

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

T 2739

T 2739

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

1998, ISBN 3-8167-4913-5

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.fhg.de

URL <http://www.irb.fhg.de>

Forschungsbericht
Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Safety Examinations of Shallow Foundations

von M. Kany/ M. El Gendy

erstellt im Auftrag des Institutes für Bautechnik, Berlin
(Forschungsbericht IV 1-5-742/93)

1996

Prof. Dr.-Ing. M. KANY, Zirndorf
Dr.-Ing. M. EL GENDY, Suez Canal Universität/Ägypten

Vorwort

Bei der Planung von Grundbauwerken ist die Beurteilung der Sicherheit eine wichtige Aufgabe des Bauingenieurs. Während lange Jahre der Ansatz eines pauschalen Sicherheitsbeiwertes zur Anwendung kam, ist es in den letzten 15 Jahren in Zusammenhang mit der Vorbereitung einheitlicher europäischer Regelwerke, insbesondere der EC 7, und nach Herausgabe der GRUSIBAU zu teilweise heftigen Fachdiskussionen über die im Grundbau anzuwendenden Verfahren und Ansätze von Partialsicherheitsbeiwerten γ gekommen. Insbesondere besteht große Unsicherheit über die Anwendung des neuen Sicherheitskonzeptes bei der Berechnung von Flächengründungen.

Hinzu kommt auch die Frage, welches Rechenmodell sich für die Berechnung der Sohldruckverteilung am besten eignet. Hierzu wurde von KANY/EL GENDY auf der Basis der FE-Methode ein für die Praxis geeignetes neues Computerprogramm ELPLA entwickelt. Damit können zur Untersuchung der Wechselwirkung Baugrund/Bauwerk Berechnungen wahlweise mit 8 verschiedenen Berechnungsmodellen durchgeführt werden.

In der vorliegenden Forschungsarbeit werden die Ergebnisse umfangreicher Vergleichsberechnungen mit konventionellen Sicherheitskonzepten und dem neuen Partialsicherheitskonzept nach EC 7 und DIN 1054 Teil 100 vorgestellt und ihre Anwendbarkeit in der Praxis erprobt.

Die vier Monate dauernde Forschungsarbeit wurde vom Institut für Bautechnik Berlin finanziell unterstützt. Für das erwiesene Vertrauen und die Bereitstellung der Mittel bedanken wir uns auch danken wir besonders Herrn Dr.-Ing. J. Hanisch, der auch viele wertvolle Anregungen zu den bearbeiteten Problemen gab. Gedankt wird auch den Fachbetreuern, Herrn Prof. Dr. Katzenbach, TH Darmstadt und Herrn Dr. Weiß, Degebo Berlin. Zu danken haben wir auch Frau Weidler für die Erstellung der Reinschrift des Forschungsberichtes.

M. Kany
Zirndorf

M. El Gendy
Uni Suez Canal/Ägypten

Inhaltsverzeichnis

Inhalt	Seite
1 Einleitung	5
2 Grenzzustände	6
3 Einwirkungen und Widerstände	7
3.1 Allgemeines	7
3.2 Entwurfsdaten für die Einwirkungen	8
3.3 Entwurfsdaten für die Widerstände	8
3.4 Entwurfswerte für die Betoneigenschaften	8
3.5 Entwurfswerte für die Bodeneigenschaften	9
3.6 Bedingung der Nachweise der Tragfähigkeit	9
4 Bemessung der Platte	10
4.1 Plattendicke	10
4.2 Bemessung der Platte für Biegung nach DIN 1045	10
4.3 Bemessung der Platte für Biegung nach DIN EC 2	11
4.4 Nachweis der Tragfähigkeit für Durchstanzen nach DIN 1045	12
4.5 Nachweis der Tragfähigkeit für Durchstanzen nach EC 2	15
4.6 Nachweis der Grundbruchsicherheit nach EC 2 - 6	18
4.7 Nachweis der Grundbruchsicherheit nach EC 7	19
4.8 Nachweis der Grundbruchsicherheit nach DIN 4017 mit Sicherheitsbeiwerten nach DIN 1054 (1976)	20
5 Grundlage der Berechnungsmodelle	21
5.1 Allgemeines	21
5.2 Einfache Annahme über den Sohldruck	23
5.3 Bettungsmodulverfahren	24
5.3.1 Bettungsmodulverfahren mit konstantem Bettungsmodul	24
5.3.2 Bettungsmodulverfahren mit von Knoten zu Knoten unterschiedlichen Bettungsmoduli	25
5.3.3 Bettungsmodulverfahren mit von Knoten zu Knoten unterschiedlichen Bettungsmoduli mit iterativer Verbesserung	25
5.4 Steifemodulverfahren	25
5.4.1 Vorbemerkungen	25
5.4.2 Berechnung für den isotropen Halbraum	26
5.4.3 Berechnung für das Steifemodulverfahren bei elastisch geschichtetem Baugrund	27
5.4.4 Steifemodulverfahren für starre Fundamente	28

Inhalt	Seite
6 Zahlenbeispiele	29
6.0 Wahl der Beispiele	29
6.1 Beispiel 1 (Berechnung einer quadratischen Platte)	29
6.1.1 Aufgabenstellung	29
6.1.2 Lösung der Aufgabe	32
6.1.3 Ergebnisse: Sohldrücke, Verformung, Schnittgrößen	33
6.1.4 Bemessung der Platte nach DIN 1045	40
6.1.5 Bemessung der Platte nach EC 2	46
6.1.6 Vergleich der Bemessung nach DIN 1045 und EC 2	54
6.1.7 Nachweis der Grundbruchsicherheit nach EC 2-6	56
6.1.8 Nachweis der Grundbruchsicherheit nach EC 7	58
6.1.9 Nachweis der Grundbruchsicherheit nach DIN 4017 mit Sicherheitsbeiwerten nach DIN 1054 (1976)	61
6.1.10 Vergleich der Ergebnisse zur Grundbruchsicherheit	63
6.2 Beispiel 2 (Berechnung der Fundamentplatte für ein Hochhaus)	64
6.2.1 Allgemeines	64
6.2.2 Aufgabenstellung	64
6.2.3 Bettungsmoduli k_s	70
6.2.4 Lösung der Aufgabe und Ergebnisse	72
6.2.5 Bemessung der Platte nach DIN 1045	86
6.2.6 Bemessung der Platte nach EC 2	98
6.2.7 Vergleich der Bemessung nach DIN 1045 und EC 2	113
6.2.8 Nachweis der Grundbruchsicherheit nach EC 2-6	115
6.2.9 Nachweis der Grundbruchsicherheit nach EC 7	119
6.2.10 Nachweis der Grundbruchsicherheit nach DIN 1054 (1976)	122
6.2.11 Vergleich der Ergebnisse zur Grundbruchsicherheit	124
7 Zusammenfassung der Ergebnisse	125
7.1 Allgemeines	125
7.2 Unterschiede der Bemessung nach DIN 1045 und EC 2	125
7.3 Unterschiede zur Grundbruchsicherheit	125
7.4 Unterschiede der verschiedenen Baugrundmodelle	126
7.5 Schlußbemerkung	128
7.6 Ausblick	129
8 Literatur	130

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

von

M. Kany/ M. El Gendy

1 Einleitung

Flächengründungen sind Fundamente von Bauwerken, die statisch durchgehend zwischen den Stützen verlaufen, so daß sie oft erhebliche Biegemomente und Querkräfte aufnehmen müssen. Sie kommen in der Baupraxis häufig vor bei nachgiebigem und ungleichem Baugrund oder großen Auflasten, aber auch zur Verhinderung des Eindringens von Grundwasser in die Kellerräume von Gebäuden.

Bisher gibt es kaum praktische Hinweise, wie man Flächengründungen mit dem neuen statistischen Sicherheitskonzept [14] unter Verwendung von Teilsicherheitsbeiwerten statt eines globalen Sicherheitsfaktors berechnen kann. Ein weiteres Problem stellen die Modelle dar, die zur Analyse von Flächengründungen benutzt werden können, um die Wechselwirkung zwischen Boden und Bauwerk untersuchen zu können.

Zu diesem Zweck werden in der folgenden Arbeit einige Möglichkeiten vorgestellt, um Flächengründungen nach Euro-Normen zu berechnen.

Im folgenden werden die Vorschriften in den Eurocodes EC 1 [10], EC 2 [11] und EC 7 [12] als generelle Anleitung angesehen, um Gründungen zu berechnen. Alle Berechnungen von Flächengründungen wurden mit dem Programm ELPLA (Version 5.02) durchgeführt, das von KANY/EL GENDY [20] entwickelt wurde.

Die mathematische Lösung der Plattenstatik mit Hilfe des Computerprogrammes basiert auf der Methode der Finiten Elemente. Das Programm vermag Plattengründungen mit 8 verschiedenen Arten von Bodenmodellen zu analysieren. Weitere Einzelheiten über die mathematischen Modelle sind in [15], [18] und [19] zu finden.

Safety Examinations of Shallow Foundations

by

M. Kany/ M. El Gendy

1 Introduction

Until now there is no a certain way to design the slab foundations in EUROCODES by using the new statistical safety concept of several partial safety factors [14] instead of one overall safety factor. Another problem may be found in the EUROCODES is that there are many types of subsoil models can be used for analyzing slab foundations.

For this purpose an attempt to recommend some ways to design the slab foundations for EUROCODES are introduced in this study.

The rules in EC 1[10], EC 2 [11] and EC 7 [12] are considered the main guide for driving the recommendation ways to design the slab foundations. All calculations of the slab foundations were made by the program ELPLA (version 5.02) which had been developed by KANY/EL GENDY [20].

The computerized mathematical solution of the slab based upon the finite element method, the program is capable of analyzing slab foundations with eight different types of subsoil models, more details about the mathematical models found on [15],[18] and [19].

2 Grenzzustände

Beim Entwurf der Flächengründungen (verbreitetes Fundament, Streifen, Platte) sind folgende Überlegungen zur Beurteilung der Grenzzustände wichtig:

a) Durchstanzen

Für das Durchstanzen gelten die Grundsätze des Tragfähigkeitsnachweises für Querkraft. Der Nachweis ist in der Form zu erbringen, daß im Grenzzustand der Tragfähigkeit die auf einen kritischen Schnitt bezogene Querkraft v_{sd} den Widerstand v_{Rd} nicht überschreitet.

b) Biegemomente

Sie werden an kritischen Stellen der Gründung untersucht. Kritische Grenzzustände kommen hauptsächlich unter Stützen oder im Bereich zwischen zwei Stützen vor. Nach den Biegemomenten wird die notwendige Baustahlbewehrung für die Gründung berechnet.

c) Tragfähigkeit des Bodens

Die Tragfähigkeit des Bodens wird gemäß DIN 4017 mit Teilsicherheitsfaktoren des Bodenmaterials berechnet. Der Gründungsbereich muß sicherheitshalber groß genug gewählt werden, damit bei Einwirkung des größten Sohldruckes unter der Gründung die Tragfähigkeit des Bodens nicht überschritten wird. Die Bemessung der Gründung könnte auch mit Hilfe der β -Methode berechnet werden, in der Annahme, daß der Boden plötzlich nachgibt, wenn er einem kritischen Ecksohldruck R ausgesetzt wird. Die Gleichung des Grenzzustandes, in diesem Fall $z = g(x_1, x_2, \dots, x_n)$, ist beim Erreichen des kritischen Eckdruckes R gegeben (HANISCH/STRUCK [16]).

Unsicherheiten bestehen auch bei der Setzungsberechnung, die Eingang findet beim Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit bezüglich Anwendung der Kombinationsregel ($\gamma = 1.35$ bis 1.50). Hier geht die Setzung als Stützensenkung ein. Es ist zu untersuchen, welche Sicherheitsfaktoren γ zu berücksichtigen sind.

