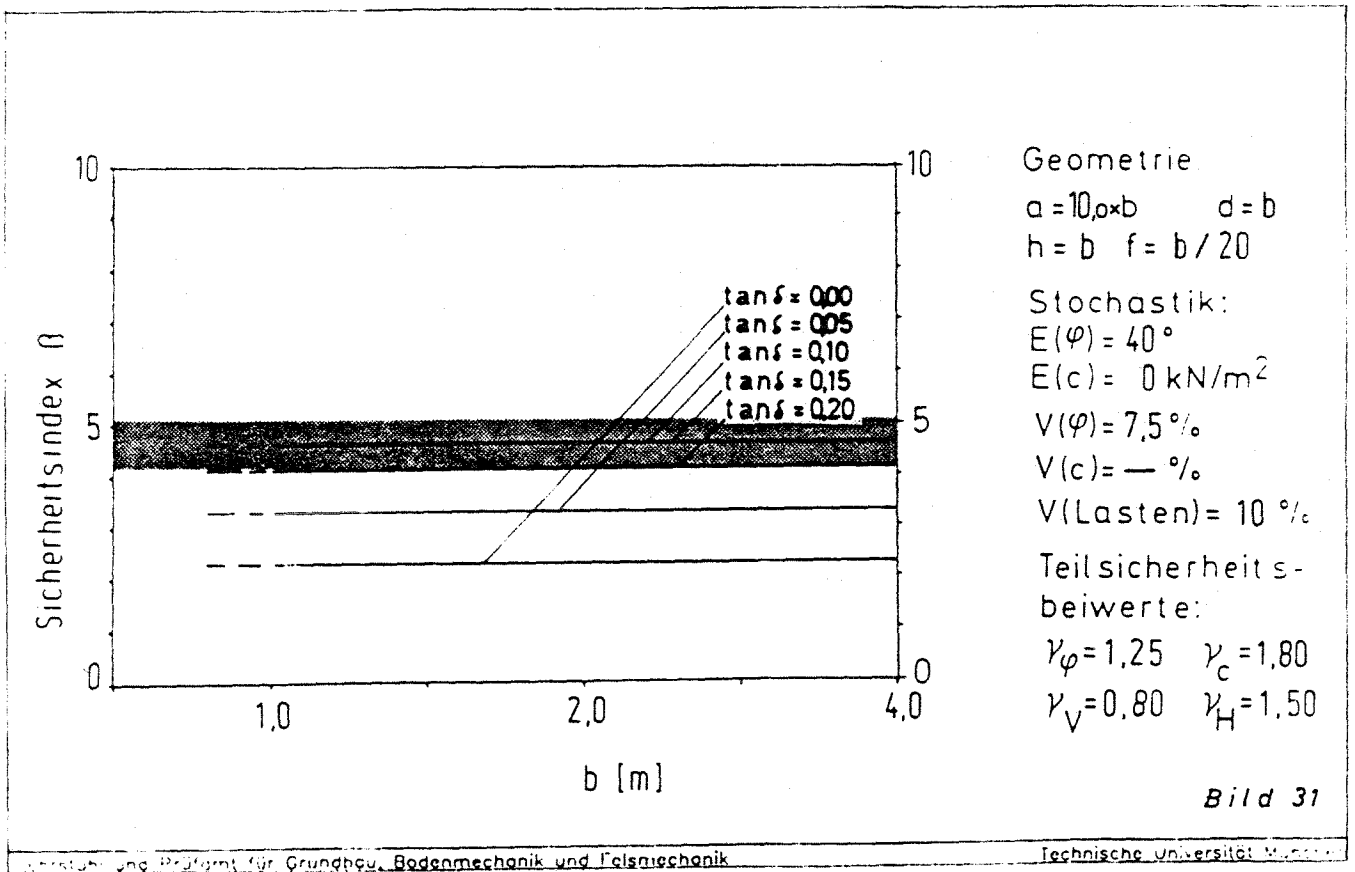
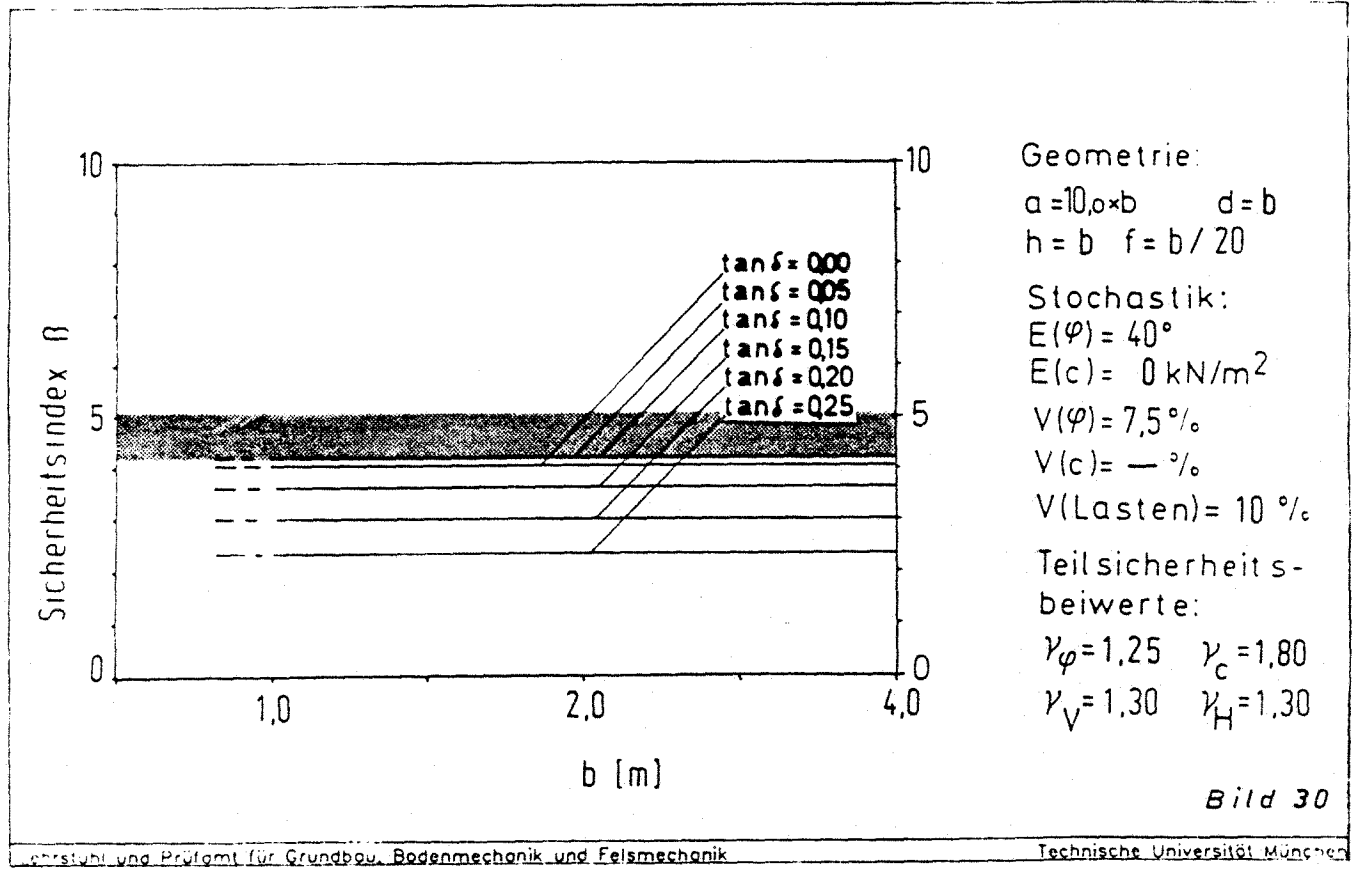


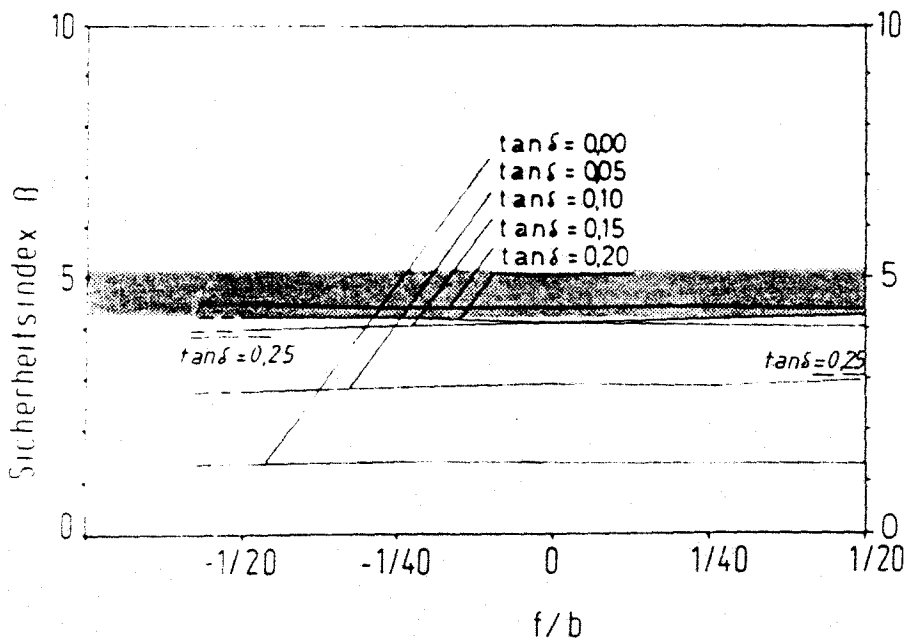










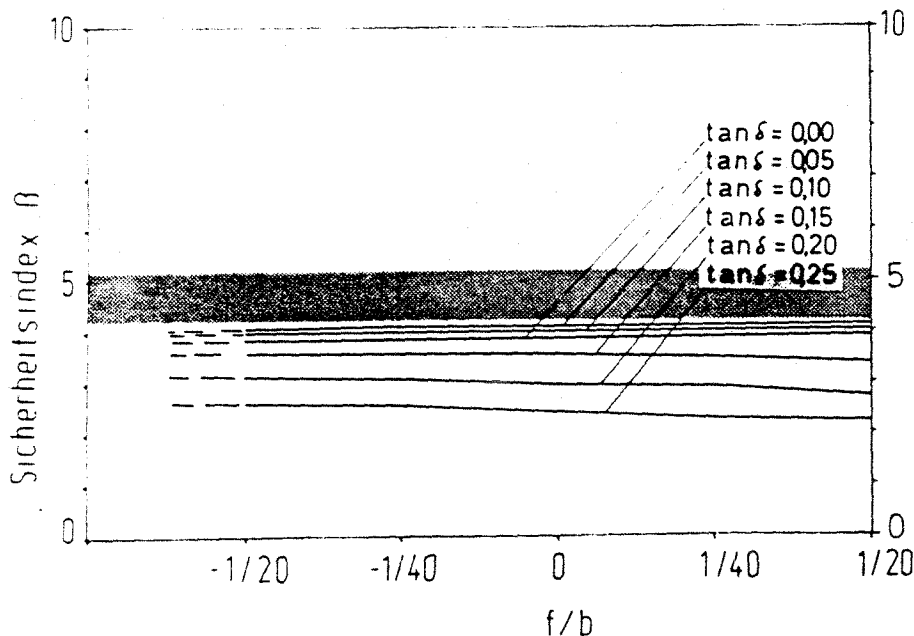


Geometrie:
 $a=2,0$ $b=2,0$ $d=2,0$
 $h=2,0$ $f=$

Stochastik:
 $E(\varphi) = 0^\circ$
 $E(c) = 75 \text{ kN/m}^2$
 $V(\varphi) = - \%$
 $V(c) = 20 \%$
 $V(\text{Lasten}) = 10 \%$

Teilsicherheits-
 beiwerte:
 $\gamma_\varphi = 1,25$ $\gamma_c = 1,80$
 $\gamma_V = 0,80$ $\gamma_H = 1,50$

Bild 32

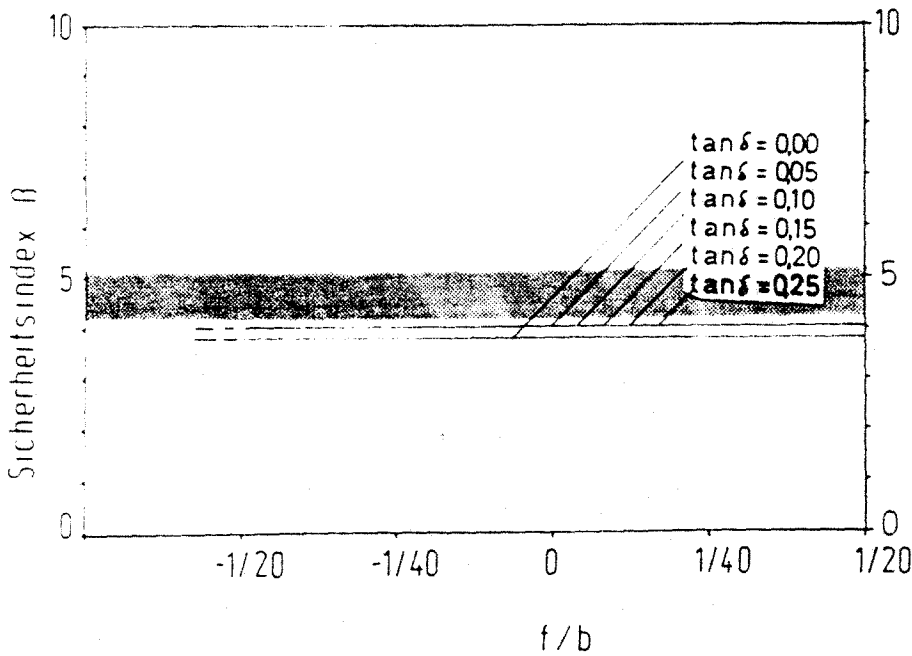


Geometrie:
 $a=2,0$ $b=2,0$ $d=2,0$
 $h=2,0$ $f=$

Stochastik:
 $E(\varphi) = 0^\circ$
 $E(c) = 75 \text{ kN/m}^2$
 $V(\varphi) = - \%$
 $V(c) = 20 \%$
 $V(\text{Lasten}) = 10 \%$

Teilsicherheits-
 beiwerte:
 $\gamma_\varphi = 1,25$ $\gamma_c = 1,80$
 $\gamma_V = 1,30$ $\gamma_H = 1,30$

Bild 33

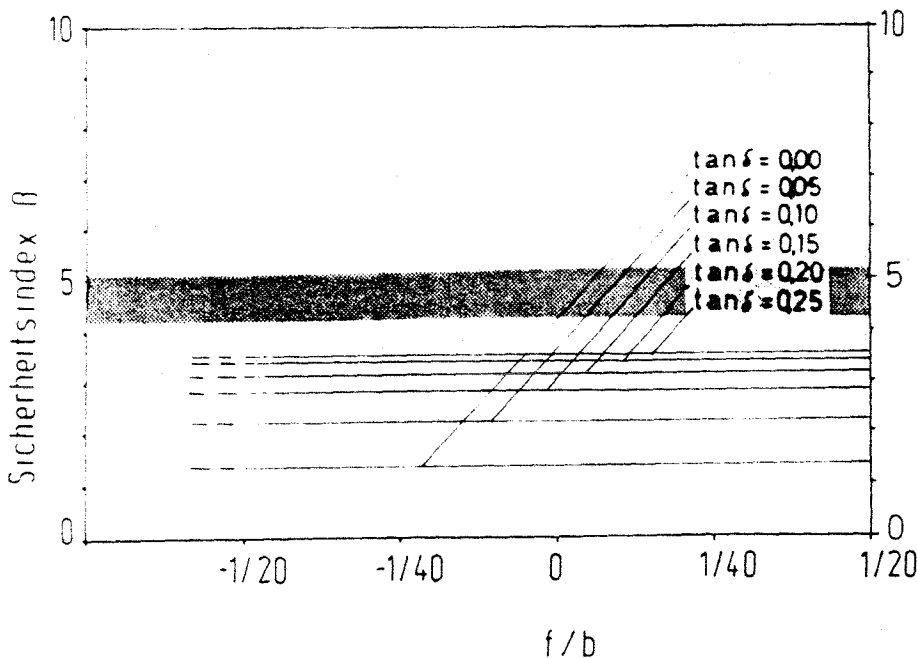


Geometrie:
 $a=2,0$ $b=2,0$ $d=2,0$
 $h=0,0$ $f=$

Stochastik:
 $E(\varphi) = 0^\circ$
 $E(c) = 75 \text{ kN/m}^2$
 $V(\varphi) = -\%$
 $V(c) = 20\%$
 $V(\text{Lasten}) = 10\%$

Teilsicherheits-
 beiwerte:
 $\gamma_\varphi = 1,25$ $\gamma_c = 1,80$
 $\gamma_V = 1,30$ $\gamma_H = 1,30$

Bild 34

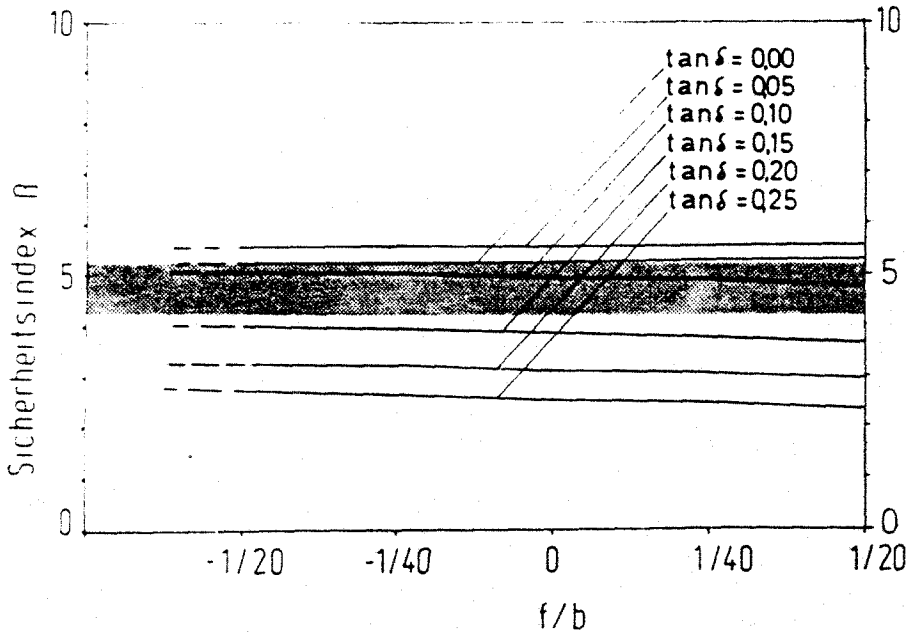


Geometrie:
 $a=2,0$ $b=2,0$ $d=2,0$
 $h=0,0$ $f=$

Stochastik:
 $E(\varphi) = 0^\circ$
 $E(c) = 75 \text{ kN/m}^2$
 $V(\varphi) = -\%$
 $V(c) = 20\%$
 $V(\text{Lasten}) = 10\%$