3 Einwirkungen und Widerstände

3.1 Allgemeines

Den Bemessungsregeln des EC 2 liegt ein Konzept mit Teilsicherheitsbeiwerten zugrunde. Für die Nachweise der Tragfähigkeit ist danach die Erfüllung der Bedingung $S_d \leq R_d$ gefordert. Dabei steht die Variable S stellvertretend für die Schnittgrößen infolge der Einwirkungen; die Variable R repräsentiert die den inneren Bauteilwiderständen entsprechenden Schnittgrößen. Der Index d verdeutlicht, daß die Bemessung mit sogenannten Bemessungswerten (design values) durchzuführen ist. Die Bemessung S_d ergibt sich dabei aus den Bemessungswerten $F_d = \gamma_f \cdot F_{rep}$ für die Einwirkungen, d.h. aus den mit den Teilsicherheitsbeiwerten γ_f und ggf. den Kombinationsbeiwerten ψ multiplizierten charakteristischen Werten F_{rep} der Einwirkungen, die dem Eurocode 1 zu entnehmen sind. Die Bemessungswerte R_d resultieren aus den (aufnehmbaren) inneren Betondruckkräften und den Zug- und / oder Druckkräften der Bewehrung. Dabei gehen die Bemessungswerte $X_d = X_k / \gamma_k$ der Baustoff-Festigkeiten, d.h. die mit den Teilsicherheitsbeiwerten γ_k reduzierten charakteristischen Werte X_k der Baustoff-Festigkeiten, ein.

Zur Bemessung nach DIN 1045 liegt ein Konzept mit globalen Sicherheitsbeiwerten zugrunde. Danach werden die Nachweise der Tragfähigkeit grundsätzlich durch Vergleich von Werten des rechnerischen Bruchzustandes geführt, d.h. durch Vergleich von Werten vorhandenen Schnittgrößen infolge der Einwirkungen mit im Bauteilquerschnitt aufnehmbaren inneren Schnittgrößen $S_u \leq R_u$. Der Index u steht für ultimate state (rechnerischer Bruchzustand). Die Schnittgrößen werden aus $S_u = \gamma \cdot R_u$ gewonnen. Die Rechnwerte für die Bauteilwiderstände R_u , die sich wiederum aus den Beton- und Stahlfestigkeiten ableiten, beinhalten in der Regel keine Sicherheitsbeiwerte. Der Nachweis mit den Schnittgrößen des rechnerischen Bruchzustandes wird jedoch lediglich bei der Bemessung von Spannbetonteilen deutlich. Die Bemessung nach DIN 1045 erfolgt dagegen in der Praxis aufgrund der dort angegebenen Regeln (z.B. für Schubbemessung) sowie aufgrund der vorhandenen Hilfsmittel (z.B. für die Schubbemessung) im allgemeinen mit den Schnittgrößen des Gebrauchszustandes. Dazu sind die globalen Sicherheitsbeiwerte in den zulässigen Werten sowie in den Bemessungstabellen und Bemessungsdiagrammen eingearbeitet.

3.2 Entwurfsdaten für die Einwirkungen

Die Einwirkungen F_d werden in allgemeinen Formeln wie folgt angesetzt:

$$F_d = \gamma_f \cdot F_{rep} \quad \dots (1)$$

(nach EC 1, Gl. 9.1)

wobei

F_d	=	Einwirkungen
γ_f	=	Teilsicherheitsbeiwerte (Partialsicherheitsbeiwerte)
	=	1.50 mit nur einer variablen Einwirkung
	=	1.35 mit zwei oder mehr Einwirkungen
F_{rep}	=	repräsentativer Wert der Einwirkung

Dieser Ansatz gilt für die äußeren Kräfte.

3.3 Entwurfsdaten für die Widerstände

Die Widerstände R_d werden (EC 7, Gl. 9.7 d) ausgedrückt mit

$$R_d = R_k / \gamma_R \quad \dots (2)$$

wobei

R_d	=	Widerstände
γ_R	=	Teilsicherheitsfaktor der Widerstände für die Baustoffe
R_k	=	charakteristischer Wert des Baustoffwiderstandes

3.4 Entwurfswerte für die Betoneigenschaften

Die Bemessungswerte des Widerstandes R_d sind von den Baustoffkennwerten abhängig. Sie ergeben sich, aus den charakteristischen Werten, indem sie durch die entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerte dividiert werden. Wegen unterschiedlicher Versagenswahrscheinlichkeiten sind die Beiwerte γ für die Werkstoffe Beton und Stahl verschieden definiert.

Den Bemessungswert des Widerstandes kann man in symbolischer Form angeben

zu:

$$R_d = f(f_{ck}/\gamma_c; f_{yk}/\gamma_s) \quad \dots (3)$$

wobei

f_{ck}	=	charakteristischer Wert der Betoneigenschaften
f_{cy}	=	charakteristischer Wert der Stahlfestigkeit
γ_c	=	Teilsicherheitsbeiwert für die Betoneigenschaften 1.5 für Grundkombination 1.3 für Unfallkombination
γ_s	=	Teilsicherheitsbeiwert für die Stahlfestigkeit 1.15 für Grundkombination 1.0 für Unfallkombination

3.5 Entwurfswerte für die Bodeneigenschaften

Der charakteristische Wert X_d wird folgendermaßen ausgedrückt (EC 7, S. 13, Gl. 2.1):

$$X_d = X_k/\gamma_m \quad \dots (4)$$

wobei

γ_m	=	Sicherheitsbeiwert für die Bodeneigenschaften
X_k	=	charakteristischer Wert der Bodeneigenschaften.

Nach EC 7 kann ein Wert für den Elastizitätsmodul oder ein äquivalenter Parameter, der zur Analyse der Verformung im Grenzzustand angewandt wird, direkt als 'design value' (Entwurfswert) angenommen werden.

3.6 Bedingung der Nachweise der Tragfähigkeit

Beim Untersuchen des Grenzzustandes der Tragfähigkeit oder einer ausgedehnten Verformung eines Teilbereiches soll nachgewiesen werden, daß (nach EC 1, 5.54, Gl. A 2)

$$E_d \leq R_d \quad \dots (5)$$

ist.

wobei

E_d	=	Entwurfswert
R_d	=	Entwurfswiderstand.

4 Bemessung der Platte

In dieser Arbeit werden die statische Berechnung und die Bemessung der Sohlplatten nach den Erfordernissen der DIN 1045 und dem EC 2 durchgeführt. Die Bemessung wird mit dem "Nachweis der Tragfähigkeit" errechnet. Sie beinhaltet bei beiden Normen, die "Bemessung auf Biegung" und den "Nachweis gegen Durchstanzen". Zudem werden nach beiden Berechnungsgrundlagen (DIN 1045 sowie EC 2) Bewehrungspläne zum Vergleich erstellt.

Nachfolgend werden die verwendeten Formeln für die Bemessung der Sohlplatte zusammengestellt.

4.1 Plattendicke

Zur Berechnung der erforderlichen Plattendicke können dann die Biegemomente der ermittelten Schnittgrößen für die Näherungsformel (5), nach LOHMEYER [22], S. 351 und SCHULZE/SIMMER [25], genutzt werden.

erforderliche Dicke d (mit m_{\max} = Max. Biegemoment [kN.m/m]):

$$\text{erf } d \approx \sqrt{\frac{m_{\max}}{0.11}} \quad [\text{cm}] \quad \dots (6)$$

4.2 Bemessung der Platte für Biegung nach DIN 1045

Die Biegebemessung nach DIN 1045 wird nach dem k_h -Verfahren durchgeführt. Beiwerte

$$k_h = \frac{h_m}{\sqrt{\frac{m_s}{b}}} \quad \text{für das Stützmoment} \quad \dots (7a)$$

$$k_h = \frac{h_m}{\sqrt{\frac{m_f}{b}}} \quad \text{für das Feldmoment} \quad \dots (7b)$$

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

So ergeben sich k_s aus statischen Tabellensammlungen, z.B Beton-Kalender

h_m	=	statische Höhe	[m]
m_s	=	Stützmoment für Fundamentplatte	[kN . m/m]
m_f	=	Feldmoment für Fundamentplatte	[kN . m/m]
b	=	1.0	[m]

Stahlquerschnitt unter der Stütze

$$\text{erf } a_{ss} = \frac{m_s \cdot k_s}{h_m} \quad [\text{cm}^2/\text{m}] \quad \dots (8a)$$

Stahlquerschnitt im Feld oben

$$\text{erf } a_{sf} = \frac{m_f \cdot k_s}{h_m} \quad [\text{cm}^2/\text{m}] \quad \dots (8b)$$

4.3 Bemessung der Platte für Biegung nach EC 2

Die Biegebemessung wird mit den Bemessungstabellen mit dimensionslosen Beiwerten für den Rechteckquerschnitt ohne Druckbewehrung durchgeführt.

d_x	=	Nutzhöhe in x-Richtung	[cm]
d_y	=	Nutzhöhe in y-Richtung	[cm]
b	=	1.0	[m]

Teilsicherheitsbeiwerte γ in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit

- für Beton	γ_c	=	1.50
- für Betonstahl	γ_s	=	1.15
für Beton C 30/37:	f_{ck}	=	30 [N/mm ²]

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 30 / 1.50 = 20 \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$\text{für Betonstahl BSt 500 S: } f_{yk} = 500 \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1.15 = 435 \quad [\text{N/mm}^2]$$

Stahlquerschnitt unter den Stützen in x-Richtung

$$\mu_{Sds} = \frac{M_{Sds} \cdot 10^{-3}}{b d_x^2 f_{cd}} \quad \dots (9)$$

interpoliert aus Tafel 6.2a [7] $\Rightarrow \omega$

$$\text{erf } A_{sx} = \frac{\omega b d_x f_{cd}}{f_{yd}} \quad [\text{cm}^2/\text{m}] \quad \dots (10)$$

Stahlquerschnitt unter den Stützen in y-Richtung

$$\mu_{Sds} = \frac{M_{Sds} \cdot 10^{-3}}{b d_y^2 f_{cd}} \quad \dots (11)$$

interpoliert aus Tafel 6.2a [7] $\Rightarrow \omega$

$$\text{erf } A_{sy} = \frac{\omega b d_y f_{cd}}{f_{yd}} \quad [\text{cm}^2/\text{m}] \quad \dots (12)$$

4.4 Nachweis der Tragfähigkeit für Durchstanzen nach DIN 1045

Querkraft im Rundschnitt (DIN 1045, 22.7)

$$Q_r = N_x - \sigma_0 \frac{\pi d_k^2}{4} \quad [\text{kN}] \quad \dots (13)$$

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Hierbei sind:

$$c = \sqrt{c_x c_y}$$

d_k = $2 h_m + c$ = Durchmesser des Bruchkegels bei quadratischen Stützen [m] (Bild 1)

c_x = Stützlänge [m]

c_y = Stützbreite [m]

σ_0 = gleichmäßig verteilt angenommene Bodenpressung unter den Stützen [kN/m²]

N_{st} = Stützlast [kN]

h_m = statische Höhe [m] der Fundamentplatte im betrachteten Rundschnitt als Mittelwert aus beiden Richtungen [m] (Bild 5).

Die rechnerische Schubspannung τ_r erhält man (nach DIN 1045, 22.7) für einen Rundschnitt um die Stütze (Bild 1) zu

$$\tau_r = \frac{Q_r}{u \cdot h_m} \leq \kappa_1 \tau_{011} \quad [\text{kN/m}^2] \quad \dots (14)$$

mit:

Q_r = größte rechnerische Querkraft [kN] im Rundschnitt der Stütze

u = πd_r = Umfang [mm] des um die Stütze geführten Rundschnittes mit dem Durchmesser d_r

d_r = $d_k - h_m$ = Durchmesser [m] des Rundschnittes bei quadratischen Stützen [m] (DIN 1045, 22.7)

κ_1 = Beiwert

$$\kappa_1 = 1.3 \alpha_s \sqrt{\mu_g} \quad \dots (15)$$

4.5 Nachweis der Tragfähigkeit für Durchstanzen nach EC 2

Abstand des kritischen Rundschnitts von der Stützenkante (Bild 2)

$$r = 1.5 d_m \quad [\text{m}] \quad \dots (17)$$

Umfang des Rundschnittes:

$$u = 2 (c_x + c_y) + 2 \pi r \quad [\text{m}] \quad \dots (18)$$

Grundfläche des Rundschnittes:

$$A_{\text{crit}} = c_x \cdot c_y + 2 r (c_x + c_y) + \pi r^2 \quad [\text{m}^2] \quad \dots (19)$$

Resultierende Bemessungsquerkraft:

$$V_{\text{Sd}} = N_{\text{Sd}} - \sigma_0 A_{\text{crit}} \quad [\text{kN}] \quad \dots (20)$$

Die bezogenen aufzunehmende Querkraft v_{Sd} erhält man aus:

$$v_{\text{Sd}} = \frac{V_{\text{Sd}} \cdot \beta}{u} \quad [\text{kN/m}] \quad \dots (21)$$

β = Korrekturfaktor zur Berücksichtigung einer nicht rotationssymmetrischen Belastung; näherungsweise darf gesetzt werden [7]:

β	=	1.0	wenn keine Lastausmitte möglich
β	=	1.15	an der Innenstütze
β	=	1.4	an der Randstütze
β	=	1.5	an der Eckstütze

Die Tragfähigkeit von punktförmig gestützten Platte ohne Schubbewehrung ist nachgewiesen, wenn die einwirkende Querkraft v_{Sd} den Widerstand v_{Rd1} nicht überschreitet ($v_{\text{Rd1}} < v_{\text{Sd}}$).

Bemessungswiderstand ohne erf. Durchstanzbewehrung v_{Rd1} :

$$v_{\text{Rd1}} = \tau_{\text{Rd}} \cdot k (1.2 + 40 \rho_1) \cdot d_m \quad [\text{MN/m}] \quad \dots (22)$$

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

wobei

v_{Rd1} = Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit je Längeneinheit ohne rechnerisch erforderliche Schubbewegung [kN/mm]

τ_{Rd} = Grundwert der Bemessungsschubfestigkeit [N/mm²] nach Tabelle (1); die Werte dürfen mit 1.2 multipliziert werden

k = Beiwert zu Berücksichtigung der Plattendicke.

$$k = 1.6 - d_m \geq 1.0 \quad [m] \quad \dots (23)$$

ρ_1 = Längsbewehrungsgrad in den Grenzen $0.5 \leq \rho_1 \leq 1.5 \%$; er wird bei nicht vorgespannten Platten bestimmt aus

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{1x} \cdot \rho_{1y}} \quad \dots (24)$$

$$\rho_{1x} = \frac{A_s}{A_{con}} = \frac{A_{sx} \text{ [cm}^2\text{/m]}}{b_w \text{ [cm]} \cdot d_x \text{ [cm]}} \quad \dots (25)$$

$$\rho_{1y} = \frac{A_s}{A_{con}} = \frac{A_{sy} \text{ [cm}^2\text{/m]}}{b_w \text{ [cm]} \cdot d_y \text{ [cm]}} \quad \dots (26)$$

$$b_w = 1 \text{ [m]} = 100 \text{ [cm]}$$

$$A_{sx} = \text{Bewehrung in x-Richtung [cm}^2\text{/m]}$$

$$A_{sy} = \text{Bewehrung in y-Richtung [cm}^2\text{/m]}$$

$$d_x = \text{Nutzhöhe in x-Richtung [cm]}$$

$$d_y = \text{Nutzhöhe in y-Richtung [cm]}$$

Tabelle (1) Grundwerte der Schubspannung τ_{Rd} nach [7]

Betonfestigkeit C	12/15	16/20	20/25	25/30	30/37	35/45	40/50	45/55	50/60
τ_{Rd} [N/mm ²]	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.31	0.32	0.33

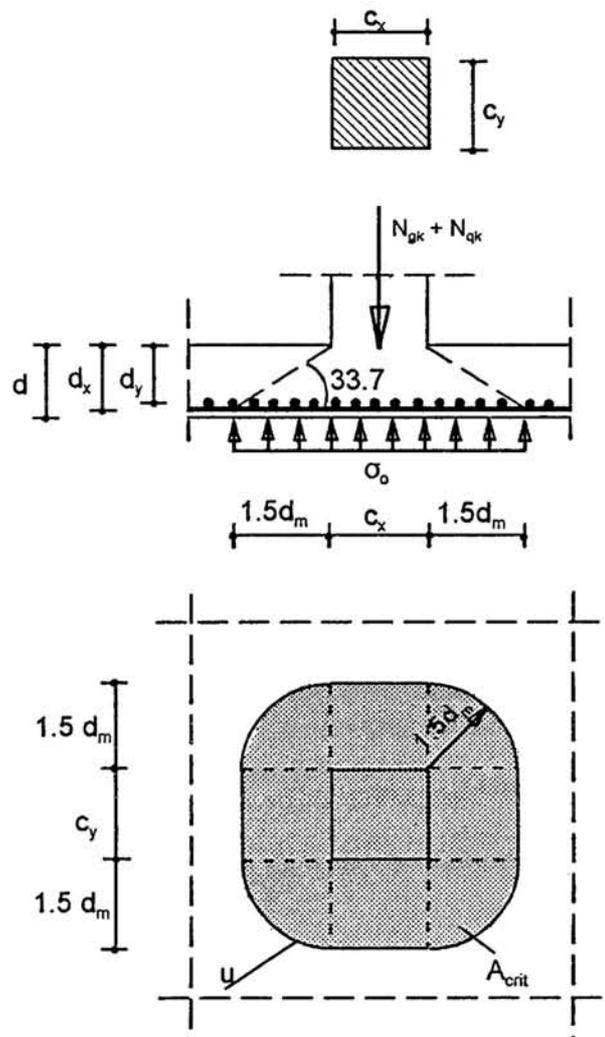


Bild 2 Kritischer Rundschnitt u und kritische Fläche A_{crit} (nach EC 2)

4.6 Nachweis der Grundbruchsicherheit nach EC 2-6

Der Baugrund wird als Einwirkung betrachtet. Die Einwirkung entspricht dabei maximal dem Widerstand des Baugrundes, welcher mit den charakteristischen Bodenkenngrößen ermittelt wird. Zum Nachweis einer ausreichenden Fundamentbreite gegen Grundbruch wird die Baugrundseite damit konform zu den Angaben des EC 7 formuliert.

Die ausreichende Grundbruchsicherheit ist nach DIN 4017 und [3] gegeben, wenn:

$$Q_d \geq V_d \quad [\text{kN}] \quad \dots (27)$$

Das ergibt nach Gleichung (28) eine Bruchlast von:

$$Q_d = A_f (c N_c s_c i_c + q' N_q s_q i_q + \gamma B' N_\gamma s_\gamma i_\gamma) \quad [\text{kN}] \quad \dots (28)$$

Darin sind enthalten

$$\varphi_d = \varphi_k$$

$$c_d = c_k$$

wobei

$$Q_d = \text{der Grundbruchwiderstand} \quad [\text{kN}]$$

$$V_d = \text{die vertikale Komponente der Resultierende der Einwirkungen} \quad [\text{kN}]$$

$$s, i = \text{Dimensionslose Formbeiwerte zur Berücksichtigung der Fundamentform und Lastneigung}$$

$$A_f = A' B' \text{ Effektive Gründungsfläche} \quad [\text{m}^2]$$

$$A' = \text{Effektive Fundamentlänge} \quad [\text{m}]$$

$$B' = \text{Effektive Fundamentbreite} \quad [\text{m}]$$

$$N = \text{Dimensionslose Tragfähigkeitsbeiwerte} \quad [1]$$

$$\gamma = \text{Wichte des Bodens} \quad [\text{kN/m}^3]$$

$$c = \text{Kohäsion} \quad [\text{kN/m}^2]$$

$$q' = \gamma t_f = \text{Erdauflast oberhalb der Gründungssohle} \quad [\text{kN/m}^2]$$

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

t_f = Gründungstiefe [m]

φ_d = Winkel der inneren Reibung [°]

Als Bemessungswerte der Einwirkung ergeben sich

für ständige Einwirkung = $\gamma_g (N_{gk} + \text{Fundamentgewicht})$

für veränderliche Einwirkung = $\gamma_q N_{qk}$

wobei

γ_g = 1.35

γ_q = 1.50

4.7 Nachweis der Grundbruchsicherheit nach EC 7

Der Baugrund wird als Widerstand betrachtet. Zum Nachweis einer ausreichenden Fundamentbreite gegen Grundbruch wird der Widerstand Q_d mit den entsprechenden Bemessungswerten auf der Baugrundseite ermittelt.

Mit den Bemessungswerten für den Baugrundwiderstand

φ_d = $\arctan (\tan \varphi_k / 1.25)$

c_d = $c_k / 1.6$

Der Bemessungswert der Einwirkung wird nach EC 7 für ständige Lasten ohne Berücksichtigung eines Teilsicherheitsbeiwertes ermittelt. Für veränderliche Lasten wird ein Teilsicherheitsbeiwert γ_q berücksichtigt.

ständige Einwirkung = $\gamma_g (N_{gk} + \text{Fundamentgewicht})$

veränderliche Einwirkung = $\gamma_q N_{qk}$

wobei

γ_g = 1.00

γ_q = 1.30

4.8 Nachweis der Grundbruchsicherheit nach DIN 4017 mit Sicherheitsbeiwerten nach DIN 1054 (1976)

Die Berechnung der Grundbruchsicherheit wird durchgeführt mit einem globalen Sicherheitsfaktor von $FS = 2.0$ an Stelle dem neuen statischen Sicherheitskonzept unter Verwendung von Teilsicherheitsbeiwerten.

Die ausreichende Grundbruchsicherheit ist gegeben, wenn:

$$Q_d / FS \geq V_d \quad [kN] \quad \dots (29)$$

Mit den Bemessungswerten für den Baugrundwiderstand

$$\varphi_d = \varphi_k$$

$$c_d = c_k$$

und den Bemessungswerten der Einwirkung

$$\text{ständige Einwirkung} = \gamma_g (N_{gk} + \text{Fundamentgewicht})$$

$$\text{veränderliche Einwirkung} = \gamma_q N_{qk}$$

wobei

$$\gamma_g = 1.00$$

$$\gamma_q = 1.00$$

5 Grundlage der Berechnungsmodelle

5.1 Allgemeines

Bei der Berechnung der Sohldrücke, Schnittkräfte und Verformungen von Gründungskörpern ist zu unterscheiden zwischen den Berechnungsmethoden für Gründungsbalken und denen für Gründungsplatten. Während bei Gründungsbalken in der Querrichtung einfache Annahmen (z. B. gleichförmige Verteilung des Sohldruckes) getroffen werden, werden bei Gründungsplatten die Sohldrücke in beiden Achsenrichtungen untersucht.

Gründungsbalken können mit klassischen Verfahren berechnet werden. Hierzu zählen die Bettungsmodulverfahren von WINKLER [26], GRASSHOFF [13] und WÖLFER [27] und die Steifemodulverfahren von OHDE [23], GRASSHOFF [13] und KANY [17].

Zur Berechnung der Schnittkräfte und Verformungen von Gründungsplatten wird auf das Differenzverfahren von DENINGER [6] oder die Finite-Element-Methode von CHEUNG/ZIENKIEWICZ [4] verwiesen.

Die zur Bemessung einer Gründungsplatte benötigte statische Berechnung wurde mit Hilfe des Programmes ELPLA [20] durchgeführt. Die Berechnungsverfahren werden kurz erläutert.

Die Modelle zur Berechnung von Gründungsplatten lassen sich in drei Gruppen einteilen:

- Einfache Annahme (Spannungstrapezverfahren)
- Winkler-Modell (Bettungsmodulverfahren)
- Kontinuumsmodell (Steifemodulverfahren für den isotropen Halbraum und elastische Schichten oder Steifemodulverfahren für starre Platten).

Im vorliegenden Forschungsbericht werden 8 verschiedene numerische Verfahren untersucht. Die Berechnungsmodelle wurden mit Verwendung der FE-Methode zur Berechnung der Platte für den Computer aufgearbeitet. Dabei wird die Interaktion zwischen der Platte und dem Baugrund wie folgt berücksichtigt (Bild 3).