Teilsicherheits-
 beiwerte:
 $\gamma_\varphi = 1,25$ $\gamma_c = 1,80$
 $\gamma_V = 0,80$ $\gamma_H = 1,50$

Bild 35



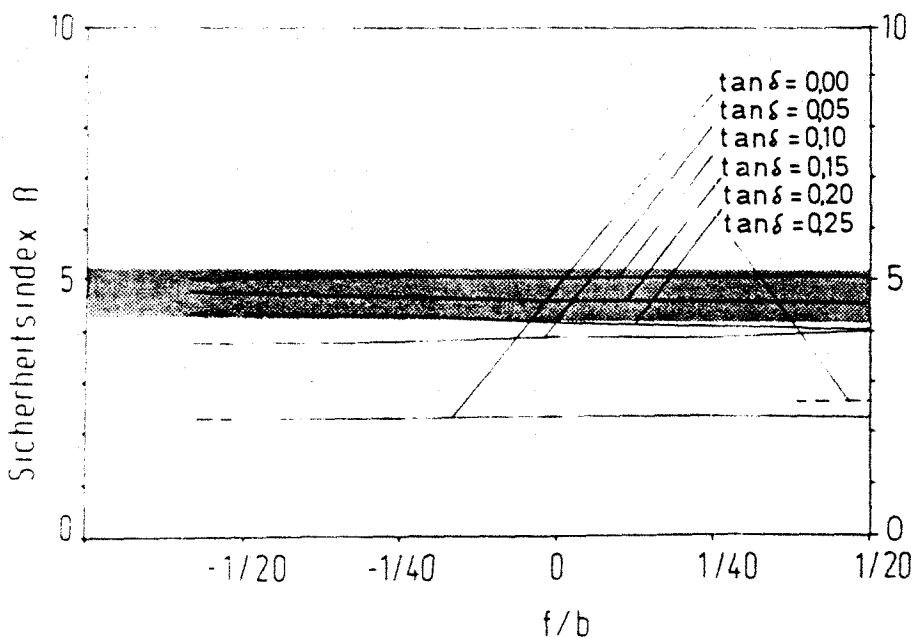
Geometrie
 $a=2,0$ $b=2,0$ $d=2,0$
 $h=2,0$ $f=$

Stochastik:
 $E(\varphi) = 20^\circ$
 $E(c) = 30 \text{ kN/m}^2$
 $V(\varphi) = 7,5\%$
 $V(c) = 20\%$
 $V(\text{Lasten}) = 10\%$

Teilsicherheit s-
 beiwerte:

$\gamma_\varphi = 1,25$ $\gamma_c = 1,80$
 $\gamma_V = 1,30$ $\gamma_H = 1,30$

Bild 36



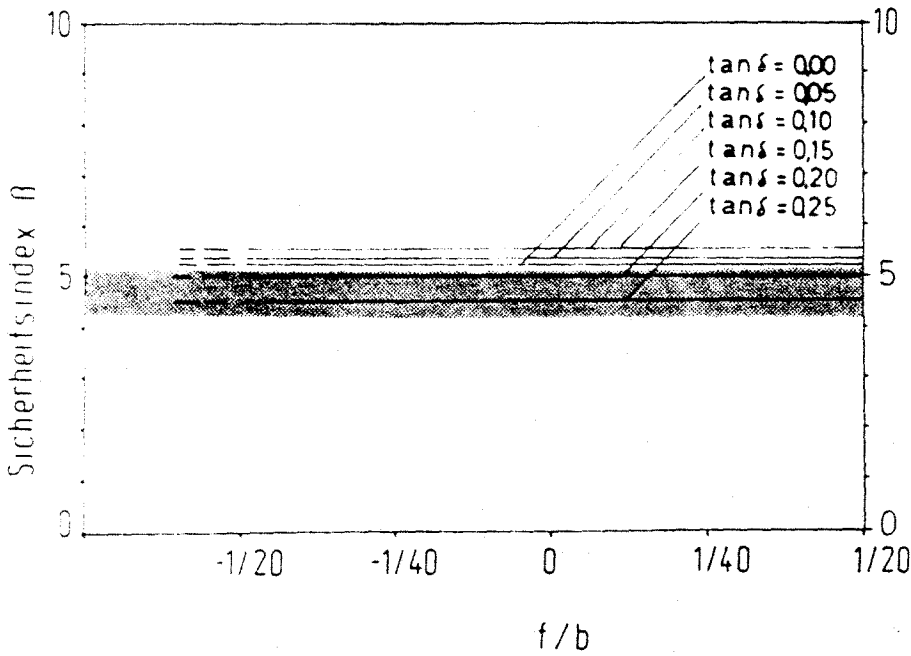
Geometrie
 $a=2,0$ $b=2,0$ $d=2,0$
 $h=2,0$ $f=$

Stochastik:
 $E(\varphi) = 20^\circ$
 $E(c) = 30 \text{ kN/m}^2$
 $V(\varphi) = 7,5\%$
 $V(c) = 20\%$
 $V(\text{Lasten}) = 10\%$

Teilsicherheit s-
 beiwerte:

$\gamma_\varphi = 1,25$ $\gamma_c = 1,80$
 $\gamma_V = 0,80$ $\gamma_H = 1,50$

Bild 37

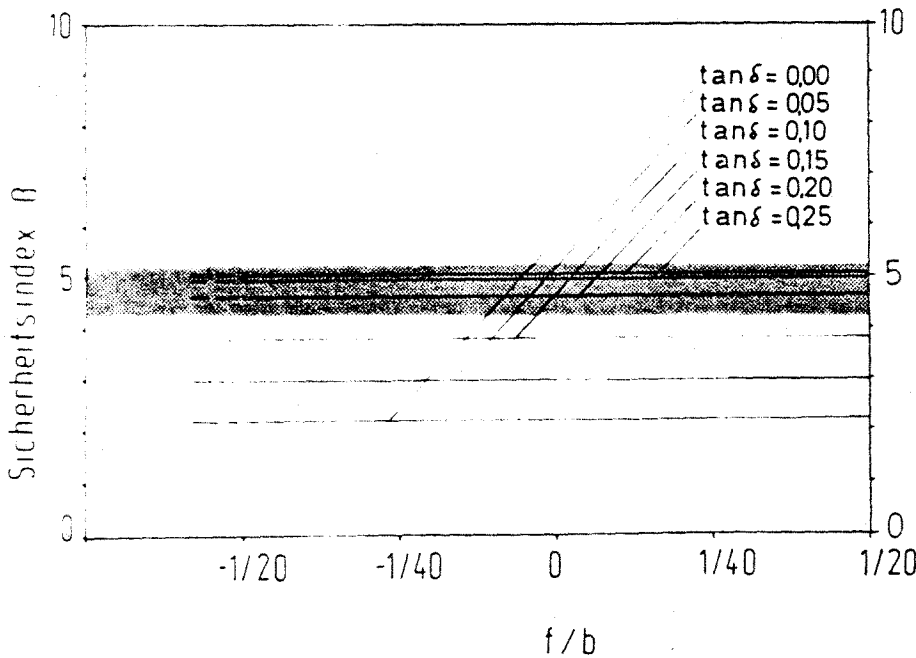


Geometrie:
 $a=2,0$ $b=2,0$ $d=2,0$
 $h=0,0$ $f=$

Stochastik:
 $E(\varphi) = 20^\circ$
 $E(c) = 30 \text{ kN/m}^2$
 $V(\varphi) = 7,5\%$
 $V(c) = 20\%$
 $V(\text{Lasten}) = 10\%$

Teilsicherheits-
 beiwerte:
 $\gamma_\varphi = 1,25$ $\gamma_c = 1,80$
 $\gamma_V = 1,30$ $\gamma_H = 1,30$

Bild 38

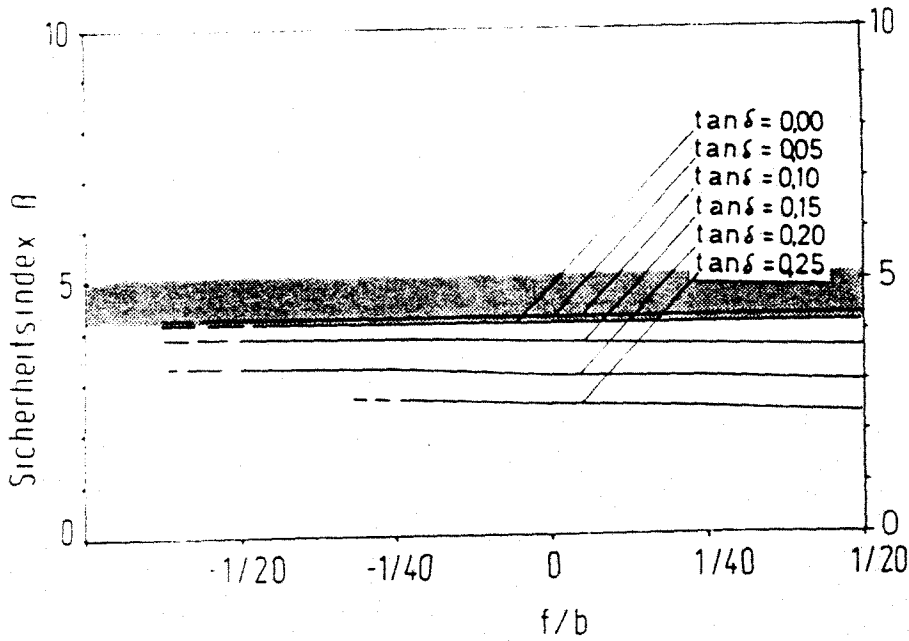


Geometrie:
 $a=2,0$ $b=2,0$ $d=2,0$
 $h=0,0$ $f=$

Stochastik:
 $E(\varphi) = 20^\circ$
 $E(c) = 30 \text{ kN/m}^2$
 $V(\varphi) = 7,5\%$
 $V(c) = 20\%$
 $V(\text{Lasten}) = 10\%$

Teilsicherheits-
 beiwerte:
 $\gamma_\varphi = 1,25$ $\gamma_c = 1,80$
 $\gamma_V = 0,80$ $\gamma_H = 1,50$

Bild 39



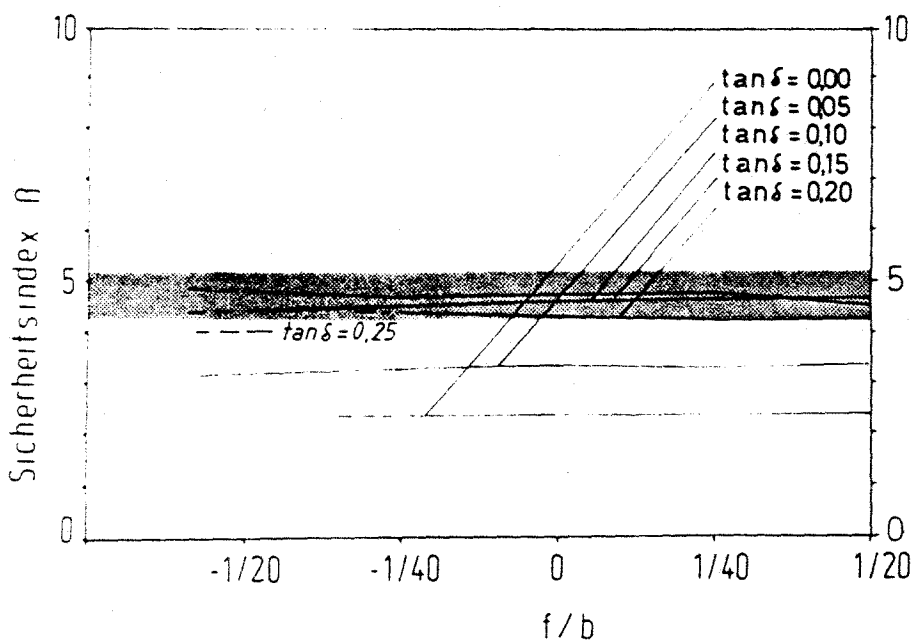
Geometrie
 $a=2,0$ $b=2,0$ $d=2,0$
 $h=2,0$ $f=$

Stochastik:
 $E(\varphi)=40^\circ$
 $E(c)= 0 \text{ kN/m}^2$
 $V(\varphi)= 7,5\%$
 $V(c)= -\%$
 $V(\text{Lasten})= 10\%$

Teilsicherheits-
 beiwerte:

$\gamma_\varphi=1,25$ $\gamma_c=1,80$
 $\gamma_V=1,30$ $\gamma_H=1,30$

Bild 40



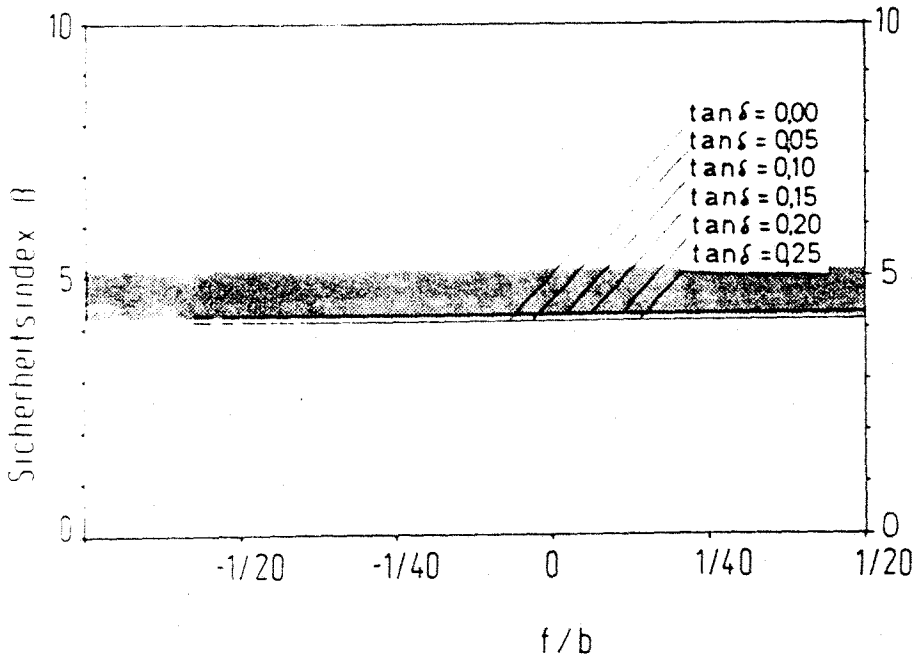
Geometrie:
 $a=2,0$ $b=2,0$ $d=2,0$
 $h=2,0$ $f=$

Stochastik:
 $E(\varphi)=40^\circ$
 $E(c)= 0 \text{ kN/m}^2$
 $V(\varphi)= 7,5\%$
 $V(c)= -\%$
 $V(\text{Lasten})= 10\%$

Teilsicherheits-
 beiwerte:

$\gamma_\varphi=1,25$ $\gamma_c=1,80$
 $\gamma_V=0,80$ $\gamma_H=1,50$

Bild 41

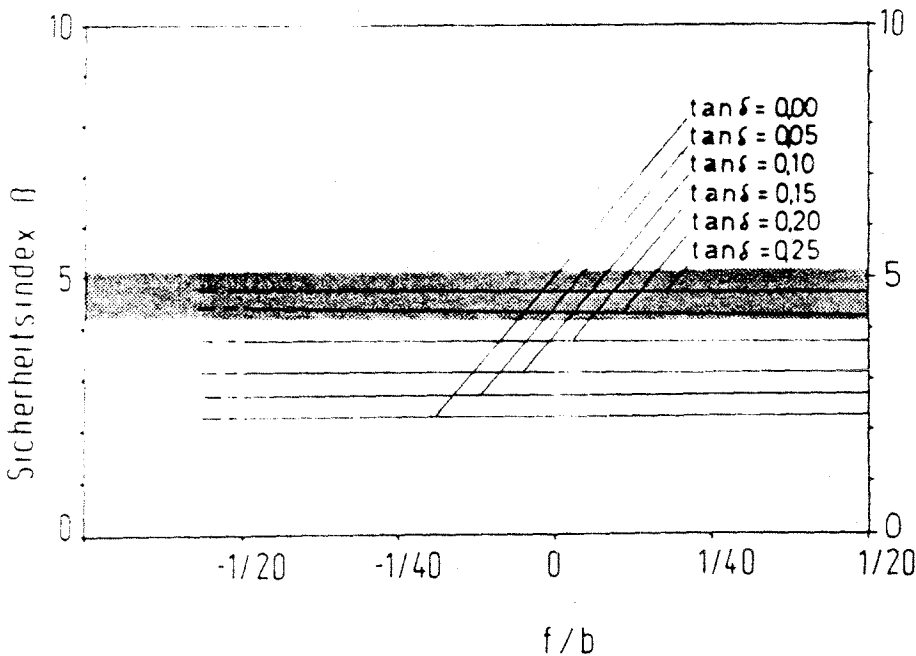


Geometrie:
 $a=2,0$ $b=2,0$ $d=2,0$
 $h=0,0$ $f=$

Stochastik:
 $E(\varphi) = 40^\circ$
 $E(c) = 0 \text{ kN/m}^2$
 $V(\varphi) = 7,5\%$
 $V(c) = -\%$
 $V(\text{Lasten}) = 10\%$

Teilsicherheitsbeiwerte:
 $\gamma_\varphi = 1,25$ $\gamma_c = 1,80$
 $\gamma_V = 1,30$ $\gamma_H = 1,30$

Bild 42



Geometrie:
 $a=2,0$ $b=2,0$ $d=2,0$
 $h=0,0$ $f=$

Stochastik:
 $E(\varphi) = 40^\circ$
 $E(c) = 0 \text{ kN/m}^2$
 $V(\varphi) = 7,5\%$
 $V(c) = -\%$
 $V(\text{Lasten}) = 10\%$

Teilsicherheitsbeiwerte:
 $\gamma_\varphi = 1,25$ $\gamma_c = 1,80$
 $\gamma_V = 0,80$ $\gamma_H = 1,50$