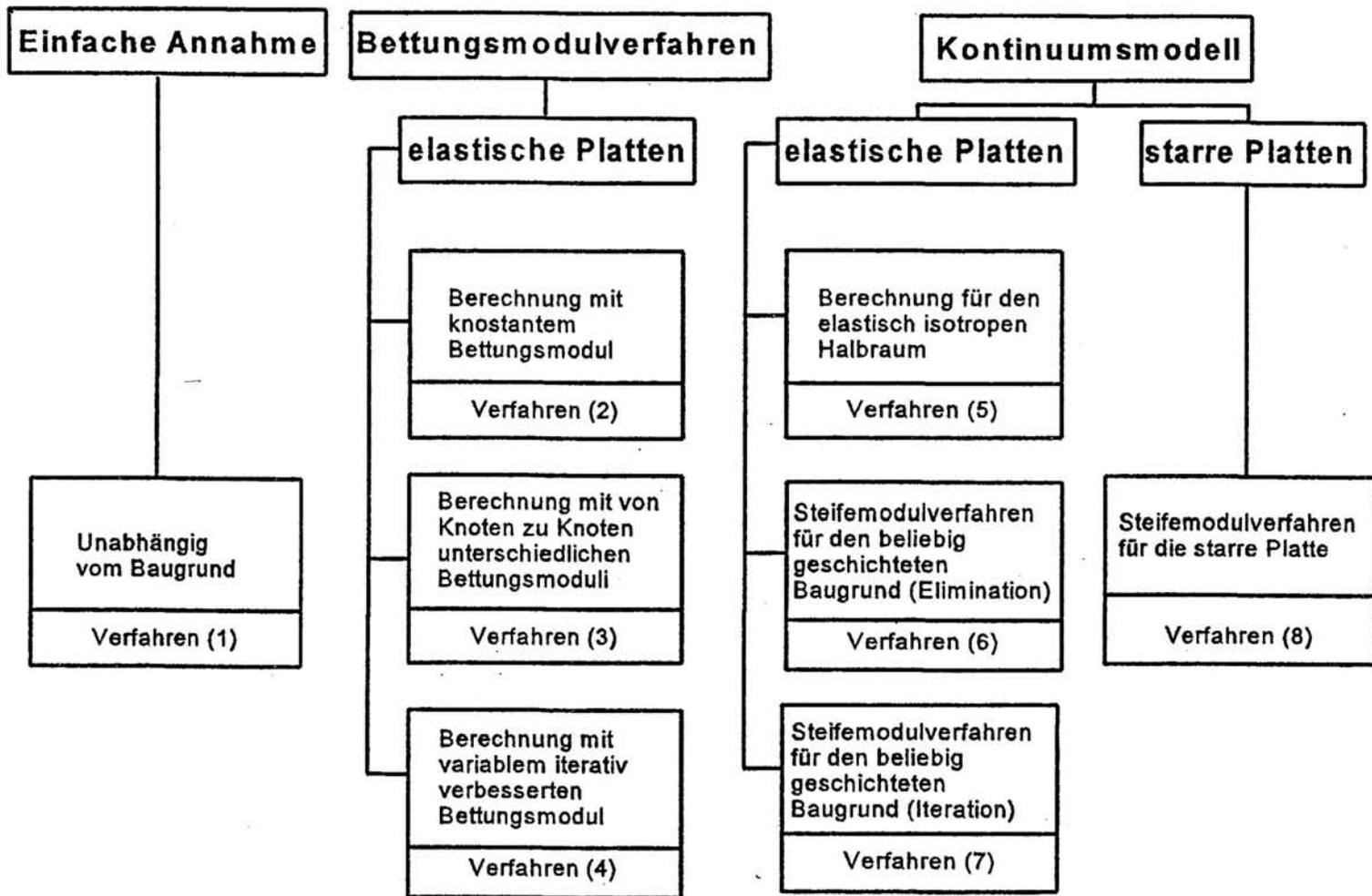


Bild 3 Berechnungsmodelle für Gründungsfundamente (Verfahren 1 bis 8)

Nachfolgend werden die 8 Verfahren erläutert:

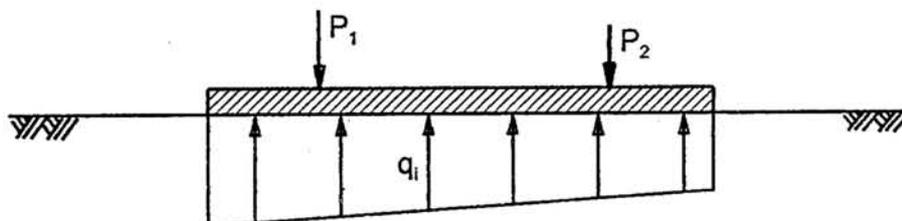
5.2 Einfache Annahme über den Sohldruck (Spannungstrapezverfahren-Verfahren 1)

Die ursprüngliche und älteste Berechnungsmethode zur Bestimmung der Sohldruckverteilung unter Fundamenten ist das Spannungstrapezverfahren. Diese Methode ist die einfachste. Sie wird trotz berechtigter Einwände und gut handhabbarer Computerprogramme mit besseren Berechnungsverfahren in der Praxis immer noch benutzt. Die grundlegende Annahme ist, daß der Sohldruck unabhängig vom Baugrund linear auf der Unterseite der Fundamente verteilt ist (Bild 4). Um die Gleichgewichtsbedingungen zu erfüllen, müssen die Vertikalkomponente N der Resultierende aus den Lasten und die Resultierende des Sohldruckkörpers in ein und derselben Wirkungslinie liegen und entgegengesetzt gleich groß sein. Im allgemeinen Fall wird der Sohldruck q_i [kN/m²] an der Stelle x_i, y_i [m] der Fundamentunterseite wie folgt angesetzt:

$$q_i = \frac{N}{A_p} + \frac{M_y I_x - M_x I_{xy}}{I_x I_y - I_{xy}^2} x_i + \frac{M_x I_y - M_y I_{xy}}{I_x I_y - I_{xy}^2} y_i \quad \dots \quad (30)$$

Hierin bedeuten:

- N = Lotrechte Komponente [kN] der Resultierenden aus den Lasten
- A_p = Grundfläche [m²] des Fundaments
- M_x = Moment [kN·m] von N um die x -Achse
- M_y = Moment [kN·m] von N um die y -Achse
- I_x = Trägheitsmoment [m⁴] der Sohlfläche um die x -Achse
- I_y = Trägheitsmoment [m⁴] der Sohlfläche um die y -Achse
- I_{xy} = Zentrifugalmoment [m⁴] der Sohlfläche.



Lineare Sohldruckverteilung

Bild 4 Einfache Annahme

5.3 Bettungsmodulverfahren

5.3.1 Bettungsmodulverfahren mit konstantem Bettungsmodul (Verfahren 2)

Die älteste Methode zur Analyse von Fundamenten auf elastischem Baugrund ist das Bettungsmodulverfahren. Bei der Ermittlung der Sohldruckverteilung werden Formänderungsbedingungen des Fundamentes und des Untergrunds berücksichtigt. Dieses Verfahren wurde von WINKLER [26] vorgeschlagen und beruht auf dem idealisierten Bodenmodell des Federkissens. Dabei wird angenommen, daß die Vertikalverschiebung w_i eines beliebigen Punktes i der Bodenoberfläche direkt proportional zu der an dieser Stelle wirkenden Belastung q_i ist, und zwar unabhängig von an anderen Stellen vorhandenen Belastungen (Bild 5).

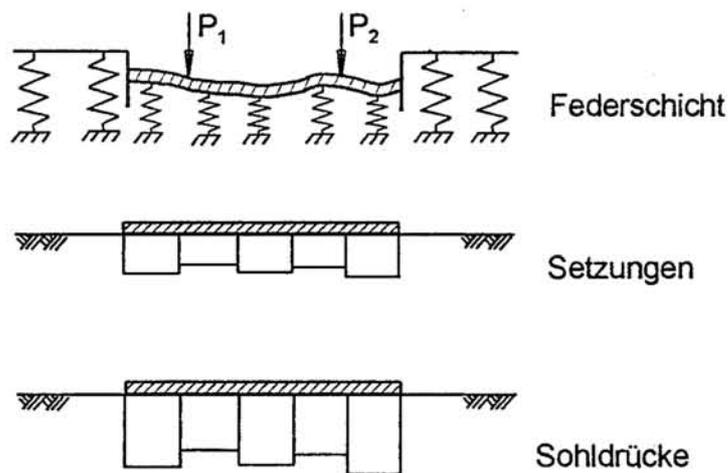


Bild 5 WINKLER-Modell (Federkissen-Modell)

$$q_i = k_s w_i \quad \dots \quad (31)$$

Dabei ist k_s [kN/m^3] der Bettungsmodul. Er wird über die gesamte Grundfläche der Fundamente konstant angesetzt.

Der pauschale Ansatz eines über das gesamte Fundament konstanten Bettungsmoduls k_s ist eine grobe Näherung, die vor allem bei unterschiedlichem Baugrund, oder auch bei relativ steifen Fundamenten oder annahmed gleichförmiger Belastung zu falschen Sohldrücken und Biegebeanspruchungen führen kann.

5.3.2 Bettungsmodulverfahren mit von Knoten zu Knoten unterschiedlichen Bettungsmoduli $k_{s,i}$ (Verfahren 3)

Dieses Verfahren stellt eine Erweiterung des WINKLER'schen Federmodells (Gleichung (31)) dar. Dabei kann unter jedem Knoten i ein unterschiedlicher Bettungsmodul $k_{s,i}$ angesetzt werden. Damit können in gewissem Umfang die Federkonstanten den Baugrundverhältnissen angepaßt werden. Die Bettungsmoduli $k_{s,i}$ können dann den örtlichen Baugrundverhältnissen angepaßt werden.

5.3.3 Bettungsmodulverfahren mit von Knoten zu Knoten unterschiedlichen Bettungsmoduli mit iterativer Verbesserung (Verfahren 4)

Bei diesem Verfahren werden die Bettungsmoduli iterativ verbessert, um sie den in Wirklichkeit vorhandenen Setzungen anzupassen. Hierzu werden mit den bei Annahme linearer Sohldruckverteilung errechneten Bettungsmoduli (aus den Setzungen berechnet) die Sohldruckverteilung q_i und daraus für jeden Knoten neue Bettungsmoduli $k_{s,i}$ bestimmt. Der Vorgang wird im verwendeten Programm ELPLA mehrmals wiederholt (Iterationszyklus vom Benutzer steuerbar).

Die Ergebnisse kommen denen des Steifemodulverfahrens sehr nahe.

5.4 Steifemodulverfahren (Kontinuumsmodell)

5.4.1 Vorbemerkungen

Das Kontinuumsmodell ist wesentlich komplizierter als das WINKLER-Modell. Beim Kontinuumsmodell tritt nach OHDE [23] eine Setzung nicht nur unter der Lastfläche, sondern infolge Drucküberschneidung auch außerhalb der Lastfläche auf (Bild 6). Damit ergibt sich für den Knotenpunkt i die Summengleichung der Setzungsanteile:

$$w_i = \sum_{k=1}^n c_{i,k} q_k \quad \dots \quad (32)$$

Hierbei bedeuten $c_{i,k}$ die Flexibilitätskoeffizienten für die Stelle i infolge gleichmäßig verteilter Einheitsbelastung $q_k = 1$ im Feld k .

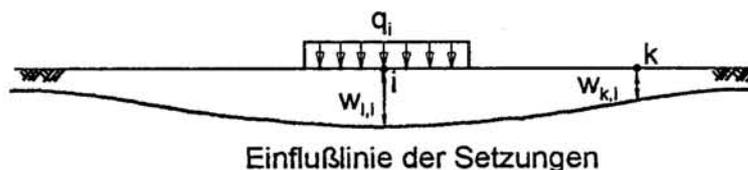


Bild 6 Kontinuumsmodell

5.4.2 Berechnung für den isotropen Halbraum (Verfahren 5)

Das einfachste Kontinuumsverfahren zur Berechnung der Setzung w in einer bis zur Tiefe z unter der Oberfläche reichenden Schicht unter einer Einzellast an der Oberfläche beruht auf der folgenden Formel (33) von BOUSSINESQ [2]:

$$w(z) = \frac{Q}{2\pi E} \left(\frac{(1+\nu_s)z^2}{(r^2+z^2)^{3/2}} + \frac{2(1-\nu_s^2)}{(r^2+z^2)^{1/2}} \right) \quad \dots \quad (33)$$

Setzt man in der BOUSSINESQ'schen Formel (33) als Ansatztiefe für die Setzung $z=0$ (Erdoberfläche), so ergibt sich folgende Formel (mit Bild 7):

$$w_{i,k} = \frac{Q_k (1-\nu_s)}{\pi E r_{i,k}} \quad \dots \quad (34)$$

wobei

- $w_{i,k}$ = Setzung [m] im Punkt i infolge Einzellast im Punkt k
- E = Elastizitätsmodul des Bodens [kN/m^2]
- ν_s = Poissonzahl des Bodens [1]. Sie liegt in den Grenzen $0.0 \leq \nu \leq 0.5$
- $r_{i,k}$ = Abstand von i zu k [m]
- Q_k = Aufgebrachte Last [kN].

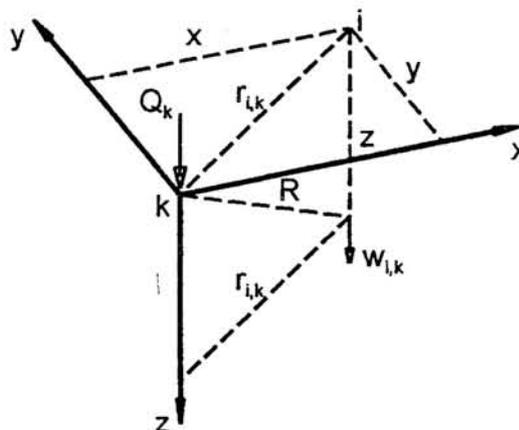


Bild 7 Bezeichnungen zu Gleichung (34)

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Die Gleichung (34) kann nicht direkt unter der Einzellast Q_i verwendet werden. Die Einzellast Q_i in Gleichung (34) ist zu ersetzen durch die Formel für die Setzung der über eine rechteckförmige Lastfläche $a \cdot b$ gleichmäßig verteilte, äquivalente Belastung $q_i = Q_i / (a \cdot b)$.

Im Fall einer gleichmäßigen rechteckigen Lastenverteilung kann die Setzung im Mittelpunkt der Lastfläche durch Integration der Formel (34) über die Rechteckfläche $(a \cdot b)$ bestimmt werden.

$$w_{i,i} = \frac{2Q_i (1-\nu_s^2)}{\pi E} \left(\frac{1}{a} \ln \left[\frac{a}{b} + \sqrt{\frac{a^2}{b^2} + 1} \right] + \frac{1}{b} \ln \left[\frac{b}{a} + \sqrt{\frac{b^2}{a^2} + 1} \right] \right) \quad \dots \quad (35)$$

5.4.3 Berechnung für das Steifemodulverfahren bei elastisch geschichtetem Baugrund (Verfahren 6 und 7)

Das Modell zum Steifemodulverfahren ist komplizierter als das Halbraummodell. Nach STEINBRENNER [24] gilt für die vertikale Verschiebung w eines Punktes in der Tiefe z unter dem Eckpunkt der rechteckförmigen Lastfläche $a \cdot b$ (Bild 8):

$$w(z) = \frac{q(1-\nu_s^2)}{2 \pi E} \left(b \cdot \ln \frac{(c-a)(m+a)}{(c+a)(m-a)} + a \cdot \ln \frac{(c-b)(m+b)}{(c+b)(m-b)} \right) + \frac{q(1-\nu_s-2\nu_s^2)}{2 \pi E} \left(z \cdot \arctan \frac{a \cdot b}{z \cdot c} \right) \quad \dots \quad (36)$$

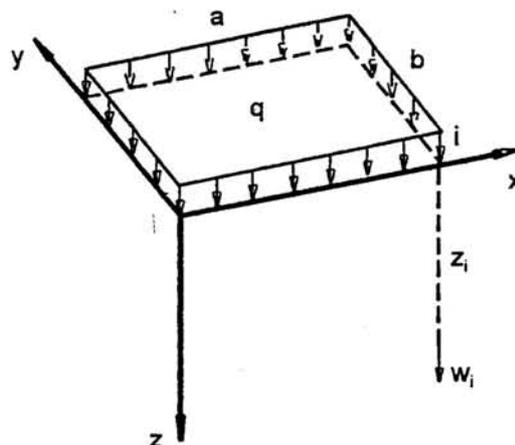


Bild 8 Setzung unter dem Eckpunkt der rechteckförmigen Lastfläche

wobei c und m durch die folgenden Ausdrücke definiert sind:

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 + z^2}, \quad m = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Faßt man alle Knoten für verschiedene Baugrundmodelle zusammen, so kann man folgendes Gleichungssystem für das Fundament aufstellen:

$$\{p\} = \left[[k_p] + [k_s] \right] \{\delta\} \quad \dots \quad (37)$$

wobei

- $\{p\}$ = Lastvektor aus Lasten und Momenten
- $\{\delta\}$ = Verformungsvektor
- $[k_p]$ = Steifigkeitsmatrix für die Platte.

Das Gleichungssystem (37) kann mit dem Programm ELPLA nach dem Iterationsverfahren (Verfahren 6) von EL GENDY [15] oder mit dem GAUSH'schen Algorithmus (Verfahren 7) gelöst werden.

5.4.4 Steifemodulverfahren für starre Fundamente (Verfahren 8)

Wenn das Sohlfundament starr ist, treten bei der Verwendung der Berechnungsmodelle und Verfahren (2) bis (7) numerische Probleme bei der Lösung der Gleichungssysteme auf. Deshalb wurde eine spezielle Lösung zur Berechnung starrer Fundamentsysteme nach dem Steifemodulverfahren von KANY [17] entwickelt. Diese Lösung kann auch benutzt werden, um die Setzungen und Verkantungen von Platten mit unregelmäßigen Grundrissen zu berechnen.

6 Zahlenbeispiele

6.0 Wahl der Beispiele

Um die Ergebnisse der Bemessung nach DIN 1045 (alt) und EC 2 vergleichen zu können, wurden zwei Beispiele ausgewählt. Im ersten Beispiel wird eine einfache Gründungsplatte und im zweiten eine komplizierte Gründungsplatte berechnet. In diesen Beispielen werden die Nachweise der Tragfähigkeit erbracht. Nach DIN 1045 und dem EC 2 sind zum die Nachweis der Tragfähigkeit die Bemessung auf Biegung (Biegebemessung) und der Nachweis gegen Durchstanzen erforderlich. Nach DIN 1054 erfolgen die Berechnungen ohne Teilsicherheitsbeiwerte. Nach EC 2 werden die Berechnungen mit dem neuen Sicherheitskonzept unter Verwendung von Teilsicherheitsbeiwerten durchgeführt. Nach EC 7 kann ein Wert für den Elastizitätsmodul oder äquivalenter Parameter, der zur Analyse der Verformung im Grenzzustand angewandt wird, direkt als Entwurfswert angenommen werden. Deshalb werden hier als Sicherheitsbeiwerte für die Bodeneigenschaften $\gamma_m = 1$ und Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_q = 1.5$ für Verkehrslast und $\gamma_g = 1.35$ für ständige Last angesetzt.

6.1 Beispiel 1

Berechnung einer quadratischen Platte

6.1.1 Aufgabenstellung

Berechnungsverfahren zur Boden/Bauwerk-Wechselwirkung:

Um die Unterschiede in den Berechnungsmodellen aufzuzeigen, werden von den in der Praxis üblichen 3 grundsätzlichen Baugrundmodellen: Einfache Annahme, Winkler-Modell und Kontinuums-Modell in den Berechnungen von den in der Programmkette ELPLA integrierten 8 Berechnungsverfahren folgende 5 Verfahren verwendet.

Verfahren Nr.	Berechnungsmodell
1	Konventionelle Methode (Einfache Annahme)
2	Konstanter Bettungsmodul (Winkler-Modell = Federkissen)
5	Elastisch isotroper Halbraum (Kontinuums-Modell)
7	Steifemodulverfahren für geschichteten Baugrund und elastische Platte (Kontinuums-Modell)
8	Steifemodulverfahren für die starre Platte (Kontinuums-Modell). Nur Sohl drücke und Setzungen.

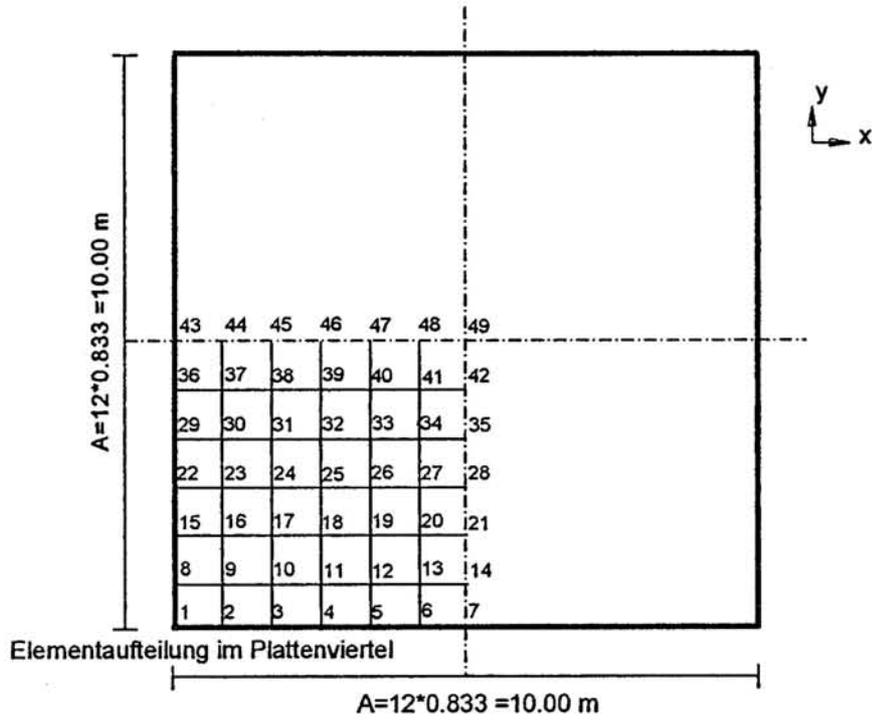


Bild 9 Unterteilung der Platte in Finite Elemente mit Knoten-Nummern im Beispiel 1

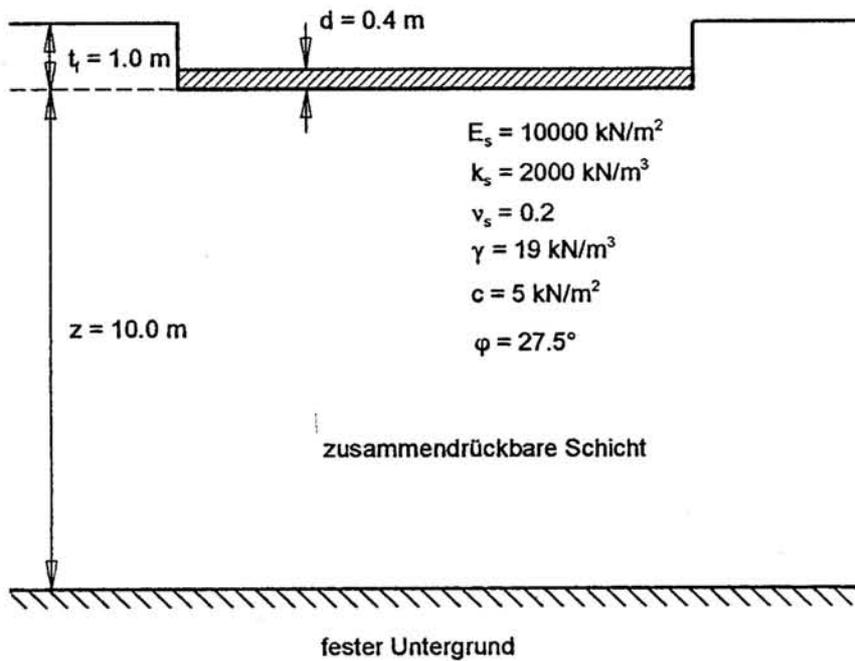


Bild 10 Schichtung des Baugrundes im Beispiel 1

Abmessungen:

Es wird eine quadratische Platte von $10 \times 10 = 100 \text{ [m}^2\text{]}$ Größe untersucht. Sie wurde in $4 \times 36 = 144$ quadratische Elemente mit jeweils $0.833 \times 0.833 \text{ [m}^2\text{]}$ Fläche unterteilt. Dadurch ergeben sich $13 \times 13 = 169$ Knotenpunkte der Platte mit $13 \times 13 = 169$ Bodenknoten, wie in Bild (9) dargestellt ist.

Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurde bei allen Berechnungen die Dicke der Gründungsplatte mit $d = 0.4 \text{ [m]}$ angesetzt. Mit dem Programm ELPLA können auch feldweise unterschiedliche Dicken berücksichtigt werden.

Bodenkennwerte:

Die Plattengründung liegt auf einem gleichmäßigen Untergrund mit 10 [m] Dicke ($z = 10 \text{ A}$), der gleichmäßig und parallel zur Sohlfläche geschichtet ist (Bild 10).