Bild 43

BEISPIEL SCHRAEG UND AUSSERMITTIG BELASTETES FUNDAMENT NACH DIN 4017

GEOMETRIE: A= 2.0 B= 2.0 D= 2.0 H= 2.0 F= .1 (M) VAR.-KOEFF.: PHI= .075 C= .200 LASTEN= .100

BETA-VERLAUF BEI VORGABE DER TEILSICHERHEITSBEWERTE:

GAMV= 2.00 GAMH= 2.00

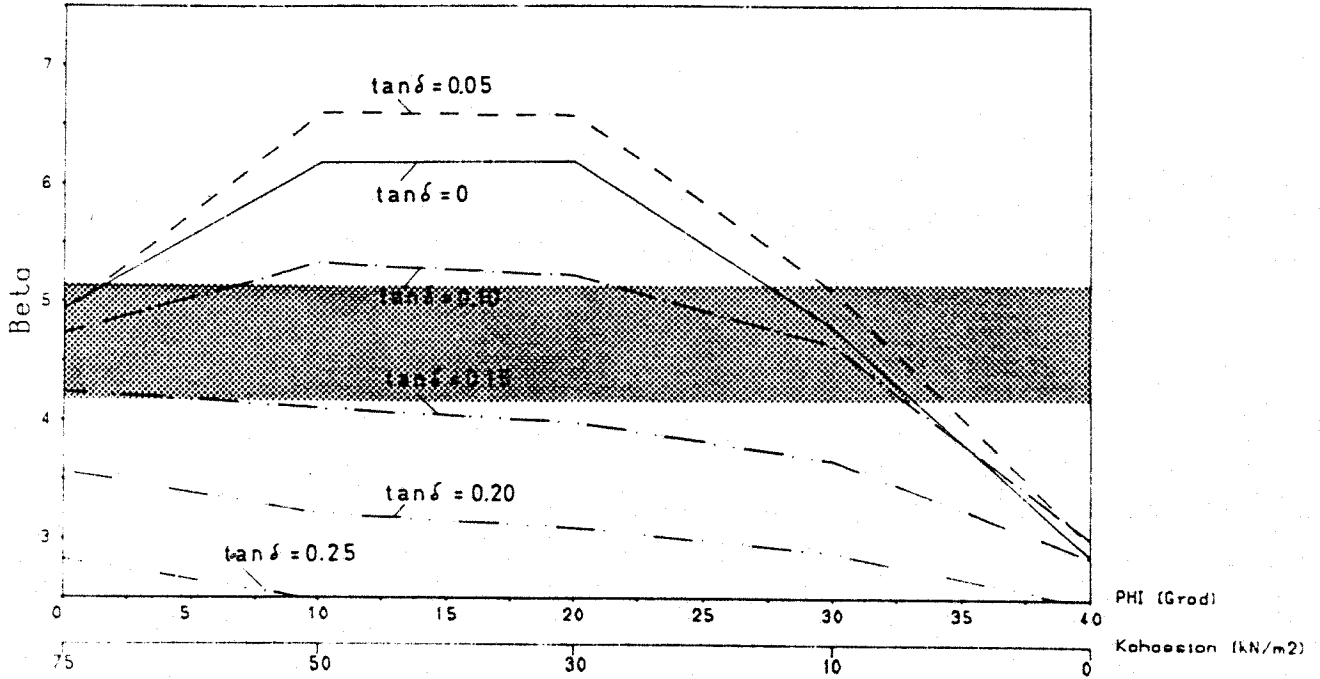


Bild Nr. 44

BEISPIEL SCHRAEG UND AUSSERMITTIG BELASTETES FUNDAMENT NACH DIN 4017

GEOMETRIE: A= 2.0 B= 2.0 D= 2.0 H= 2.0 F= .1 (M) VAR.-KOEFF.: PHI= .075 C= .200 LASTEN= .100

BETA-VERLAUF BEI VORGABE DER TEILSICHERHEITSBEWERTE: GAMPHI= 1.25 GAMC= 2.00

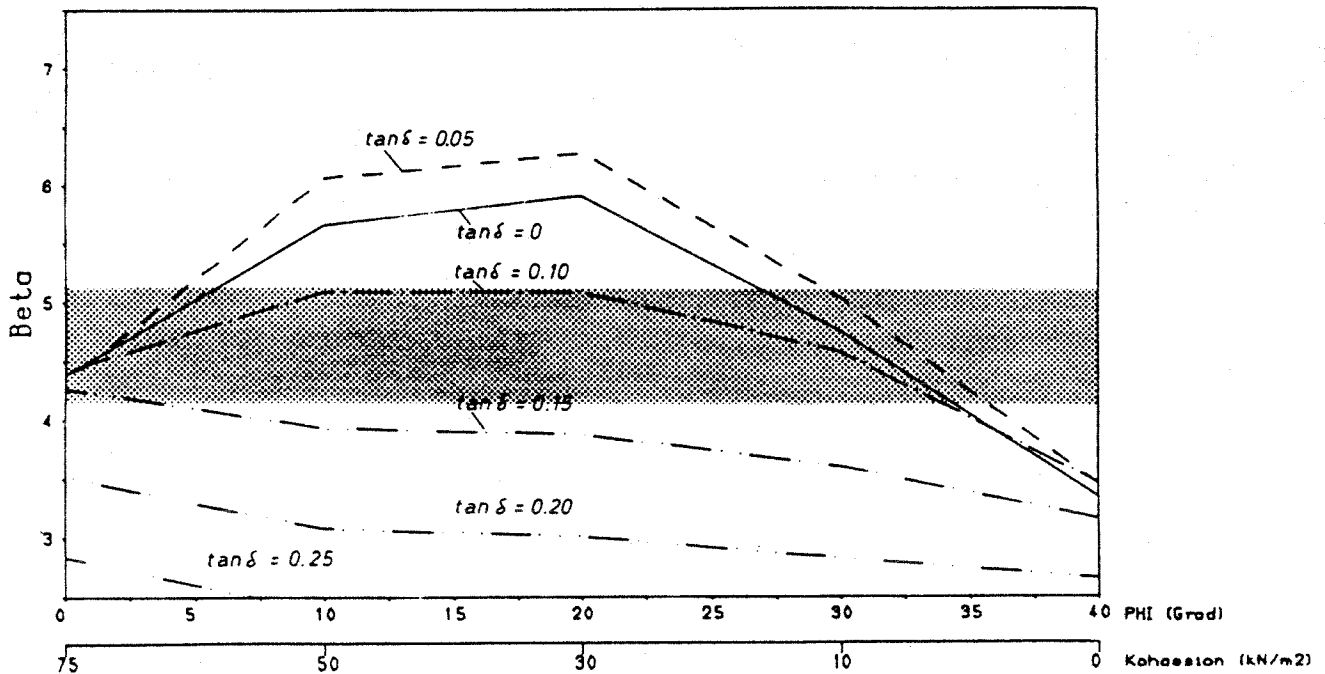
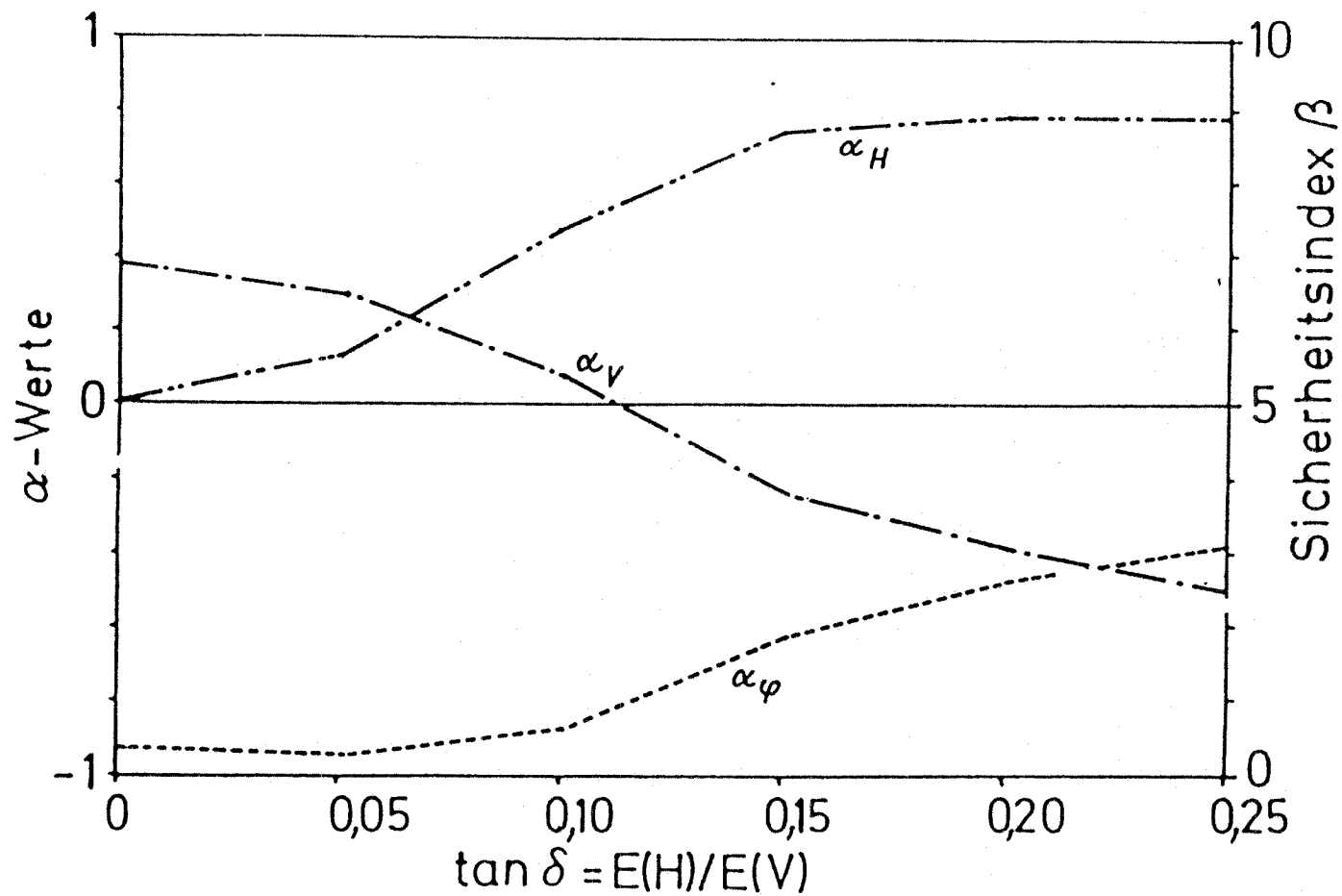


Bild Nr. 45



Geometrie:

$a=2,0$ $b=2,0$ $d=2,0$
 $h=2,0$ $f=0,1$

Stochastik:

$E(\varphi) = 40^\circ$

$E(c) = 0 \text{ kN/m}^2$

$V(\varphi) = 7,5 \%$

$V(c) = - \%$

$V(\text{Lasten}) = 10 \%$

Bild 46

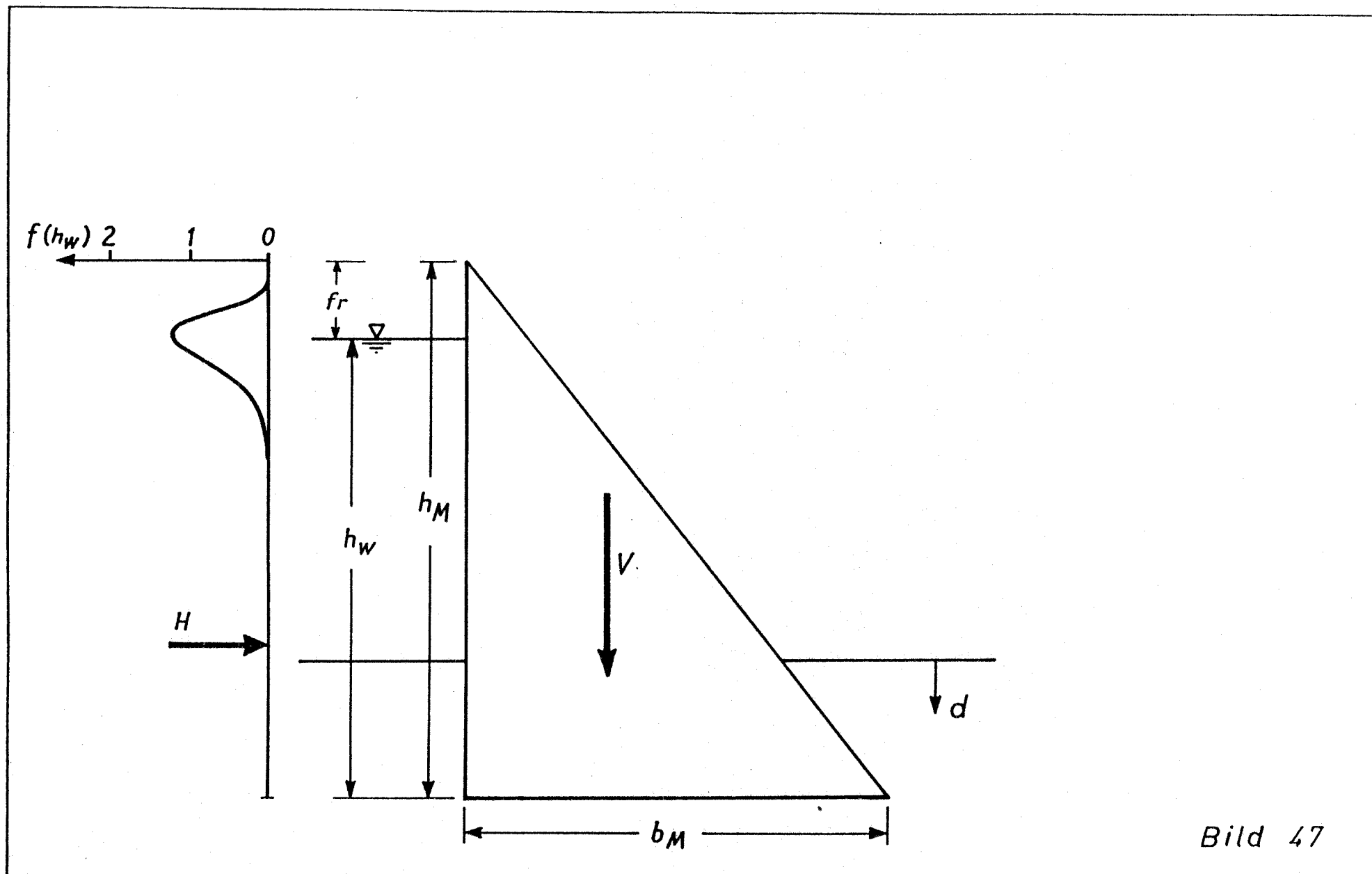


Bild 47

BEISPIEL GEWICHTSSTAUMMAUER WASSERSTAND HW

GEOMETRIE: $b_m = 10.0$ $f_r = 1.5$ $d = 2.0$ [m] STOCHASTIK: $V_{PHI} = 7.5$ $V_C = 20.0$ [%] $s(h_w) = .5$ [m]

BETA UND HM-VERLAUF BEI VORGABE DER TEILSICHERHEITSBEIWERTE: $G_{AMPHI} = 1.25$ $G_{AMC} = 1.80$

$H_w = HW + 2.5S(HW)$

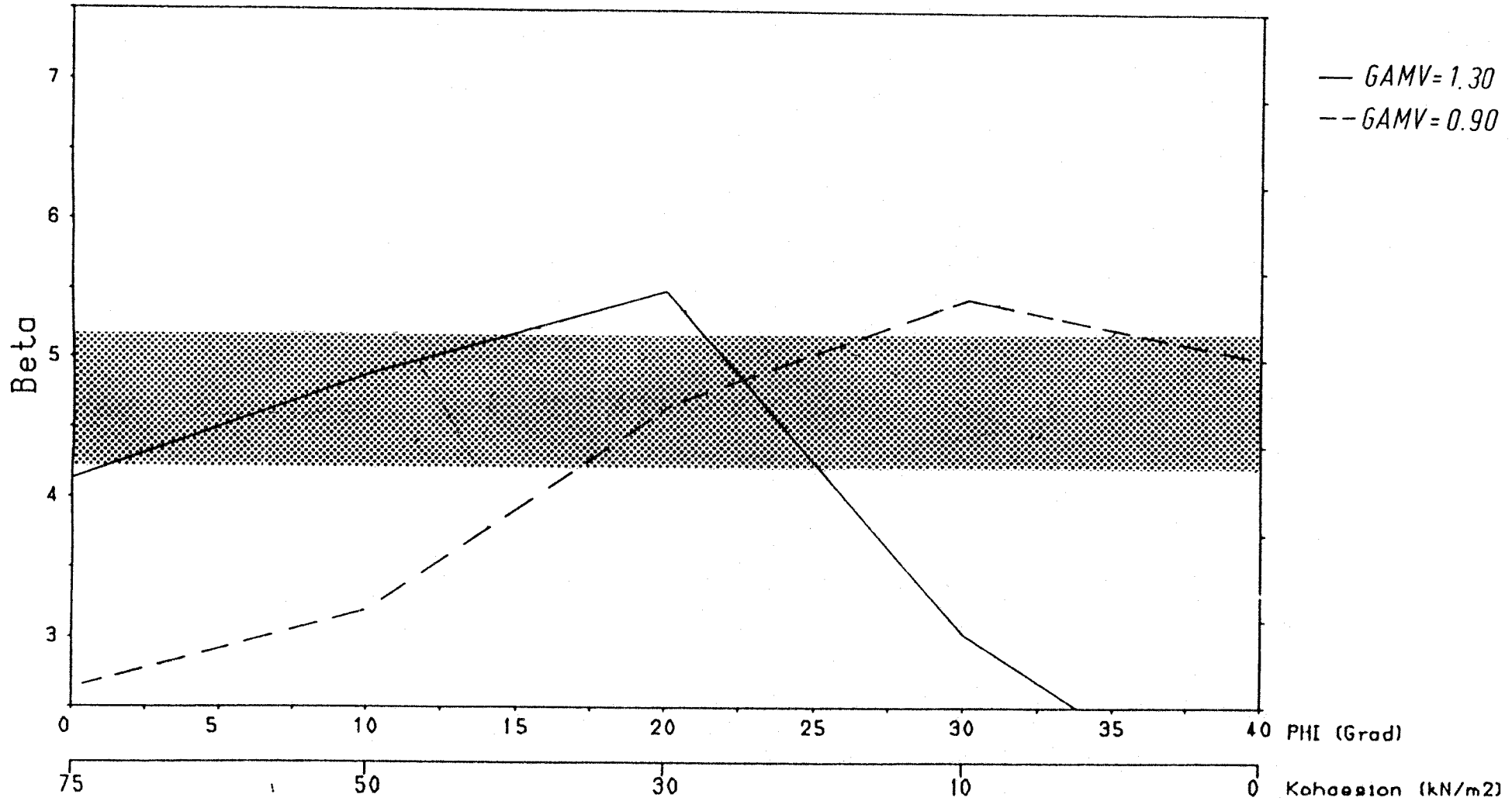


Bild Nr. 48

BEISPIEL GEWICHTSSTAUMAUER WASSERSTAND HW

GEOMETRIE: $b_m = 100$ $f_r = 150$ $d = 2.00$ (m) STOCHASTIK: $V_{PHI} = -$ $VC = 20$ $(X) \sigma(h_w) = .5$ (m)

BETA UND HM-VERLAUF BEI VORGABE DER TEILSICHERHEITSBEIWERTER: $GAM_{PHI} = 1.25$ $GAM_C = 1.80$ $GAM_V = 1.30$

$\delta_{sw} = 2.50 \cdot S_{HW}$

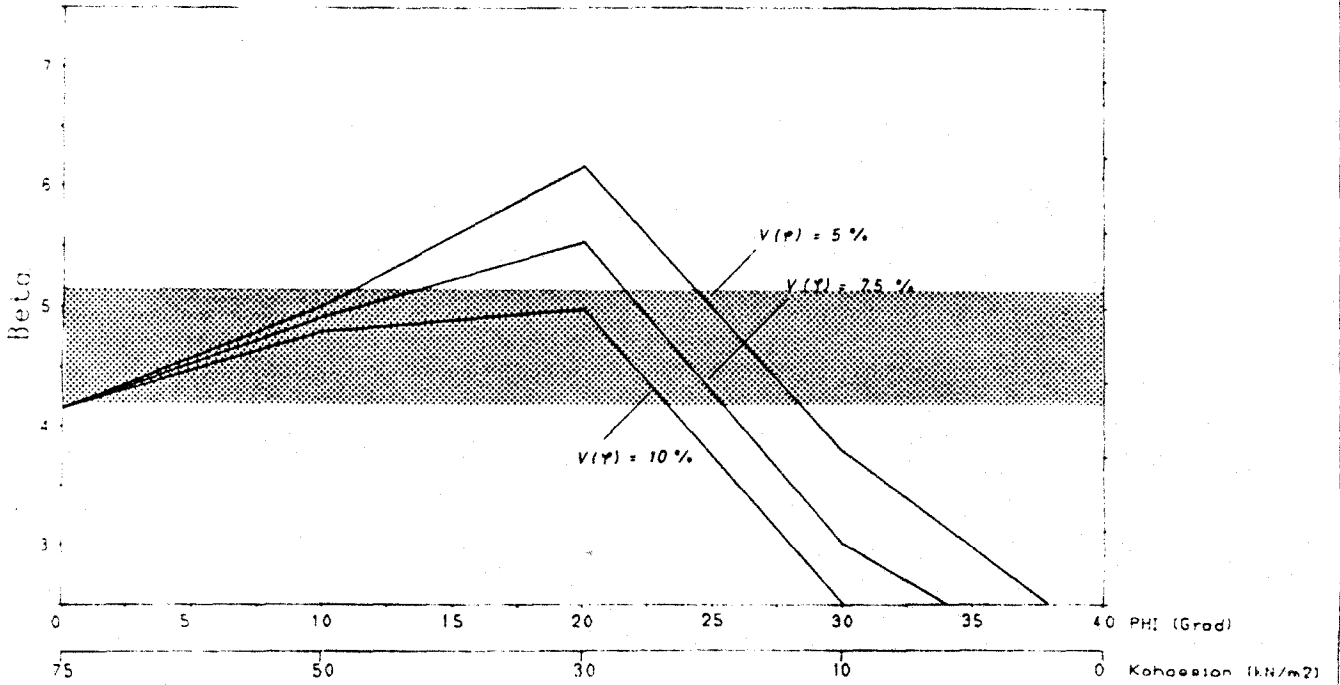


Bild Nr. 49a

Lehrstuhl und Prof. für Grundbau, Bodenmechanik und Felsmechanik

Technische Universität München

BEISPIEL GEWICHTSSTAUMAUER WASSERSTAND HW

GEOMETRIE: $b_m = 100$ $f_r = 150$ $d = 2.00$ (m) STOCHASTIK: $V_{PHI} = -$ $VC = 20$ $(X) \sigma(h_w) = .5$ (m)

BETA UND HM-VERLAUF BEI VORGABE DER TEILSICHERHEITSBEIWERTER: $GAM_{PHI} = 1.25$ $GAM_C = 1.80$ $GAM_V = 0.90$

$\delta_{sw} = 2.50 \cdot S_{HW}$

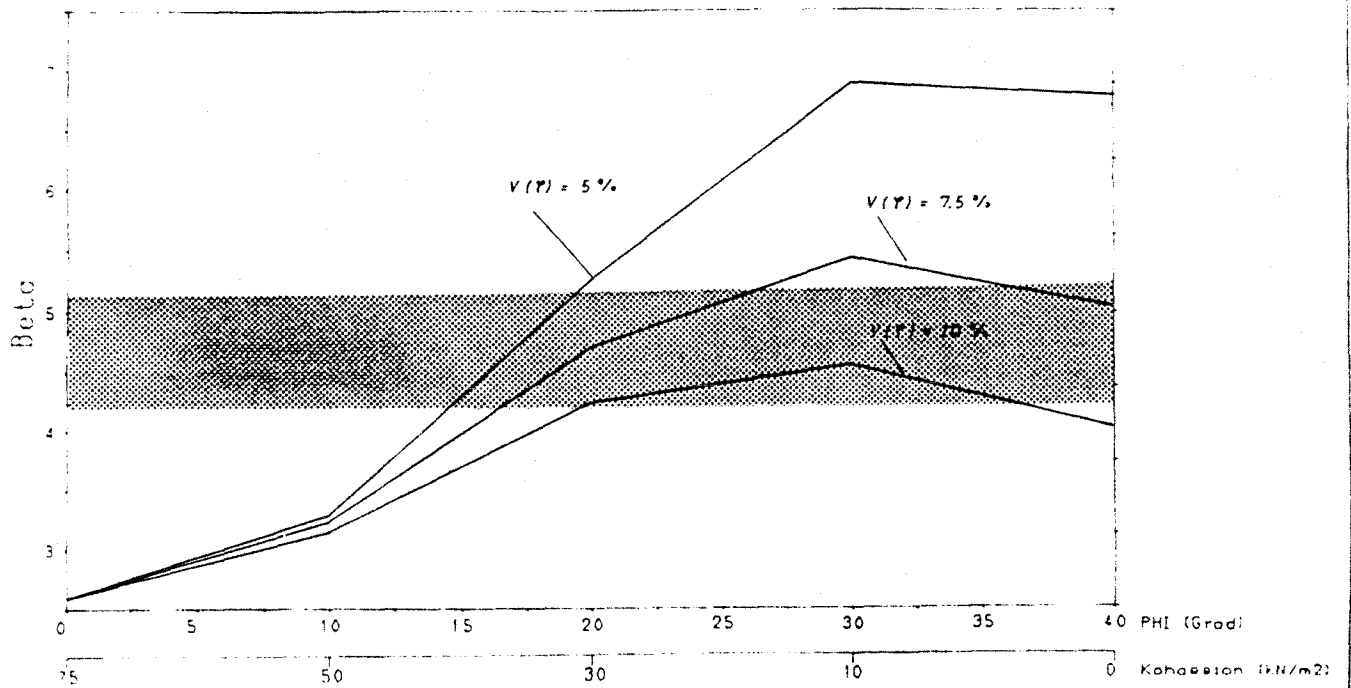


Bild Nr. 49b

Lehrstuhl und Prof. für Grundbau, Bodenmechanik und Felsmechanik

Technische Universität München

BEISPIEL GEWICHTSSTAUMAUER WASSERSTAND HW

GEOMETRIE: $b_m = 10.00$ $f_r = 1.50$ $d = 2.00$ (m) STOCHASTIK: $V_{PHI} = 7.5$ $V_C = -$ $(X) = e(h_w) = .5$ (m)

BETA UND HM-VERLAUF BEI VORGABE DER TEILSICHERHEITSBEIWERTE: $GAM_{PHI} = 1.25$ $GAM_C = 1.80$ $GAM_V = 1.30$

$\delta_{sk} = 2.50 \cdot S(h_w)$

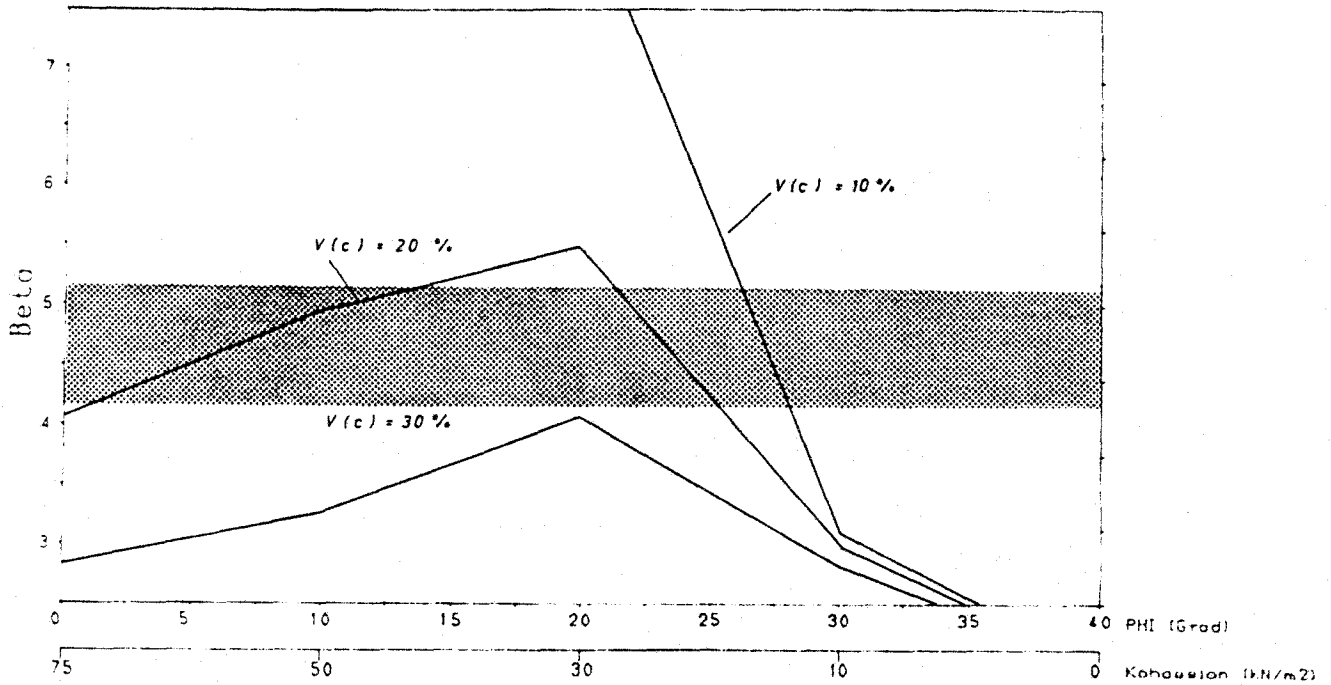


Bild Nr. 50a

BEISPIEL GEWICHTSSTAUMAUER WASSERSTAND HW

GEOMETRIE: $b_m = 10.00$ $f_r = 1.50$ $d = 2.00$ (m) STOCHASTIK: $V_{PHI} = 7.5$ $V_C = -$ $(X) = e(h_w) = .5$ (m)

BETA UND HM-VERLAUF BEI VORGABE DER TEILSICHERHEITSBEIWERTE: $GAM_{PHI} = 1.25$ $GAM_C = 1.80$ $GAM_V = 0.90$

$\delta_{sk} = 2.50 \cdot S(h_w)$

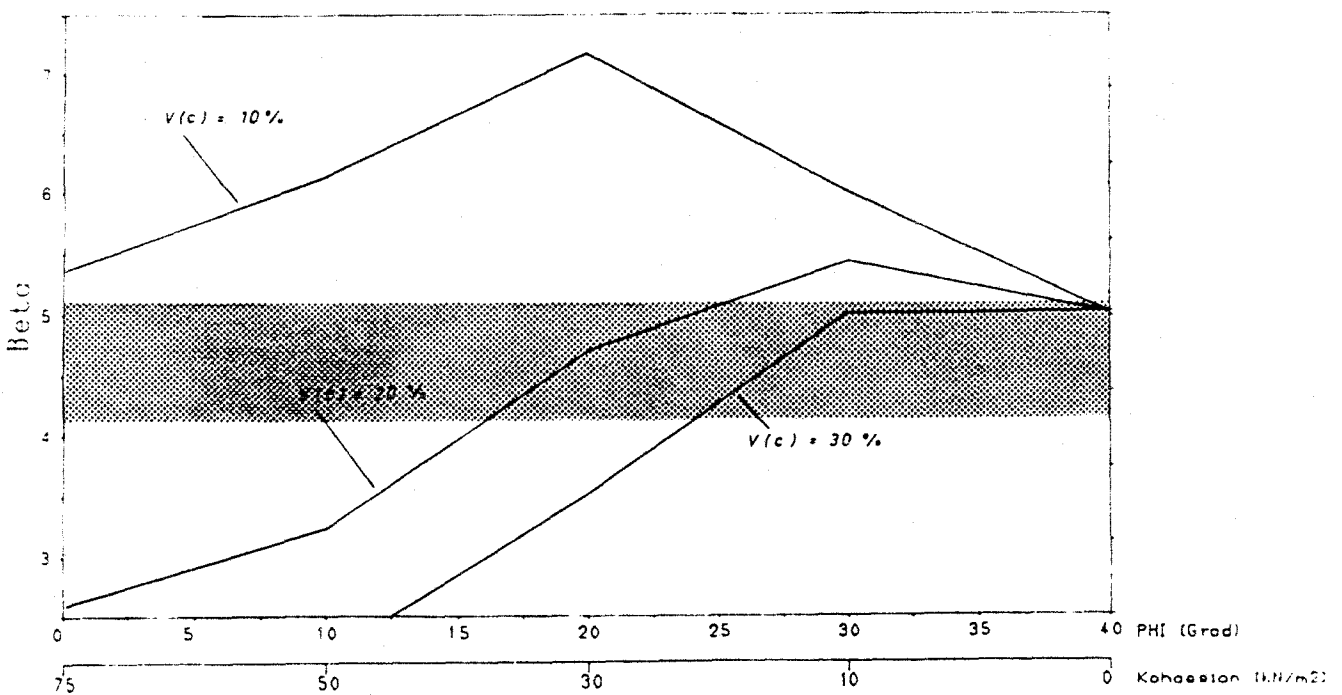


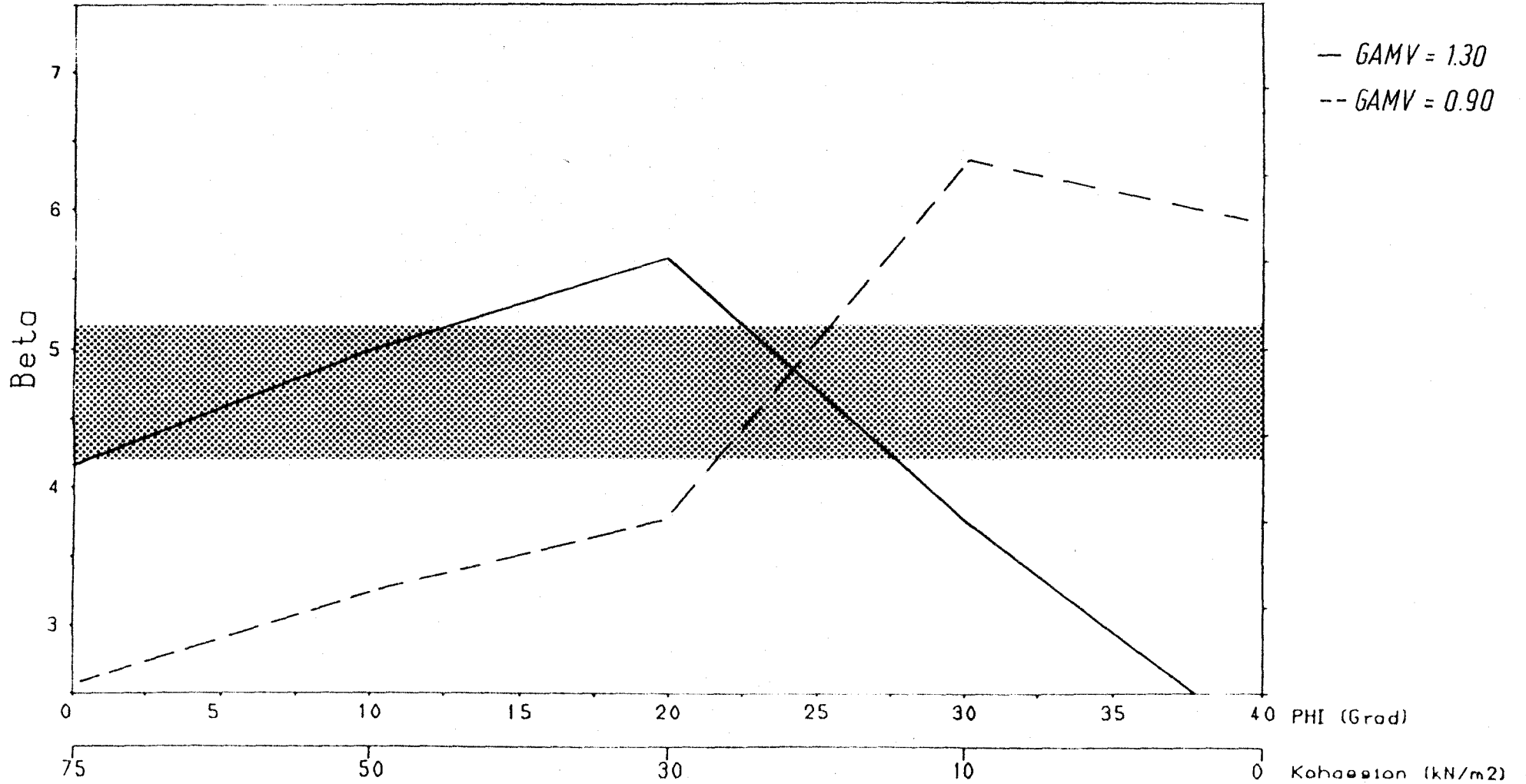
Bild Nr. 50b

BEISPIEL GEWICHTSSTAUMAUER WASSERSTAND HW

GEOMETRIE: $b_m = 10.00$ $f_r = 1.50$ $d = 2.00$ (m) STOCHASTIK: $V_{PHI} = 7.5$ $VC = 20$ (%) $s(h_w) = .25$ (m)