Für der Baugrund gelten:

E_s	=	10 000	[kN/m ²]	=	Steifemodul des Bodens
ν_s	=	0.2	[1]	=	Poissonzahl des Bodens
γ	=	19	[kN/m ³]	=	Wichte des Bodens
φ	=	27.5	[°]	=	Winkel der inneren Reibung
c	=	5	[kN/m ²]	=	Kohäsion

Bettungsmodul k_s :

Zum Vergleich zwischen Winkler-Modell und Kontinuums-Modell wurde ein Bettungsmodul angesetzt, mit dem sich nahezu derselben Wert für die durchschnittliche Setzung ergibt wie beim Modell 7 (Steifemodulverfahren). Dieser Wert des Bettungsmoduls (für alle Elementknoten konstant) ist $k_s = 2000 \text{ [kN/m}^3\text{]}$.

Materialkennwerte des Betons:

Für das Plattenmaterial(Beton) gelten:

E_b	=	20 000 000	[kN/m ²]	=	Elastizitätsmodul
ν_b	=	0.25	[1]	=	Poissonzahl
γ_b	=	0.0	[kN/m ³]	=	Wichte

(Eigengewicht der Platte wird vernachlässigt)

Lasten:

Um das Plattenverhalten unter verschiedenen Lastbedingungen zu veranschaulichen, wurden 4 verschiedene Konfigurationen der äußeren Lasten (Geometrie) gewählt. Jede Lastgruppe ergibt 2000 [kN] Gesamtlast (20 [kN/m²] mittlerer Sohldruck). Alle Lasten sind symmetrisch zu den Plattenachsen angeordnet (Bild 11).

- Lastgeometrie
- (a): gleichförmige Belastung (Intensität [20 kN/m²])
 - (b): 4 symmetrisch verteilte Einzellasten $P = 500$ [kN]
 - (c): mittig wirkende Einzellast $P_m = 2000$ [kN]
 - (d): 4 an den Ecken wirkende Einzellasten P mit jeweils 500[kN]

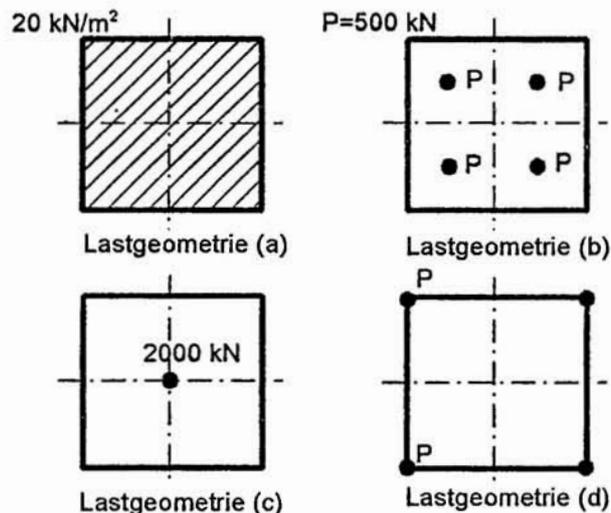


Bild 11 Belastungsanordnungen in den Lastfällen (a) bis (d) im Beispiel 1

6.1.2 Lösung der Aufgabe

Bei dem gewählten System ist der Baugrund horizontal geschichtet. Ferner sind sowohl der Grundriß als auch die Lasten symmetrisch angeordnet. Diese zweiachsige Symmetrie der Form und Lastgeometrie bezüglich der x - und y -Achse wird in der Berechnung genutzt, indem nur ein Viertel der Plattengründung berechnet wird (Bild 9). Dann hat man nur insgesamt 49 Knotenpunkte, jeder mit 3 unbekanntem Verschiebungen, so daß die Gesamtzahl der Gleichungen sich auf 147 reduziert.

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Untersuchte Querschnitte:

Zur Auswertung werden zum Vergleich die Unterschiede der Berechnungsmodelle dargestellt. Hierzu werden die Ergebnisse an drei ausgewählten Abschnitten der Platte untersucht:

Schnitt I - I: Plattenrand (Knoten 1 - 7)
Schnitt II - II: Viertelschnitt durch die Platte (Knoten 22 - 28)
Schnitt III - III: Schnitt in der Mitte der Platte (Knoten 43 - 49).

Berechnungsmodelle:

Die Analyse wird zuerst nach dem Steifemodulverfahren (7) durchgeführt. Dann wird dieselbe Platte mit denselben Lastdaten mit der Einfachen Annahme (1) und dem Winkler-Modell (2) berechnet, dann mit dem Halbraumverfahren (5) und dem Steifemodulverfahren (8) für die starre Platte.

6.1.3 Ergebnisse: Sohldrücke, Verformung, Schnittgrößen

Graphische Darstellungen:

Die Ergebnisse im Beispiel 1 werden in den Bildern 12 bis 21 wiedergegeben, und zwar wie folgt:

- a) Die Bilder (12) bis (14) zeigen die im Beispiel 1 errechneten Setzungen (Verformungen) der Platte. Hierbei werden in den Bildern (12) bis (14) die Setzungen in einem Mittelschnitt (Schnitt III) der Platte dargestellt.
- b) Die Bilder (15) bis (17) zeigen die Sohldruckverteilungen am Rand I. Aufgetragen sind jeweils die Ergebnisse für Berechnungsverfahren.
- c) Die Bilder (18) bis (21) zeigen die Biegemomente in den 3 kritischen Schnitten I, II und III der Sohlplatte. Für die starre Platte können die Biegemomente nicht berechnet werden.

Tabellen:

Ferner werden nachfolgend die Ergebnisse zu Beispiel 1 in Tabellenform wiedergegeben.

Die Tabellen (2) und (3) enthalten jeweils für einen der 4 Lastfälle Grenzwerte der Bodenpressungen q_{\max} und der Setzungen w_{\max} . In den 4 Zeilen dieser Tabellengruppe werden die Ergebnisse der 4 unterschiedlichen Berechnungsverfahren (Modelle) gezeigt, so daß man die Unterschiede gut erkennen kann.

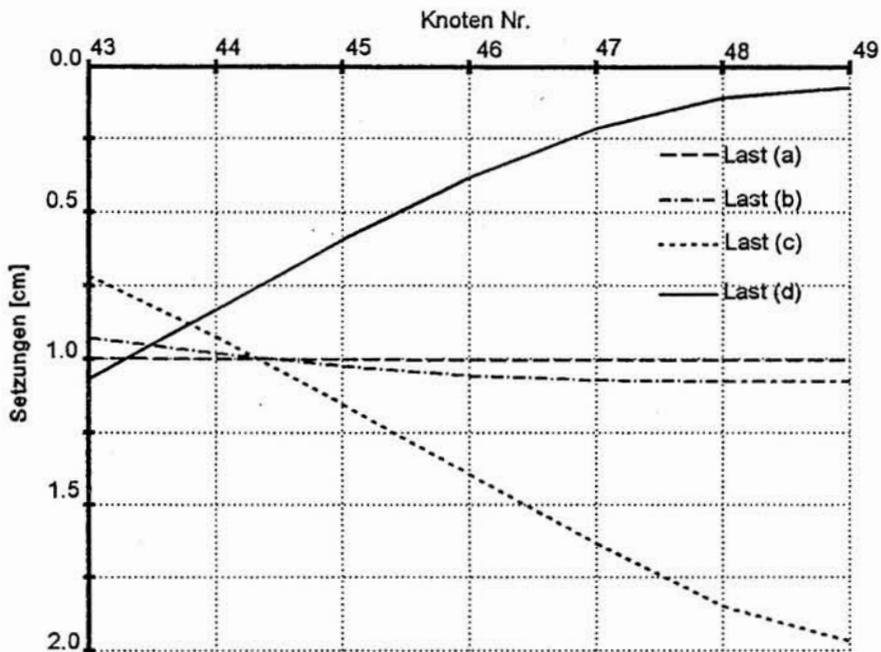


Bild 12 Setzungen im Mittelschnitt der Platte (Bettungsmodulverfahren 2)

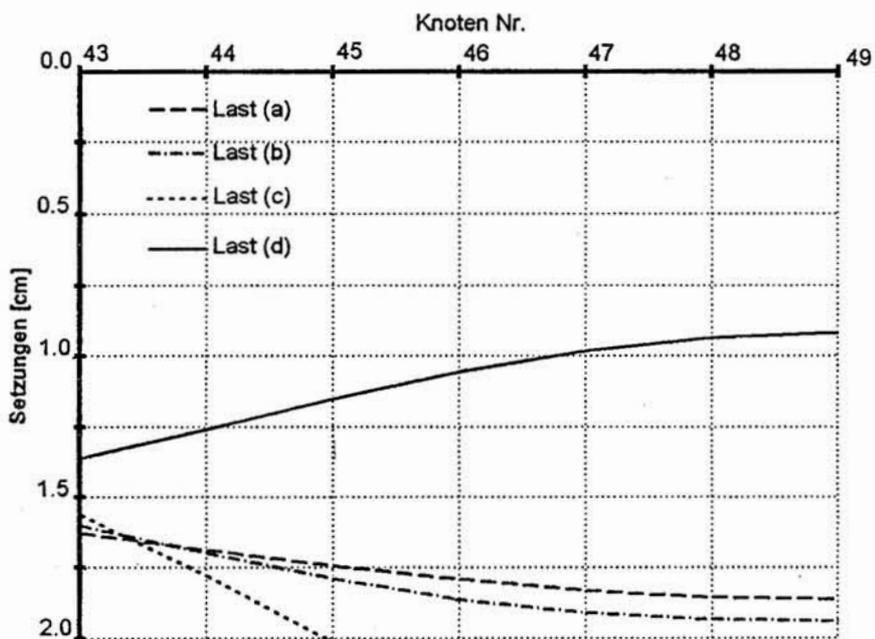


Bild 13 Setzungen im Mittelschnitt der Platte (Halbraumverfahren 5)

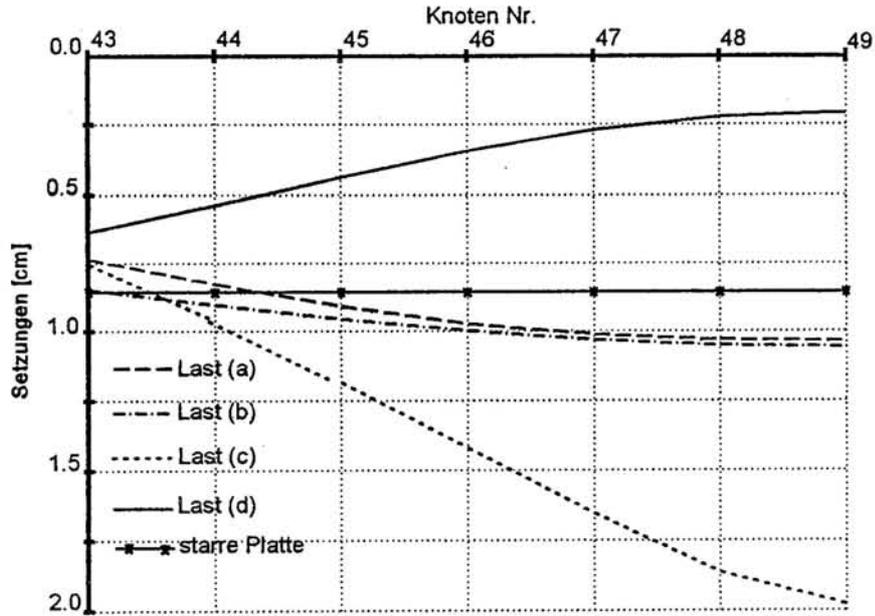


Bild 14 Setzungen im Mittelschnitt der Platte (Steifemodulverfahren 7, starre Platte 8)