BETA UND HM-VERLAUF BEI VORGABE DER TEILSICHERHEITSBEIWERTE: $GAM_{PHI} = 1.25$ $GAM_C = 1.80$

$$\delta_{HW} = 2.50 \cdot s(HW)$$



— $GAMV = 1.30$

-- $GAMV = 0.90$

Bild Nr. 51

- 49 -
BEISPIEL GEWICHTSSTAUMMAUER WASSERSTAND HW

GEOMETRIE: $b_m = 5.0$ $f_r = 1.5$ $d = 1.0$ [m] STOCHASTIK: $V_{PHI} = 7.5$ $V_C = 20.0$ [%] $s(h_w) = .5$ [m]

BETA UND HM-VERLAUF BEI VORGABE DER TEILSICHERHEITSBEIWERTE: $GAM_{PHI} = 1.25$ $GAM_C = 1.80$ $GAM_V = 1.30$ $HW = HW + 2.5S(h_w)$

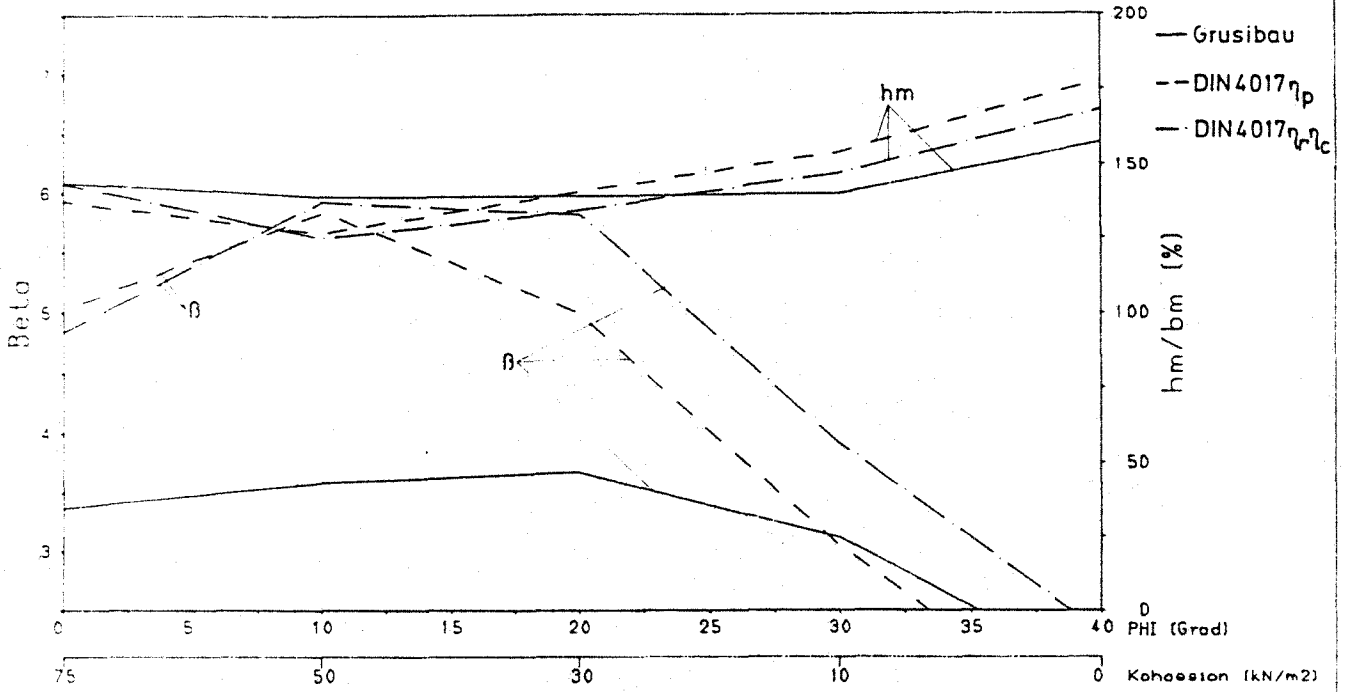


Bild Nr. 52a

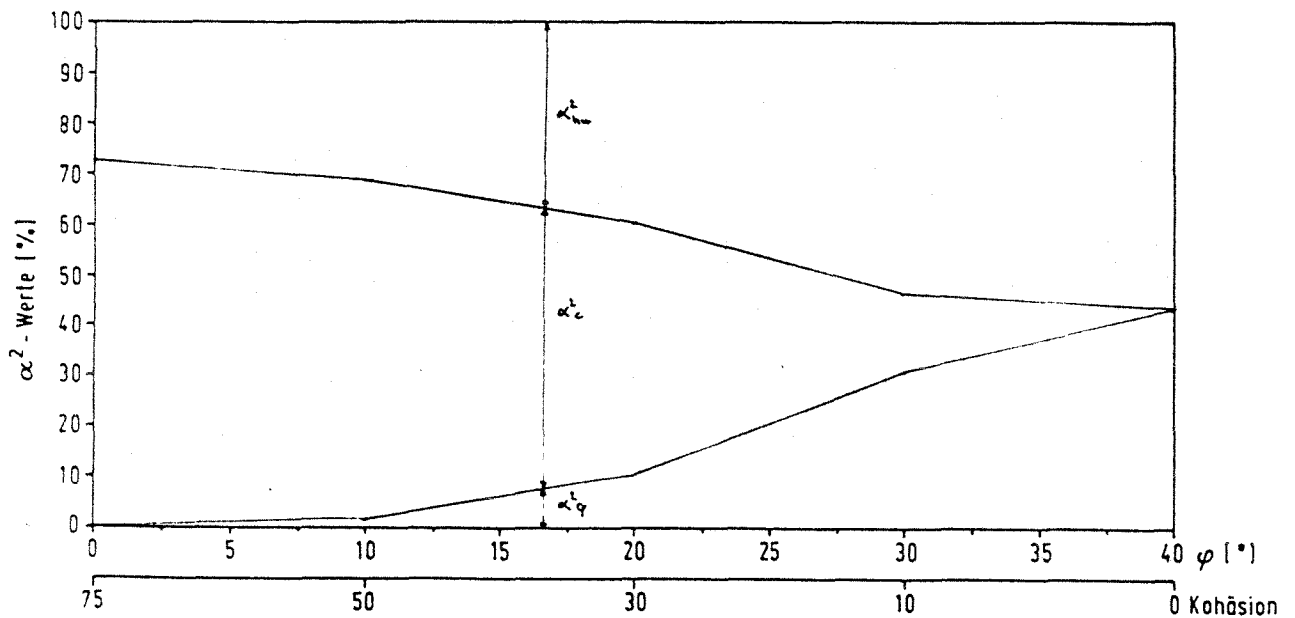


Bild Nr. 52b

BEISPIEL GEWICHTSSTAUMAUER WASSERSTAND HW

GEOMETRIE: $b_m = 5.0$ $f_r = 1.5$ $d = 1.0$ (m) STOCHASTIK: $V_{PHI} = 7.5$ $V_C = 20.0$ (%) $e(h_w) = .5$ (m)

BETA UND HM-VERLAUF BEI VORGABE DER TEILSICHERHEITSBEIWERTE: $GAM_{PHI} = 1.25$ $GAM_C = 1.80$ $GAM_V = .90$ $HW = HW + 2.5S(HW)$

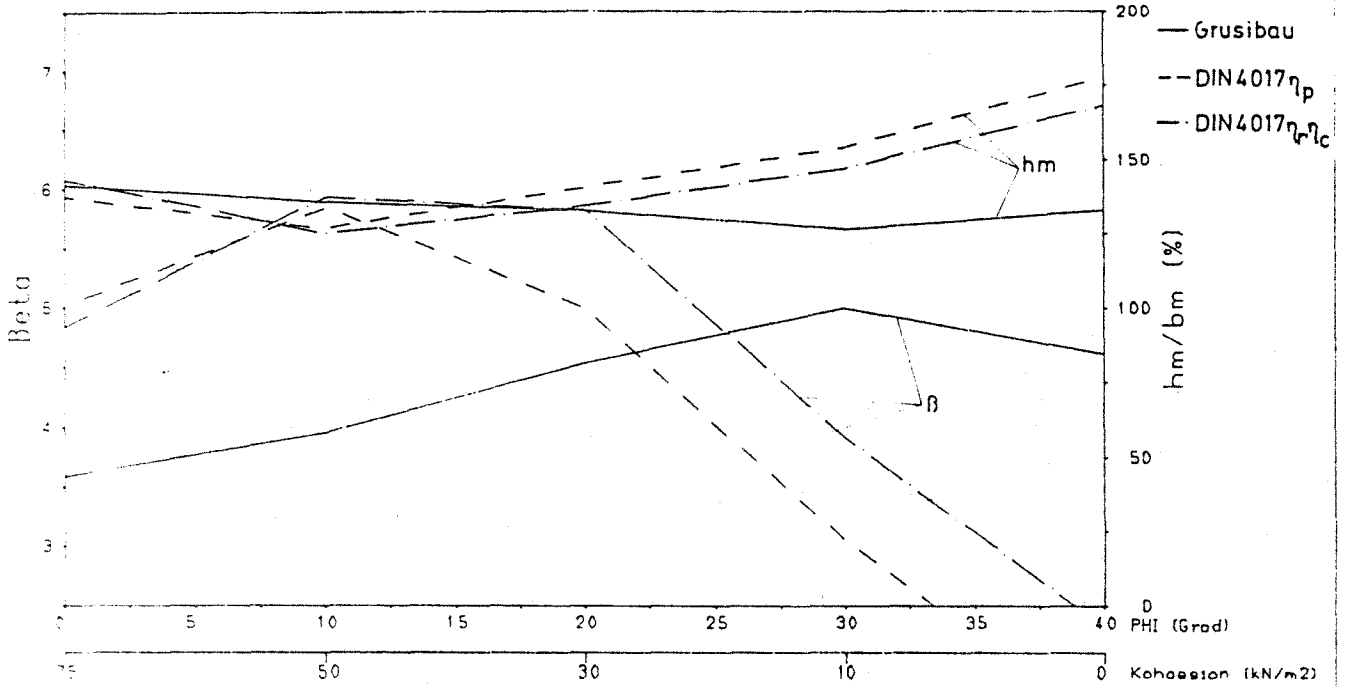


Bild Nr. 53 a

1

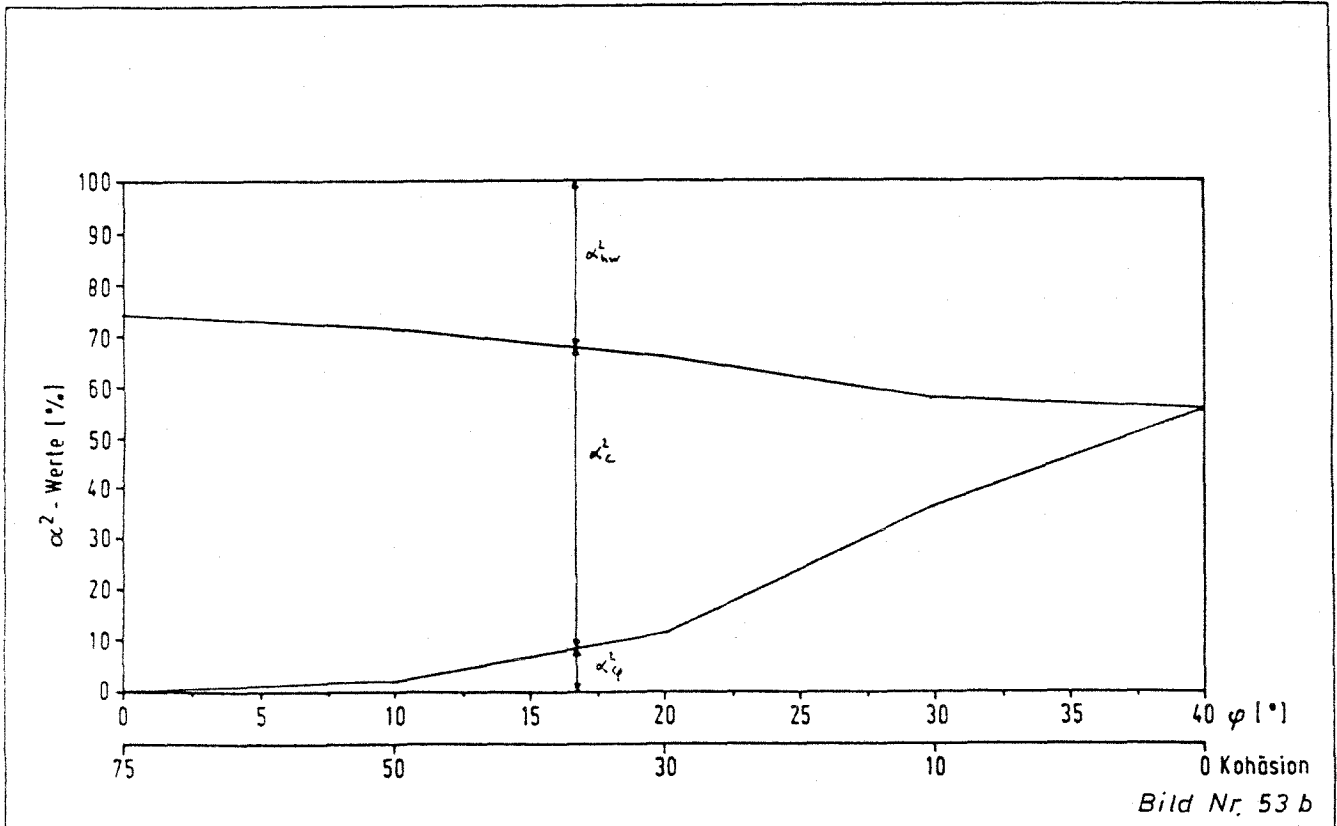


Bild Nr. 53 b

BEISPIEL GEWICHTSSTAUMAUER WASSERSTAND HW

GEOMETRIE: $b_m = 10.0$ $f_r = 1.5$ $d = 2.0$ (m) STOCHASTIK: $V_{PHI} = 7.5$ $V_C = 20.0$ (%) $e(hv) = .5$ (m)

BETA UND HM-VERLAUF BEI VORGABE DER TEILSICHERHEITSBEIWERTE: $GAM_{PHI} = 1.25$ $GAM_C = 1.80$ $GAM_V = 1.30$ $HW = HW + 2.5SI_{HW}$

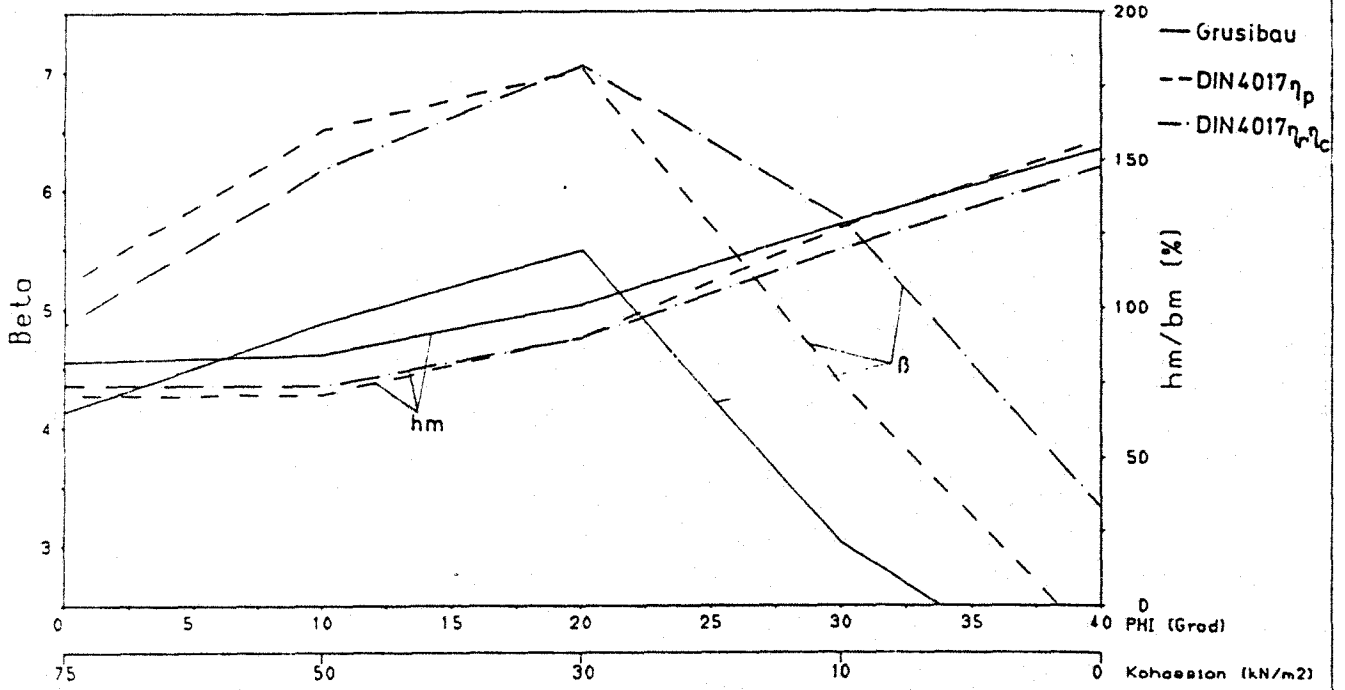


Bild Nr. 54 a

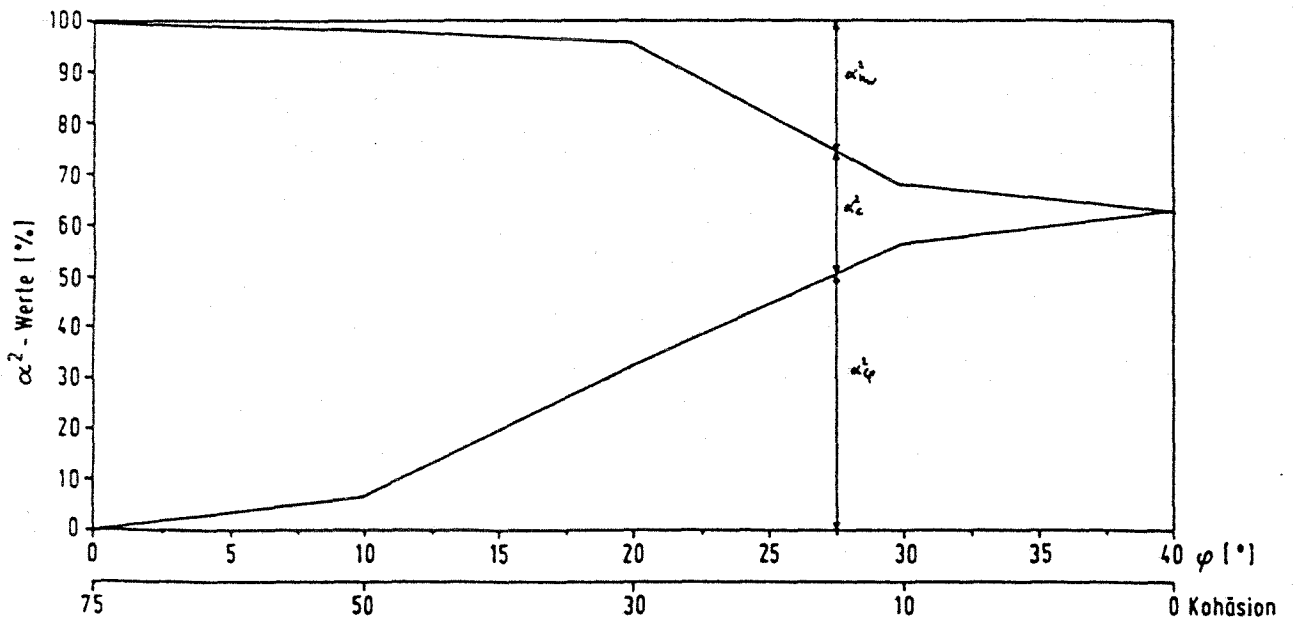


Bild Nr. 54 b

BEISPIEL GEWICHTSSTAUMMAUER WASSERSTAND HW

GEOMETRIE: $b_m = 10.0$ $r = 1.5$ $d = 2.0$ (m) STOCHASTIK: $V_{\phi} = 7.5$ $V_c = 20.0$ (\times) $e(h_w) = .5$ (m)