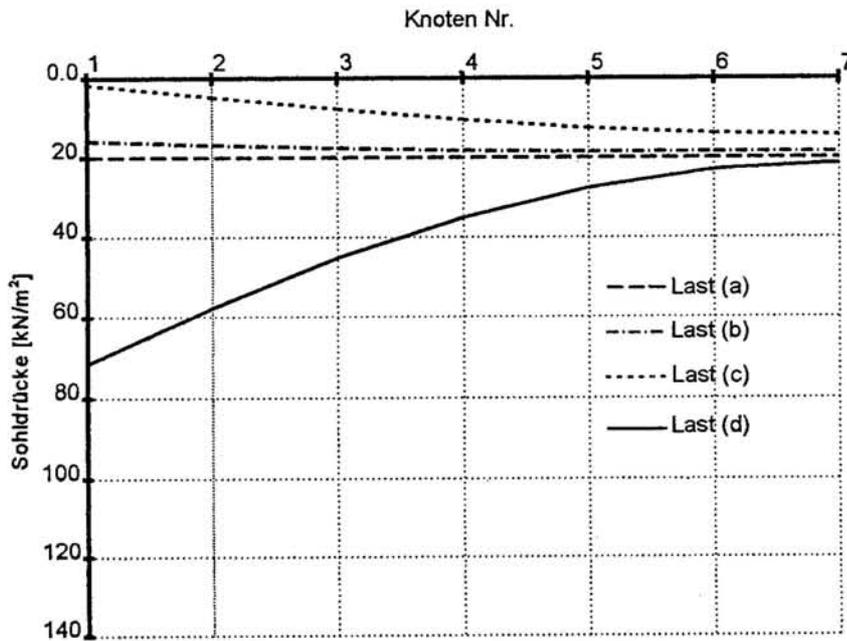


Bild (15) Sohldrücke am Rand der Platte (Bettungsmodulverfahren 2)

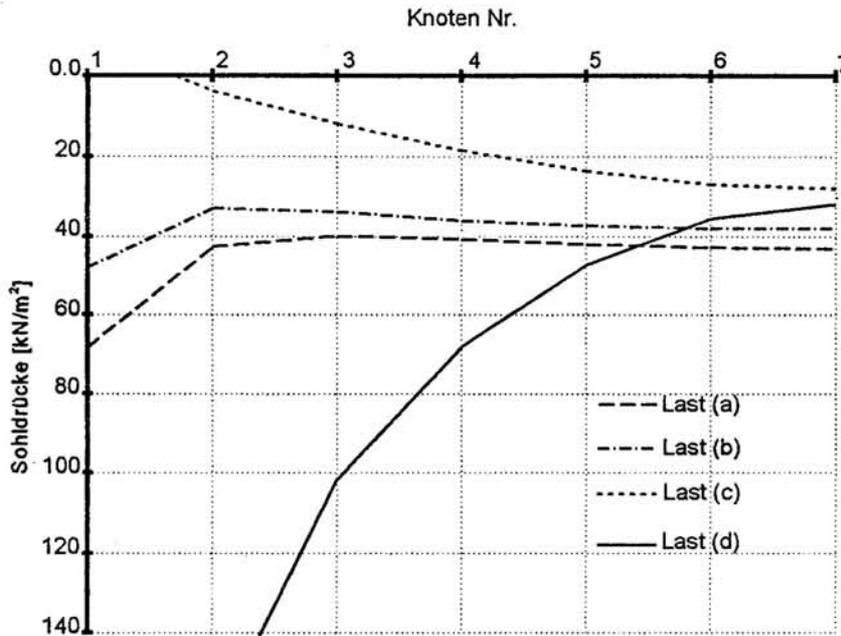


Bild (16) Sohldrücke am Rand der Platte (Halbraumverfahren 5)

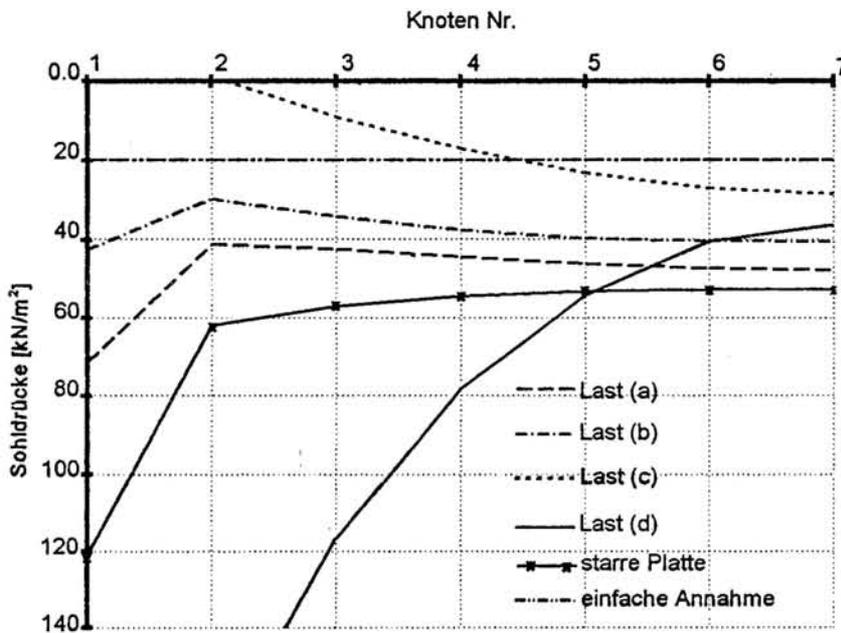


Bild (17) Sohldrücke am Rand der Platte (Steifemodulverfahren 7, starre Platte 8 und einfache Annahme 1)

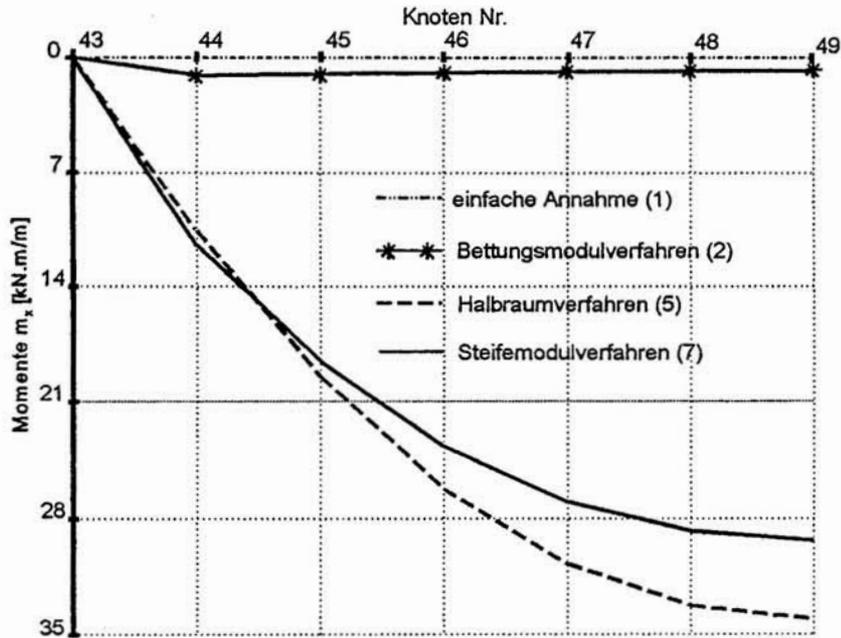


Bild 18

Momente im Schnitt III-III (Mitte der Platte) bei Anwendung verschiedener Baugrundmodelle (für Lastgeometrie a)

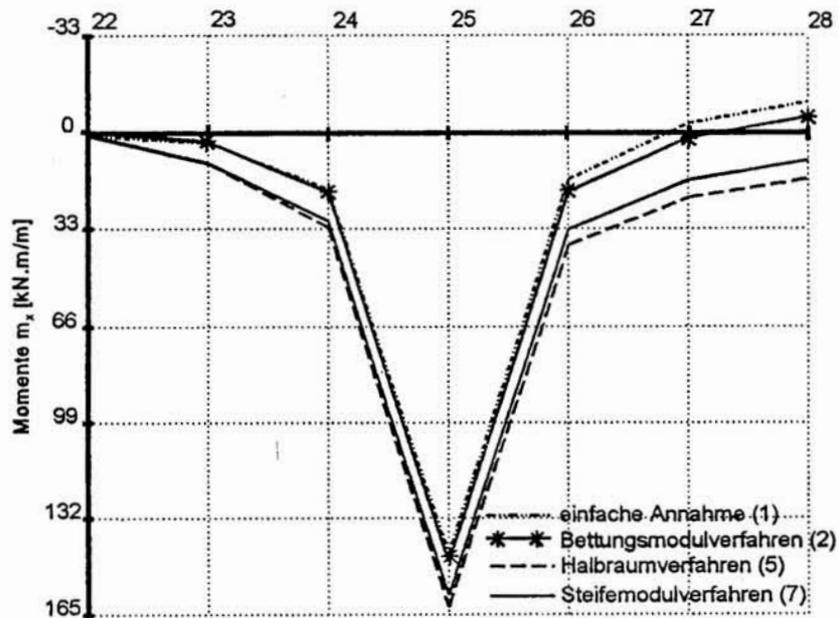


Bild 19

Momente im Schnitt II-II (Viertelschnitt) bei Anwendung verschiedener Baugrundmodelle (für Lastgeometrie b)

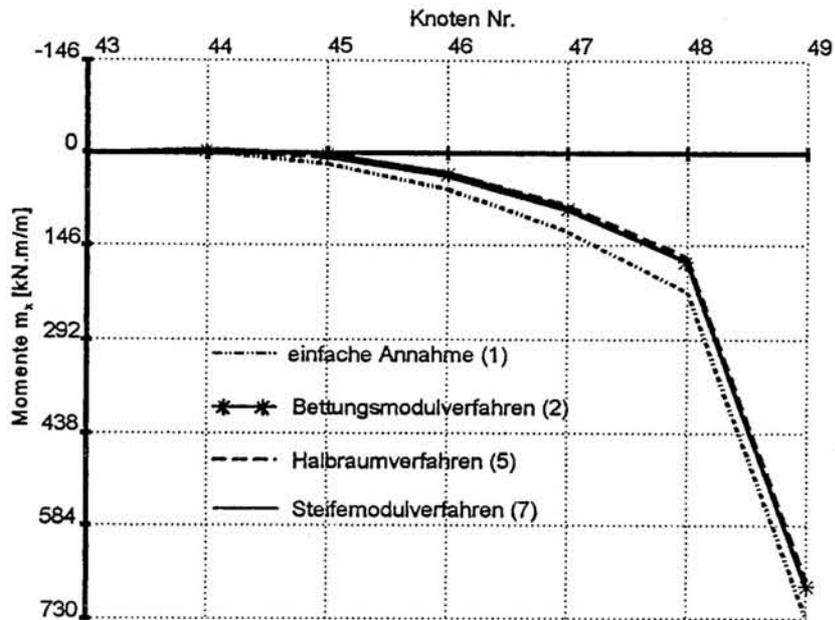


Bild 20

Momente im Schnitt III-III (Mitte der Platte) bei Anwendung verschiedener Baugrundmodelle (für Lastgeometrie c)

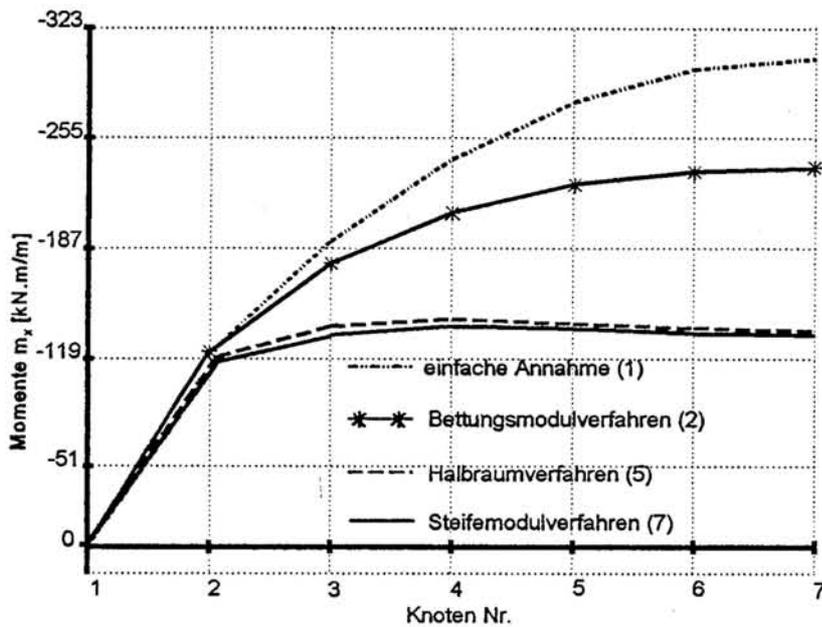


Bild 21

Momente im Schnitt I-I (Plattenrand) bei Anwendung verschiedener Baugrundmodelle (für Lastgeometrie d)

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Tabelle (2) Maximale Setzungen [cm] an den kritischen Knoten bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle (2), (5), (7) und (8) nach DIN 1045