BETA UND HM-VERLAUF BEI VORGABE DER TEILSICHERHEITSBEIWERTE: $GAM_{\phi} = 1.25$ $GAM_c = 1.80$ $GAM_v = .90$ $H_w = HW + 2.55(HW)$

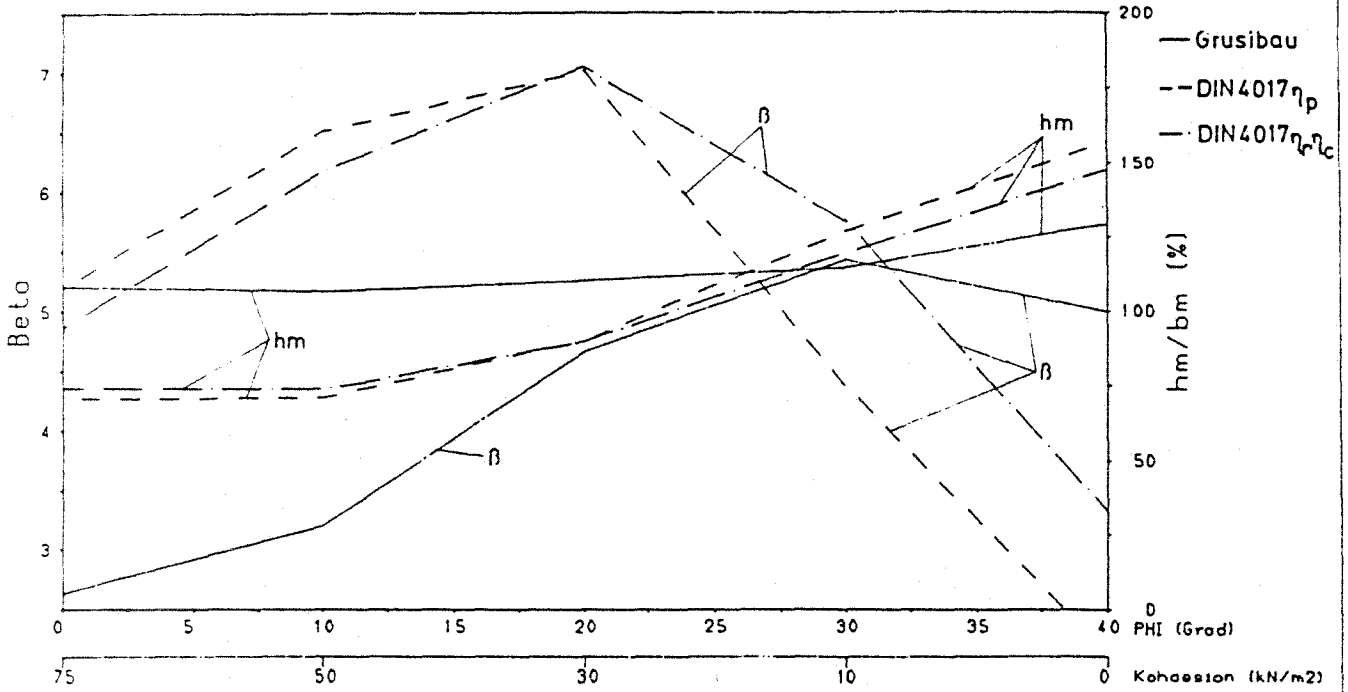


Bild Nr. 55a

1

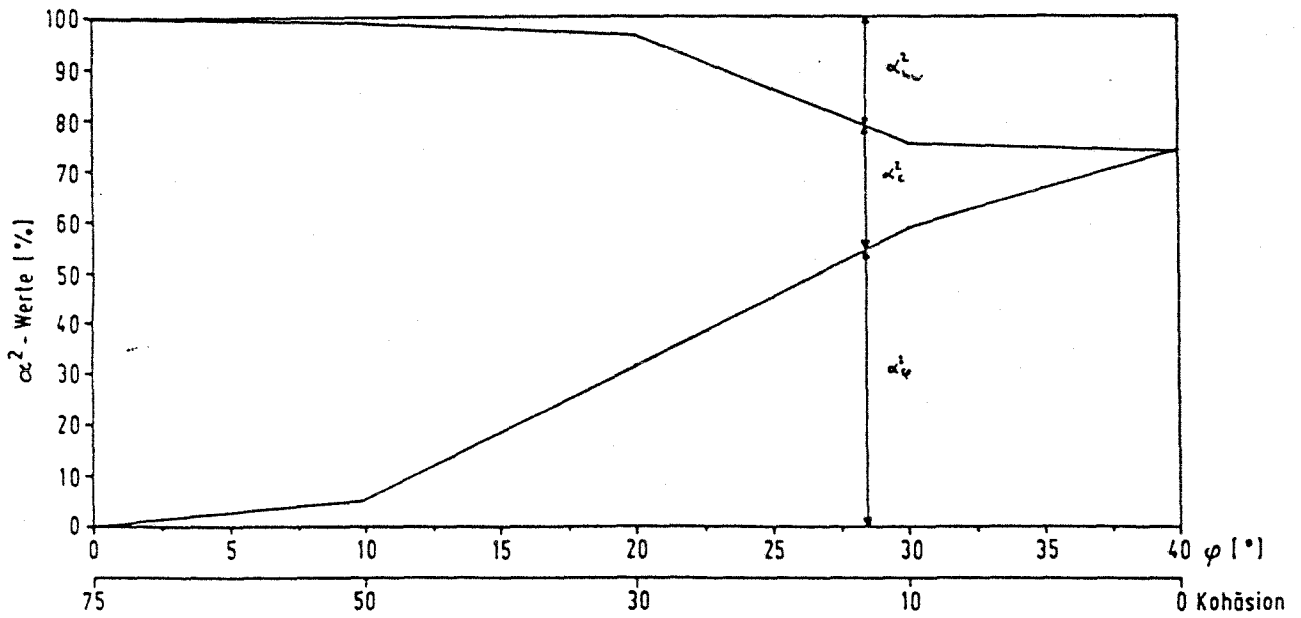


Bild Nr. 55b

BEISPIEL GEWICHTSSTAUMAUER WASSERSTAND HW

GEOMETRIE: $b_m = 15.0$ $r = 1.5$ $d = 3.0$ [m] STOCHASTIK: $V_{PHI} = 7.5$ $V_C = 20.0$ [%] $s(h_w) = .5$ [m]

BETA UND HM-VERLAUF BEI VORGABE DER TEILSICHERHEITSBEIWERTE: $GAM_{PHI} = 1.25$ $GAM_C = 1.80$ $GAM_V = 1.30$ $HW = HW + 2.5S(HW)$

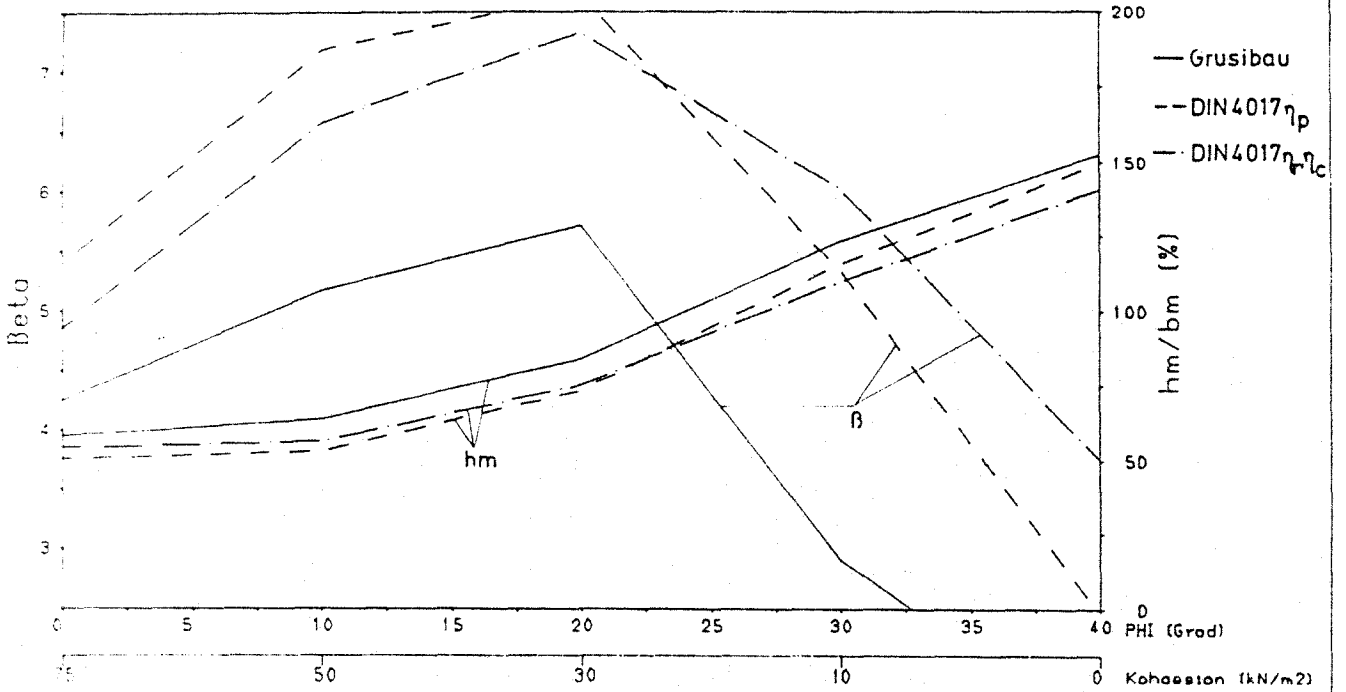


Bild Nr. 56a

1

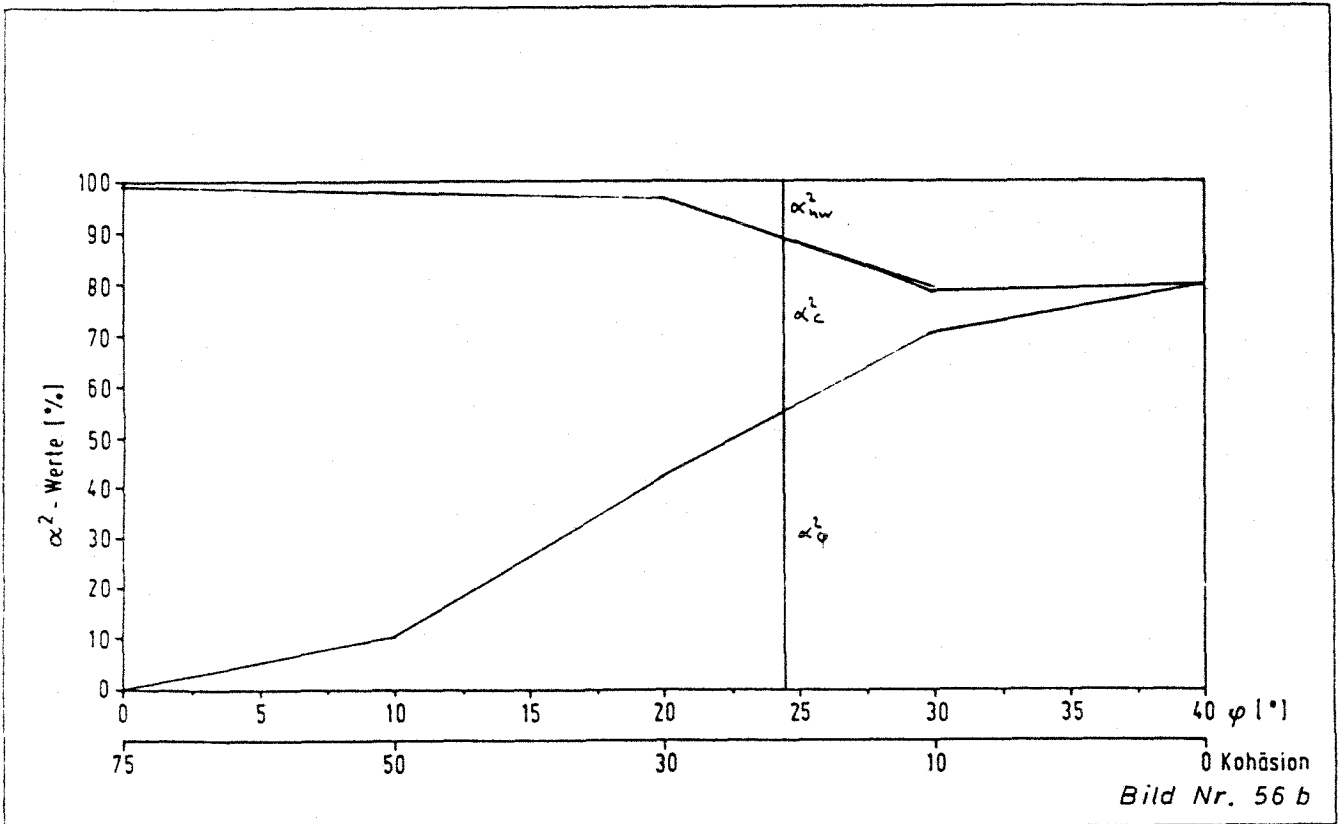


Bild Nr. 56 b

BEISPIEL GEWICHTSSTAUMMAUER WASSERSTAND HW

GEOMETRIE: $b_m = 15.0$ $r = 1.5$ $d = 3.0$ (m) STOCHASTIK: $V_{PHI} = 7.5$ $V_C = 20.0$ (X) $\sigma(hv) = .5$ (m)

BETA UND HM-VERLAUF BEI VORGABE DER TEILSICHERHEITSBEIWERTE: $\gamma_{M_{PHI}} = 1.25$ $\gamma_{M_C} = 1.80$ $\gamma_{M_V} = .90$ $HW = HW + 2.55(HW)$

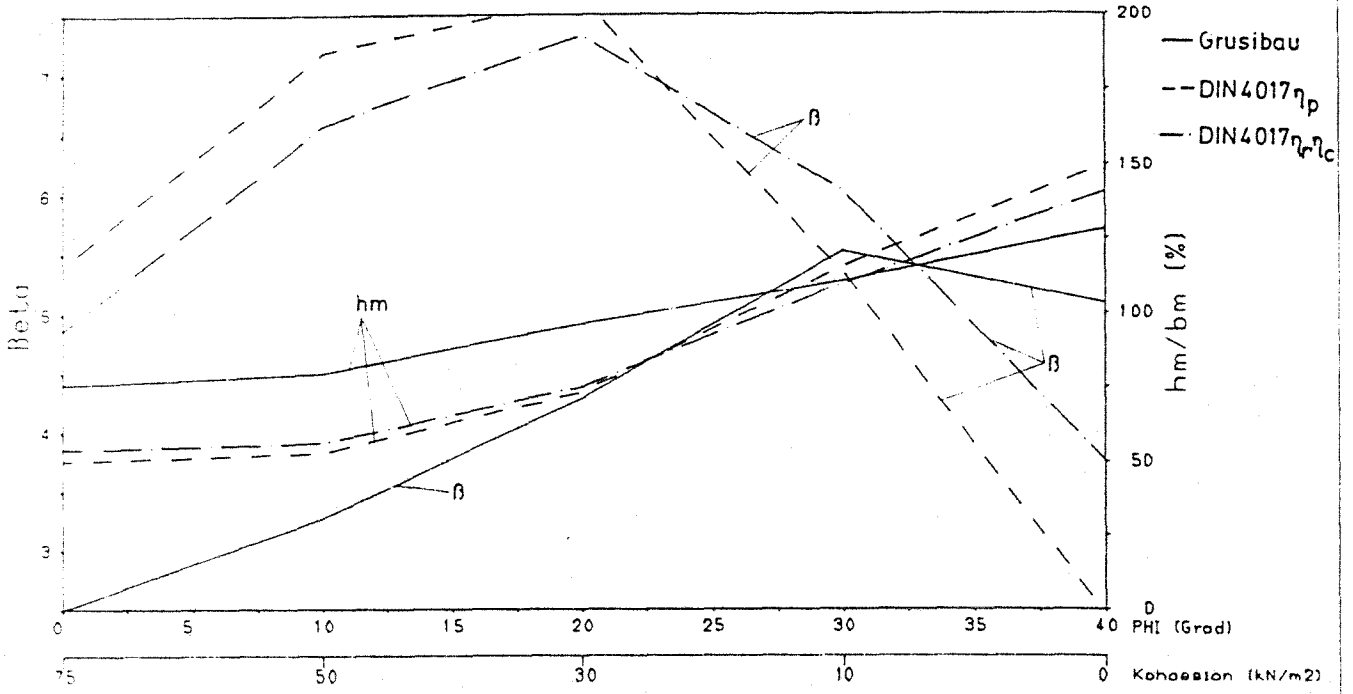


Bild Nr. 57a

1

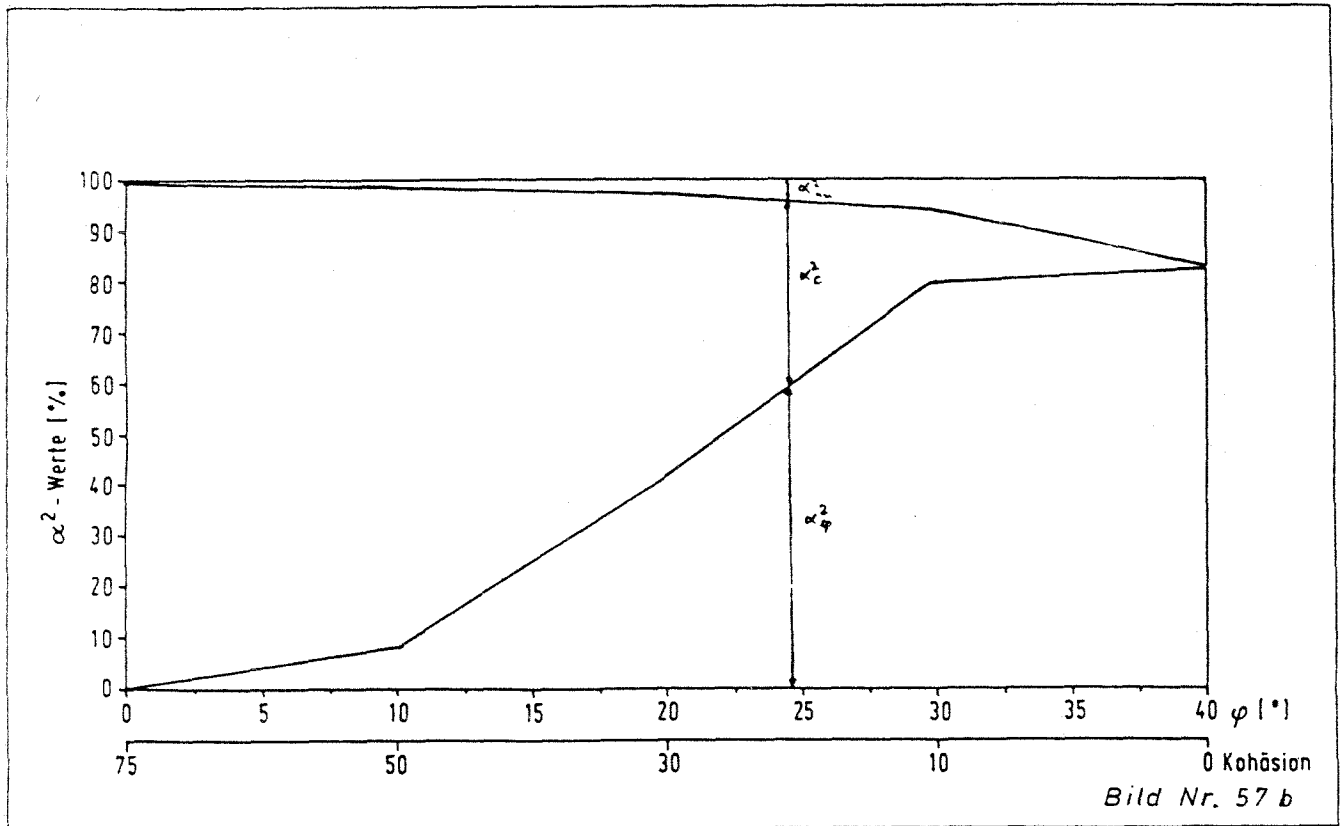
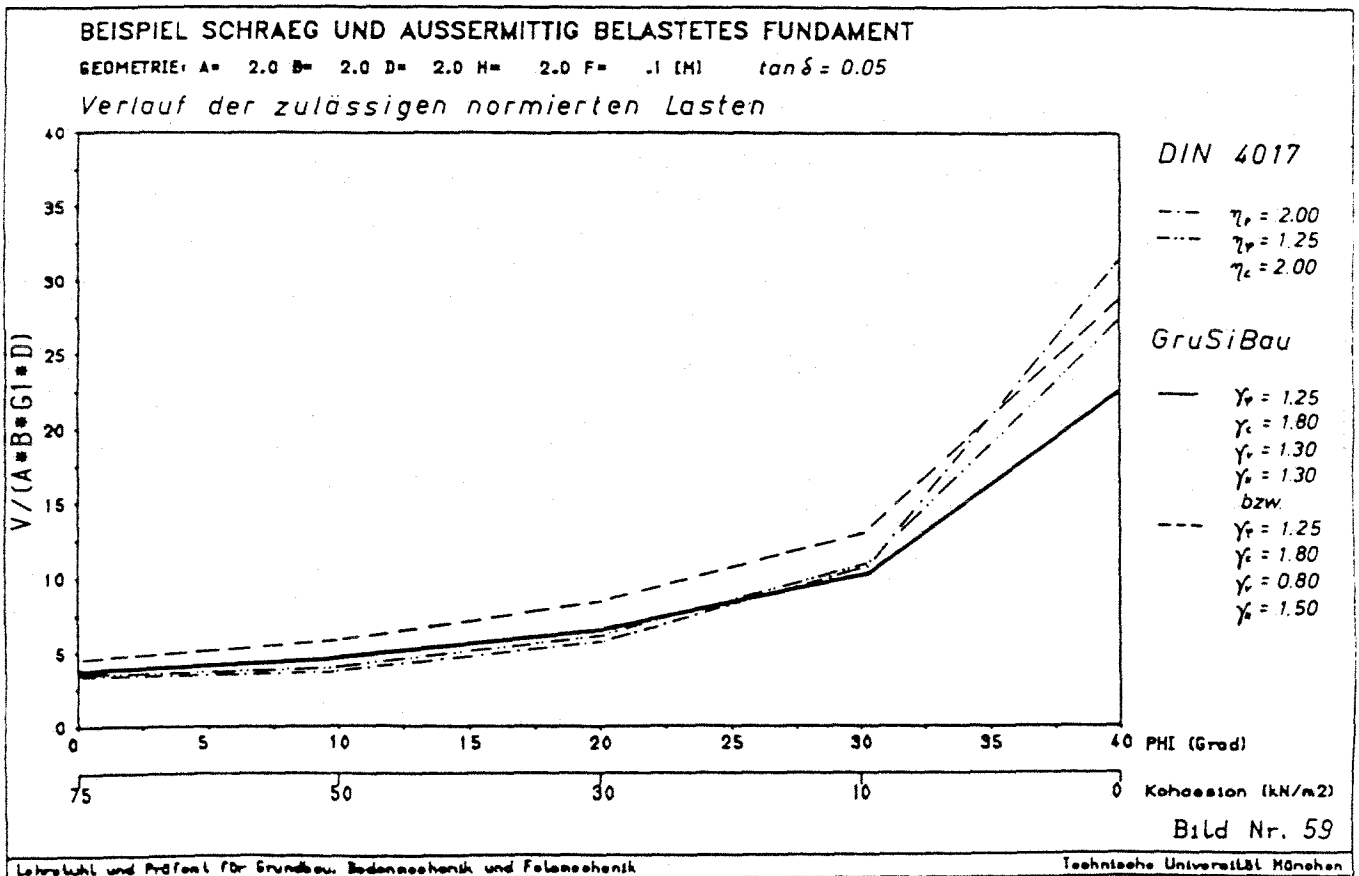
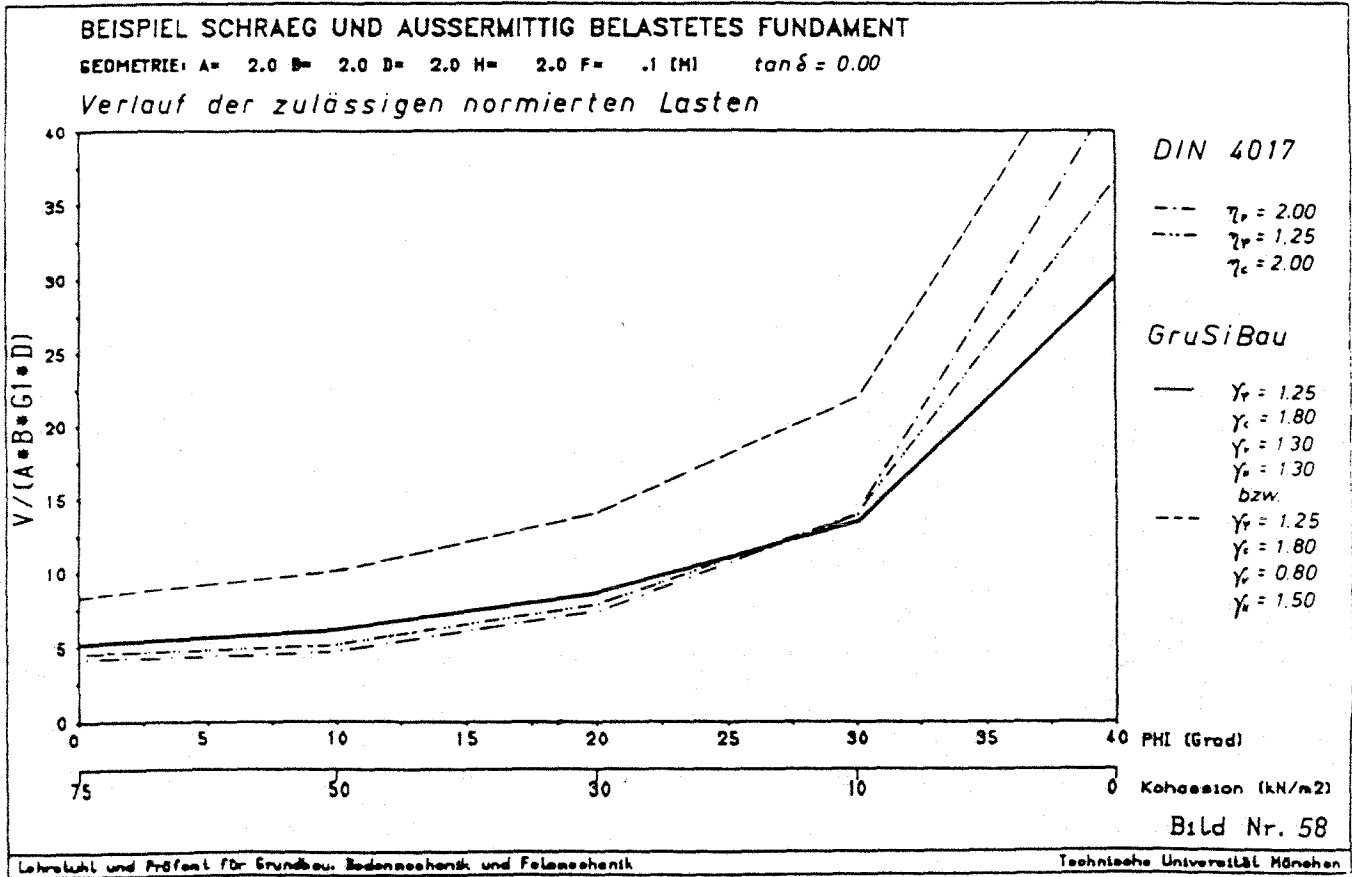
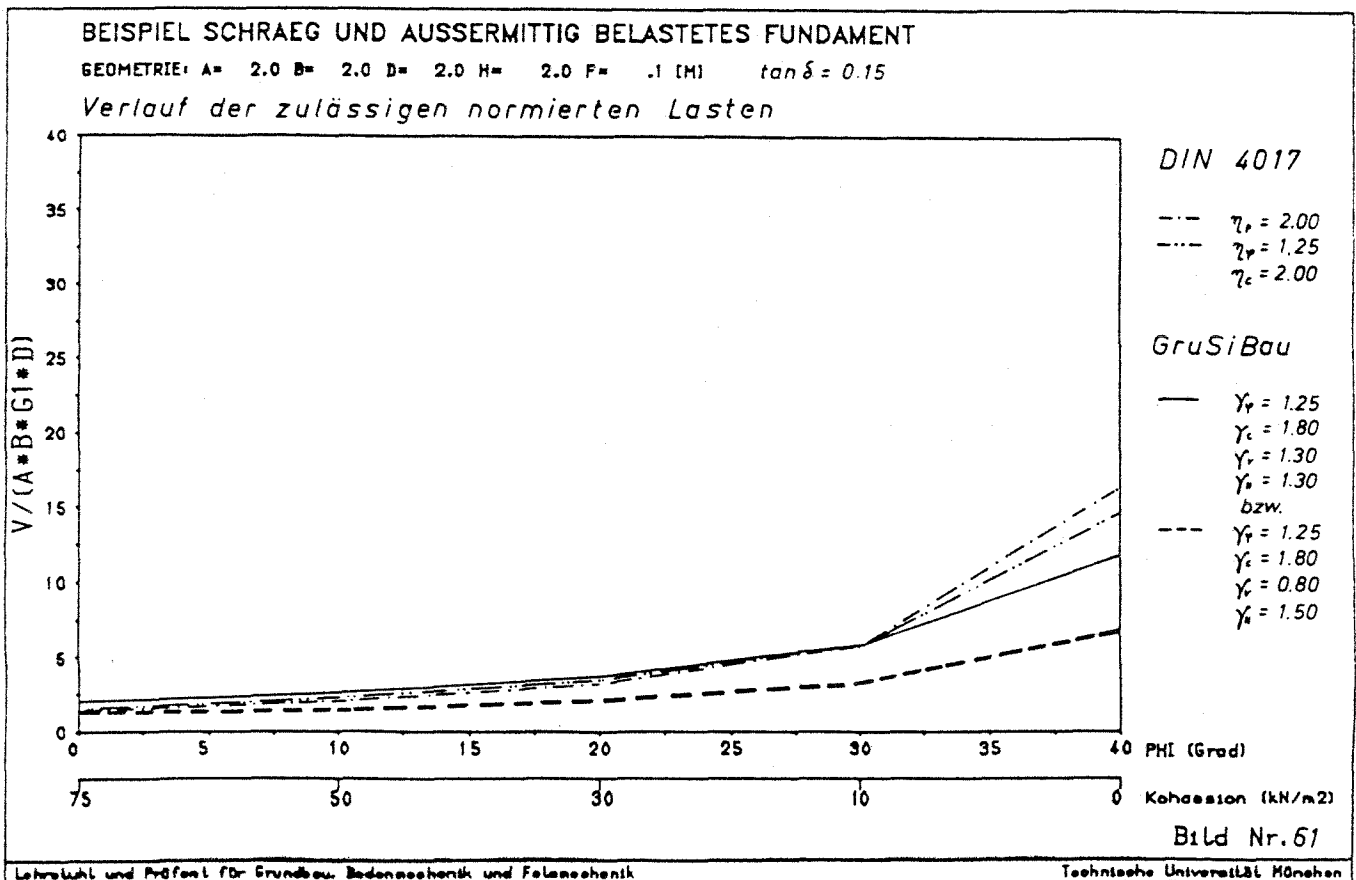
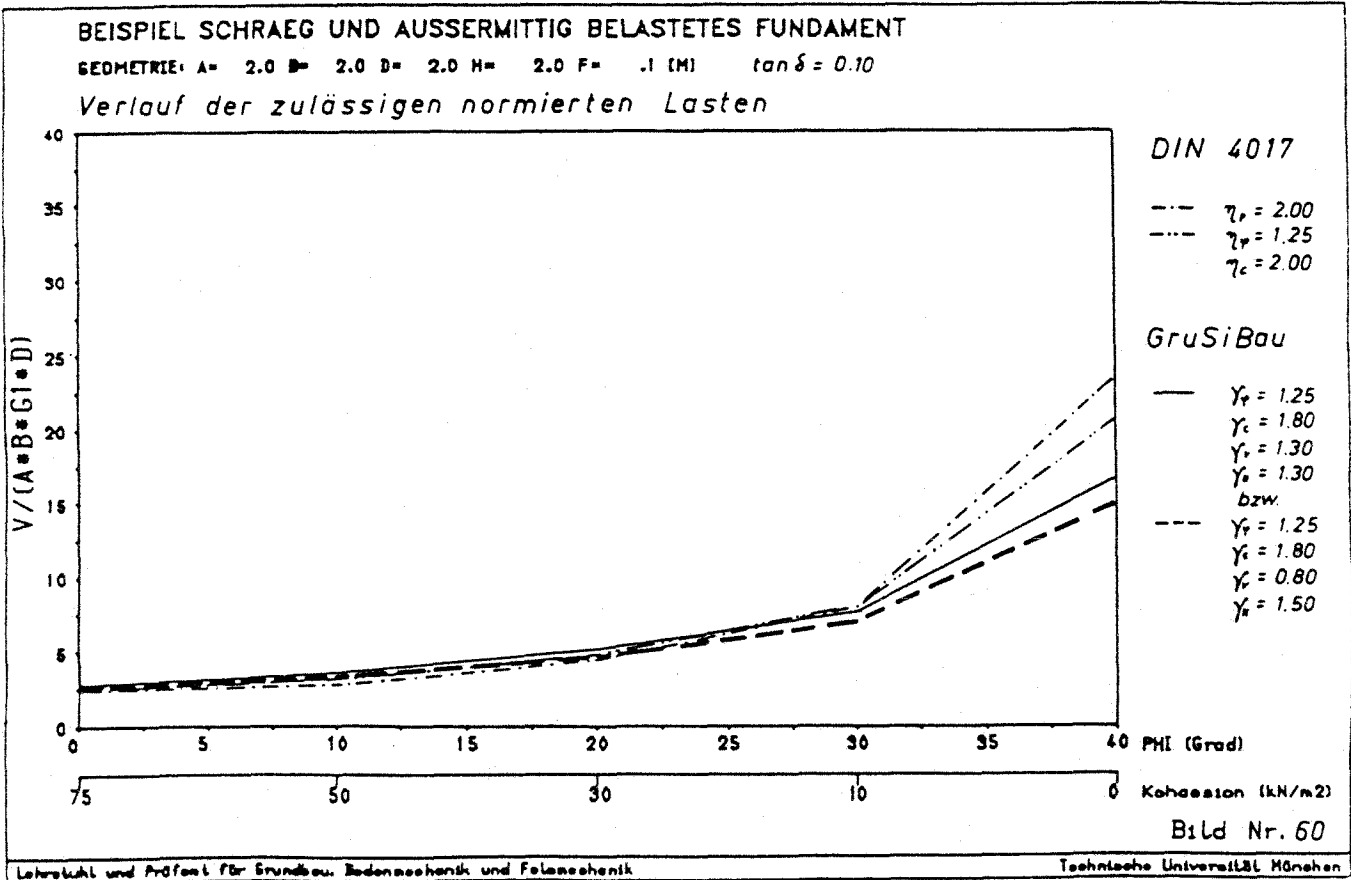


Bild Nr. 57 b

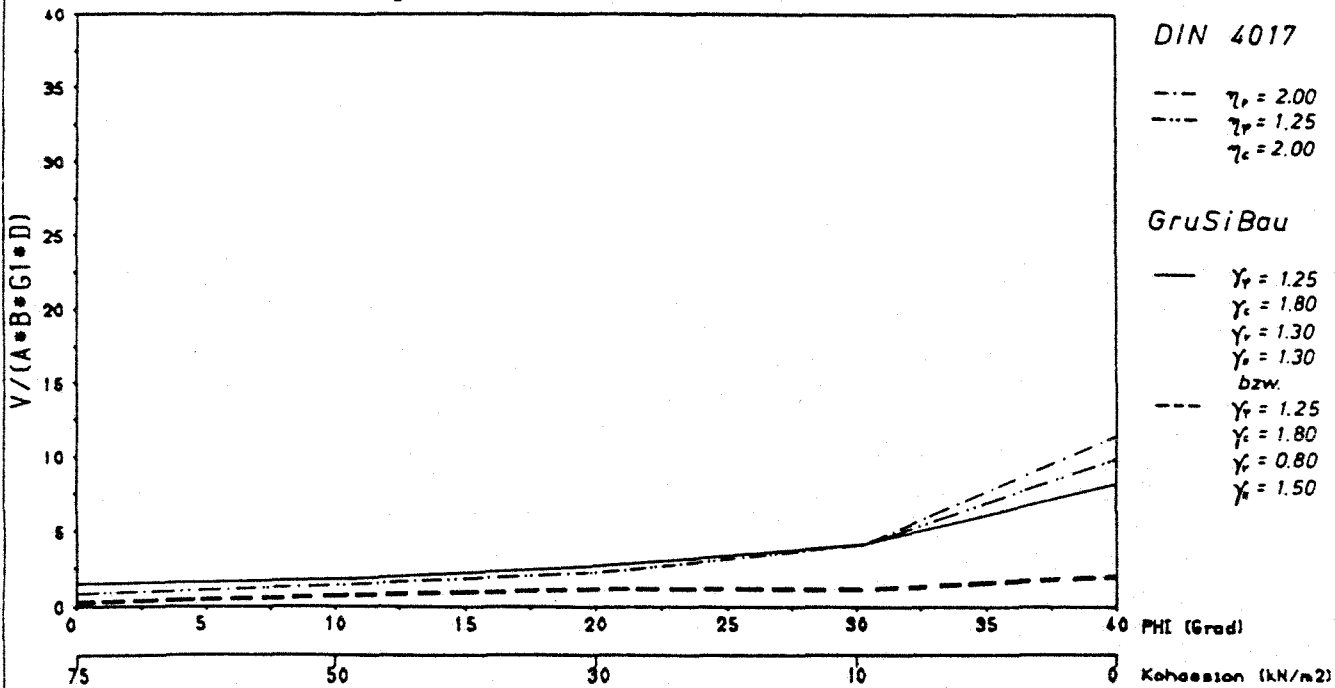




BEISPIEL SCHRAEG UND AUSSERMITTIG BELASTETES FUNDAMENT

GEOMETRIE: A= 2.0 B= 2.0 D= 2.0 H= 2.0 F= .1 (M) $\tan \delta = 0.20$

Verlauf der zulässigen normierten Lasten



DIN 4017

--- $\gamma_f = 2.00$
 - - - $\gamma_f = 1.25$
 - - - $\gamma_c = 2.00$

GruSiBau

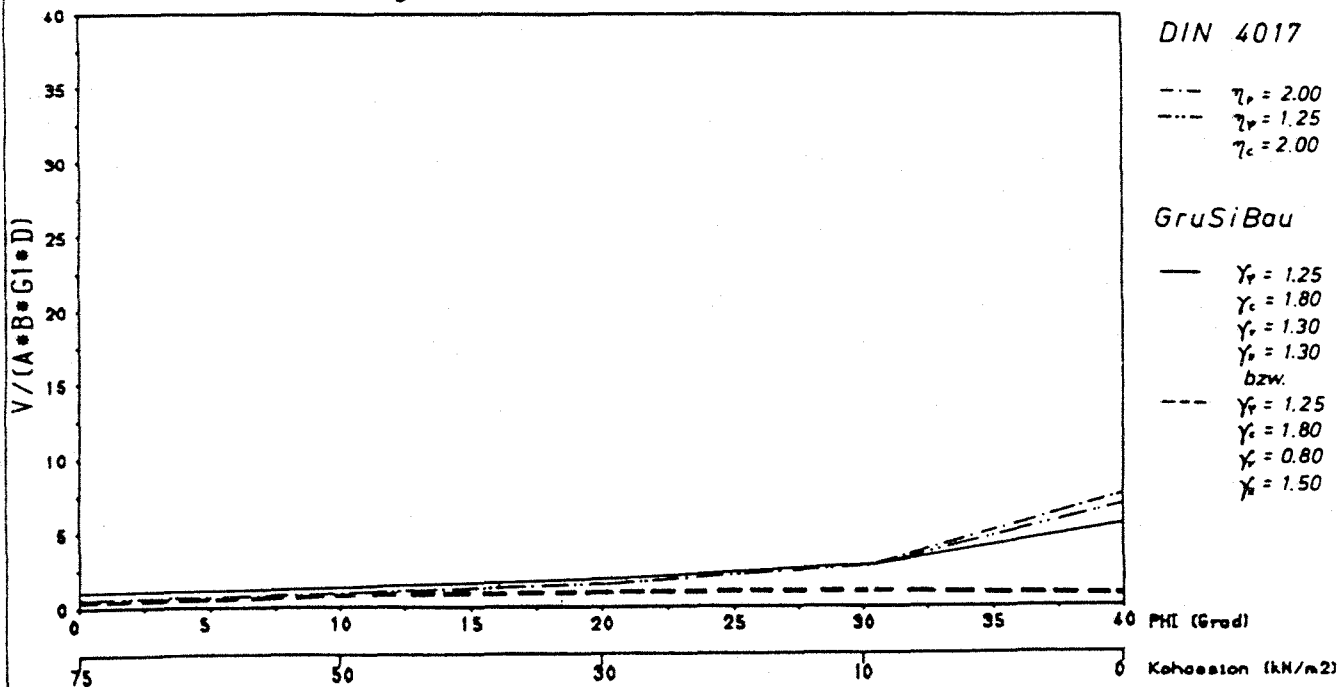
— $\gamma_f = 1.25$
 $\gamma_c = 1.80$
 $\gamma_f = 1.30$
 $\gamma_c = 1.30$
 bzw.
 - - - $\gamma_f = 1.25$
 $\gamma_c = 1.80$
 $\gamma_c = 0.80$
 $\gamma_c = 1.50$

Bild Nr. 62

BEISPIEL SCHRAEG UND AUSSERMITTIG BELASTETES FUNDAMENT

GEOMETRIE: A= 2.0 B= 2.0 D= 2.0 H= 2.0 F= .1 (M) $\tan \delta = 0.25$

Verlauf der zulässigen normierten Lasten



DIN 4017

--- $\gamma_f = 2.00$
 - - - $\gamma_f = 1.25$
 - - - $\gamma_c = 2.00$

GruSiBau

— $\gamma_f = 1.25$
 $\gamma_c = 1.80$
 $\gamma_f = 1.30$
 $\gamma_c = 1.30$
 bzw.
 - - - $\gamma_f = 1.25$
 $\gamma_c = 1.80$
 $\gamma_c = 0.80$
 $\gamma_c = 1.50$

Bild Nr. 63

Tabelle 1

Rechenannahmen für das
Basisbeispiel Stützenfundament

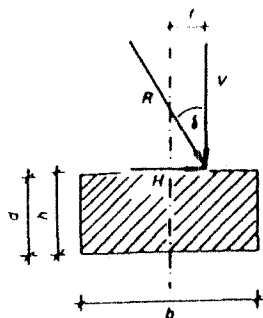
Geometrie		Stochiastik		deterministische Bodenkennwerte	
b	2 m	V_{φ}	7.5 %	γ_1	20 kN/m ³
a/b	1	V_c	20 %	γ_1/γ_2	1
d/b	1	V_v	10 %		
h/b	1	V_H	10 %		
f/b	0.05				

Tabelle 2

Rechenannahmen für das
Basisbeispiel Staumauer

Geometrie		Stochiastik		deterministische Bodenkennwerte	
b_m	10 m	V_{φ}	75 %	γ_1'	10 kN/m ³
d/b_m	0.2	V_c	20 %	γ_1'/γ_2'	1
f	1.5 m	V_c	0 %		
		S_{hw}	0.5 m		

BEMESSUNGSBEISPIEL



RECHENANNAHMEN

GEOMETRIE

$a = 2.00 \text{ m}$ $b = 2.00 \text{ m}$
 $h = 2.00 \text{ m}$ $d = 2.00 \text{ m}$
 $l = 0.10 \text{ m}$
 $\tan \delta = 0.05$

BODENKENNWERTE

Scherparameter
 $\bar{\varphi} = 10^\circ$ $\bar{c} = 50 \text{ KN/m}^2$
 Wichte
 $\gamma_1 = \gamma_2 = 20 \text{ KN/m}^3$

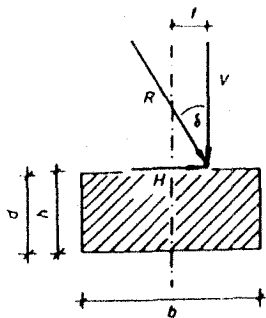
VORSCHRIFT	SICHERHEITSBEIWERTE	BEMESSUNGSWERTE		e (m)	b' (m)	V_{zul} (KN)	TRAGFAHIGKEITSBEIWERTE (1)			FORMBEIWERTE (2)			NEIGUNGSBEIWERTE (3)			c_{ul} ($\frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$)	V_{h} (KN)	V_{zul} (KN)
		φ^0 (°)	C ($\frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$)				N_c	N_d	N_s	v_1	v_2	v_3	x_1	x_2	x_3			
DIN 4017	$\gamma_1 = 2.00$	7.50	37.50	0.20	1.60	640.0	7.33	1.96	0.12	1.21	1.10	0.76	0.87	0.93	0.91	377.4	1207.7	603.8
	$\gamma_1 = 1.25$ $\gamma_2 = 2.00$	6.00	18.75	0.20	1.60	640.0	6.81	1.71	0.07	1.20	1.08	0.76	0.86	0.94	0.92	205.3	657.1	657.1
GrüSiBau	$\gamma_1 = 1.25$ $\gamma_2 = 1.00$ $\gamma_3 = 1.30$ $\gamma_4 = 1.30$	8.00	27.77	0.20	1.60	640.0 775.1	7.52	2.05	0.14	1.21	1.11	0.76	0.87	0.93	0.91	312.2	1007.7 998.9	775.1 768.4
	$\gamma_1 = 1.25$ $\gamma_2 = 1.00$ $\gamma_3 = 0.80$ $\gamma_4 = 1.50$	8.00	27.77	0.28	1.42	640.0 1035.0	7.52	2.05	0.14	1.19	1.09	0.78	0.78	0.88	0.84	277.9	828.0 791.9	1035.0 989.9

- DIN 4017**
- (1) $\varphi^0 = \arctan(\tan(\bar{\varphi}_{\text{ult}}) / \gamma_1)$ $\varphi_{\text{zul}} = \bar{\varphi} - 25^\circ$
- (2) $c^0 = c_{\text{ult}} / \gamma_1$ $c_{\text{zul}} = 0.75 \cdot \bar{c}$
- (3) $e = \tan \delta \cdot h - l$
- (4) $b' = b - 2 \cdot e$
- (5) Beiwerte nach DIN 4017

- GrüSiBau**
- $\varphi^0 = \gamma_1 / \gamma_2$ $\gamma_2 = \bar{\varphi}$
- $c^0 = c_0 / \gamma_1$ $c_{\text{zul}} = \bar{c}$
- $e = \tan \delta \cdot h \cdot \gamma_1 / \gamma_2 + l$

Tabelle 3

BEMESSUNGSBEISPIEL



RECHENANNAHMEN

GEOMETRIE

$a = 2.00 \text{ m}$ $b = 2.00 \text{ m}$
 $h = 2.00 \text{ m}$ $d = 2.00 \text{ m}$
 $f = 0.10 \text{ m}$
 $\tan \delta = 0.15$

BODENKENNWERTE

Scherparameter
 $\bar{\varphi} = 20^\circ$ $\bar{c} = 30 \text{ KN/m}^2$
 Wichte
 $\gamma = \gamma_s = 20 \text{ KN/m}^3$

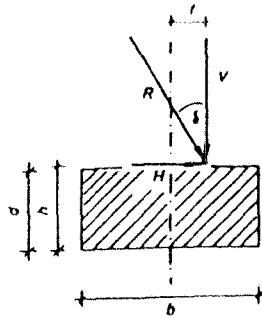
VORSCHRIFT	SICHERHEITSBEIWERTE	BEMESSUNGSWERTE		e (1)	b' (2)	V_{zul}^* (KN)	TRAGFAHIGKEITSBEIWERTE ⁽⁵⁾			FORMBEIWERTE ⁽⁶⁾			NEIGUNGSBEIWERTE ⁽⁷⁾			c_{red} (KN/m)	V_s (KN)	V_{eul} (KN)
		φ^* (°)	c^* (KN/m ²)				N_c	N_d	N_s	v_c	v_d	v_s	x_c	x_d	x_s			
DIN 4017	$\gamma_s = 2.00$	17.50	22.50	0.40	1.20	400.0 532.2	12.71	5.00	1.26	1.22	1.18	0.82	0.69	0.75	0.66	436.7	1064.3 1048.1	532.2 524.0
	$\gamma_s = 1.25$ $\gamma_c = 2.00$	14.16	11.25	0.40	1.20	800.0 541.0	10.46	3.63	0.66	1.20	1.14	0.82	0.66	0.75	0.66	230.1	541.0 552.2	541.0 552.2
GruSiBau	$\gamma_c = 1.25$ $\gamma_s = 1.80$ $\gamma_d = 1.30$ $\gamma_n = 1.30$	16.00	16.67	0.40	1.20	615.0 601.1	11.63	4.33	0.95	1.21	1.16	0.82	0.68	0.75	0.66	326.0	781.4 782.4	601.1 601.8
	$\gamma_c = 1.25$ $\gamma_s = 1.80$ $\gamma_c = 0.80$ $\gamma_n = 1.50$	16.00	16.67	0.66	0.68	615.0 338.4	11.63	4.33	0.95	1.12	1.09	0.90	0.48	0.60	0.47	223.2	270.7 301.4	338.4 376.7

DIN 4017
 (1) $\varphi^* = \arctan(\tan(\bar{\varphi}_{\text{red}}) / \gamma_s)$ $\varphi_{\text{red}} = \bar{\varphi} - 25^\circ$
 (2) $c^* = c_{\text{red}} / \gamma_c$ $c_{\text{red}} = 0.75 \cdot \bar{c}$
 (3) $e = \tan \delta \cdot h + f$
 (4) $b' = b - 2 \cdot e$
 (5) Beiwerte nach DIN 4017

GruSiBau
 $\varphi^* = \gamma_d / \gamma_c$ $\gamma_c = \bar{\varphi}$
 $c^* = c_n / \gamma_c$ $c_n = \bar{c}$
 $e = \tan \delta \cdot h \cdot \gamma_c / \gamma_c + f$

Tabelle 4

BEMESSUNGSBEISPIEL



RECHENANNAHMEN

GEOMETRIE

$a = 2.00 \text{ m}$ $b = 2.00 \text{ m}$
 $h = 2.00 \text{ m}$ $d = 2.00 \text{ m}$
 $f = 0.10 \text{ m}$
 $\tan \delta = 0.05$

BODENKENNWERTE

Scherparameter
 $\bar{\varphi} = 40^\circ$ $\bar{c} = 0 \text{ KN/m}^2$
 Wichte
 $\gamma_1 = \gamma_2 = 20 \text{ KN/m}^3$

VORSCHRIFT	SICHERHEITSBEIWERTE	BEMESSUNGSWERTE		e (m)	b' (m)	V _{zul} (KN)	TRAGFAHIGKEITSBEIWERTE (B)			FORMBEIWERTE (B)			NEIGUNGSBEIWERTE (B)			c _u (KN/m ²)	V _k (KN)	V _{zul} (KN)
		γ° (°)	c° (KN/m ²)				N _c	N _q	N _γ	v _c	v _q	v _γ	x _c	x _q	x _γ			
DIN 4017	γ _s = 200	37.50	0	0.20	1.60		58.40	45.81	34.38	1.49	1.48	0.76	0.89	0.89	0.85	3165.6	10130.0	5052.2
	γ _s = 125 γ _u = 200	31.54	0	0.20	1.60		34.16	21.97	12.87	1.43	1.41	0.76	0.89	0.89	0.85	1388.9	4444.4	4444.4
GruSiBau	γ _s = 125 γ _u = 1.80 γ _s = 130 γ _u = 130	32.00	0	0.20	1.60		35.49	23.17	13.85	1.44	1.42	0.76	0.89	0.89	0.85	1475.2	4720.7	3631.2
	γ _s = 125 γ _u = 1.80 γ _s = 0.80 γ _u = 1.50	32.00	0	0.29	1.43		35.49	23.17	13.85	1.39	1.37	0.78	0.80	0.81	0.74	1272.9	3627.9	4534.9

DIN 4017

- (1) $\gamma^\circ = \arctan(\tan(\bar{\varphi}_{zul})/\bar{\gamma}_s)$ $\bar{\gamma}_{zul} = \bar{\gamma} - 25^\circ$
 (2) $c^\circ = c_{ul}/\bar{\gamma}_c$ $c_{ul} = 0.75 \cdot \bar{c}$
 (3) $e = \tan \delta \cdot h + f$
 (4) $b' = b - 2 \cdot e$
 (5) Beiwerte nach DIN 4017

GruSiBau

- $\gamma^\circ = \gamma_u/\bar{\gamma}_s$ $\gamma_u = \bar{\gamma}$
 $c^\circ = c_u/\bar{\gamma}_c$ $c_u = \bar{c}$
 $e = \tan \delta \cdot h \cdot \gamma_u/\bar{\gamma}_c + f$

Tabelle 5