Verfahren	Lastgeometrie			
	(a)	(b)	(c)	(d)
Bettungsmodulverfahren (2)	1.01 Zentrum	1.08 Zentrum	1.97 Zentrum	3.57 Ecke
Halbraumverfahren (5)	1.86 Zentrum	1.94 Zentrum	2.83 Zentrum	2.96 Ecke
Steifemodulverfahren (7)	1.06 Zentrum	1.12 Zentrum	1.98 Zentrum	2.20 Ecke
starre Platte (8)	0.84 alle Knoten	0.84 alle Knoten	0.84 alle Knoten	0.84 alle Knoten

Tabelle (3) Maximale Bodenpressungen [kN/m²] an den kritischen Knoten bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle (1), (2), (5), (7) und (8) nach DIN 1045

Verfahren	Lastgeometrie			
	(a)	(b)	(c)	(d)
Spannungstrapezverfahren (1)	20 alle Knoten	20 alle Knoten	20 alle Knoten	20 alle Knoten
Bettungsmodulverfahren (2)	≈20 alle Knoten	21.5 Zentrum	39.36 Zentrum	71.39 Ecke
Halbraumverfahren (5)	68.24 Ecke	47.78 Ecke	51.68	360.13 Ecke
Steifemodulverfahren (7)	71.3 Ecke	45.61 Ecke	58.2 Zentrum	441.86 Ecke
starre Platte (8)	90 Ecke	90 Ecke	90 Ecke	90 Ecke

6.1.4 Bemessung der Platte nach DIN 1045 (alt)

Die Biegebemessung nach DIN 1045 wird nach dem k_n -Verfahren in tabellarische Form durchgeführt. Zuerst werden in Tabelle (4) die Grenzwerte der Bodenpressungen q_{\max} , Setzungen w_{\max} ferner die Bodenpressungen σ_o unter Stützen, die Feldmomente m_f und Stützmomente m_s an den kritischen Knoten bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle aufgelistet. Die Tabelle (5) beinhaltet die Ergebnisse der Bemessung nach dem k_n -Verfahren.

In den nachfolgenden werden die Einzelergebnisse der Bemessung in Zahlen wiedergegeben (nur für Lastgeometrie (b) im Detail, (A), (c) und (d) verhalten sich ebenso).

Bemessung der Platte für Biegung:

Wegen die Plattensymmetrie wird der Berechnung nur für Schnitt II-II durchgeführt (Bild 22).

Gewählt $\phi = 16$ [mm]

Plattendicke $d = 40$ [cm]

Betondeckung $\text{nom } c = 5$ [cm]

Beton B35

Betonstahl BSt 500

statische Höhe h_m :

Höhe in x-Richtung

$$h_x = d - \text{nom } c - \phi/2 = 40 - 5 - 1.6/2 = 34.2 \text{ [cm]}$$

Höhe in y-Richtung

$$h_y = h_x - \phi = 34.2 - 1.6 = 32.6 \text{ [cm]}$$

$$h_m = (h_x + h_y)/2 = (34.2 + 32.6)/2 = 33.4 \text{ [cm]}$$

$$b = 1.0 \text{ [m]}$$

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

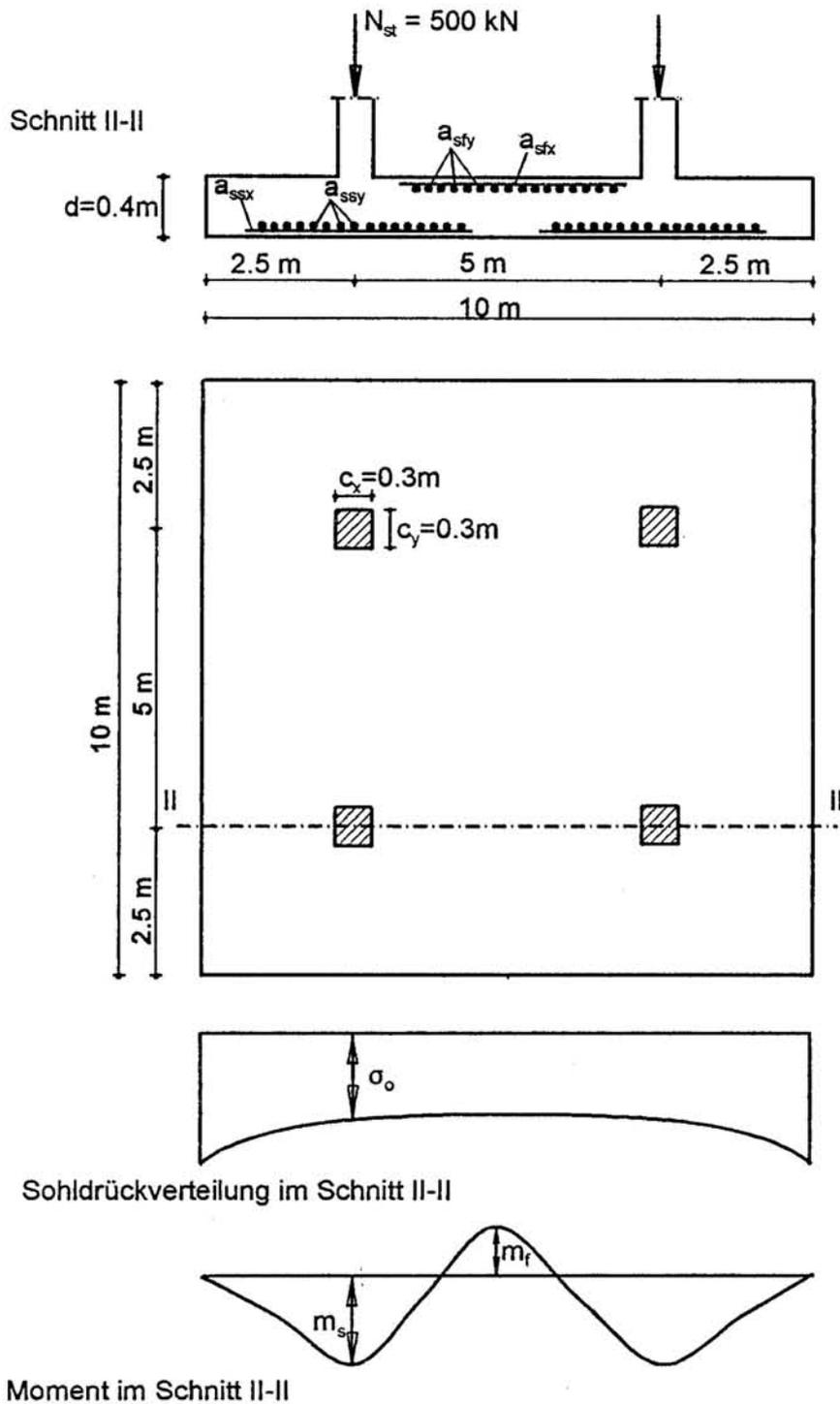


Bild (22) Darstellung des Fundamentes mit Lastansatz nach DIN 1045 (Beispiel 1b)

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Tabelle (4) Maximale Setzungen w_{\max} , Bodenpressungen q_{\max} , Bodenpressungen σ_o unter Stützen, Feldmomente m_f und Stützmomente m_s nach DIN 1045

Verfahren	w_{\max} [cm]	q_{\max} [kN/m ²]	σ_o [kN/m ²]	m_s [kN.m/m]	m_f [kN.m/m]
Spannungstrapez (1)	-	20 alle Knoten	20	147.10	-5.36
Bettungsmodul (2)	1.08 Zentrum	21.5 Zentrum	21.44	144.02	-10.60
Halbraum (5)	1.94 Zentrum	47.78 Ecke	19.56	162.35	15.78
Steifemodul (7)	1.12 Zentrum	45.61 Ecke	21.46	159.40	10.93
starre Platte (8)	0.84 alle Knoten	90 Ecke	12.00	-	-

Tabelle (5) Biegebemessung bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle nach DIN 1045

Verfahren	Stahlquerschnitt unter der Stütze			Stahlquerschnitt im Feld oben		
	k_h	k_s	a_{ss} [cm ²]	k_h	k_s	a_{sf} [cm ²]
Spannungstrapez (1)	2.75	3.7	16.30	14.43	3.6	0.58
Bettungsmodul (2)	2.78	3.7	15.95	10.26	3.6	1.14
Halbraum (5)	2.62	3.7	17.98	-	-	-
Steifemodul (7)	2.65	3.7	17.66	-	-	-

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Gewählte Bewehrung:

Tabelle (6) zeigt der Anzahl der Stäbe unter den Stützen und im Feld oben bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle nach DIN 1045. Die gewählte ϕ ist 16 [mm]

Tabelle (6) Erforderliche Bewehrung nach DIN 1045

Verfahren	gewählte Bewehrung	
	unter den Stütze a_{ss}	im Feld oben a_{sf}
Spannungstrapezverfahren (1)	9 ϕ 16 = 18.10 cm ²	a_{min}
Bettungsmodulverfahren (2)	8 ϕ 16 = 16.09 cm ²	a_{min}
Halbraumverfahren (5)	9 ϕ 16 = 18.10 cm ²	a_{min}
Steifemodulverfahren (7)	9 ϕ 16 = 18.10 cm ²	a_{min}

a_{min} = Mindestbewehrung

Nachweis der Tragfähigkeit gegen Durchstanzen :

Für den Nachweis gegen Durchstanzen wird die Abmessung der Stütze benötigt. Hierbei kamen für die Stütze Maße von 30/30 [cm] zur Anwendung. Die Berechnung wurde für die Stütze als Innenstütze durchgeführt (Bild 23).

$$\text{Stützlast } N_{st} = 500 \text{ [kN]}$$

$$\text{Stützlänge } c_x = 0.3 \text{ [m]}$$

$$\text{Stützbreite } c_y = 0.3 \text{ [m]}$$

$$c = 1.13 \sqrt{c_x c_y}$$

$$c = 1.13 \sqrt{0.3 * 0.3} = 0.339 \text{ [m]}$$

Durchmesser des Rundschnittes

$$d_r = c + h_m = 0.339 + 0.334 = 0.673 \text{ [m]}$$

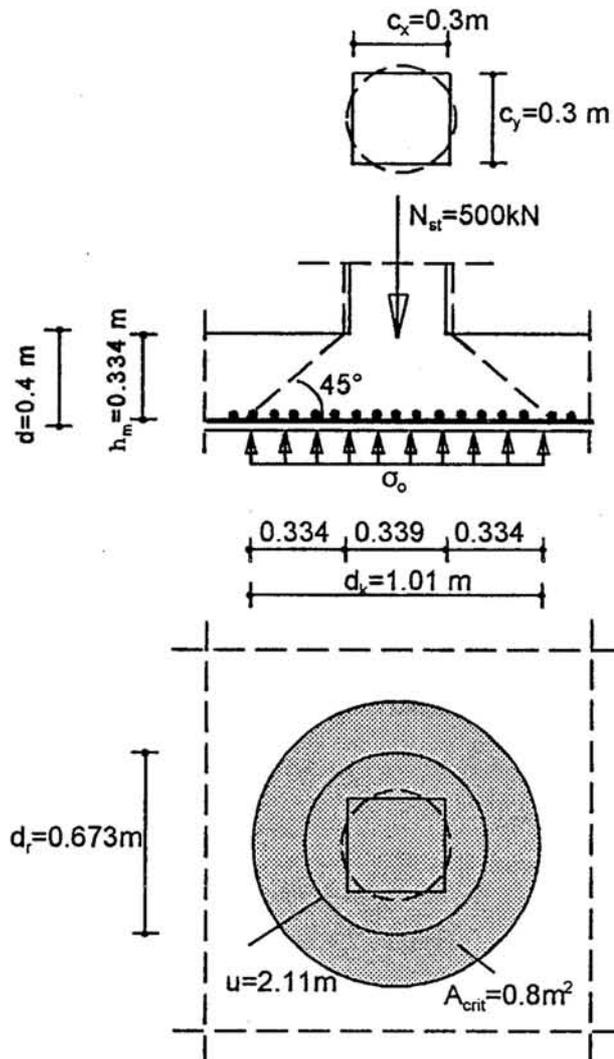


Bild (23) Belastung, Abmessung, Bewehrung; kritischer Rundschnitt u und kritische Fläche A_{crit} nach DIN 1045

Durchmesser des Bruchkegels

$$d_k = c + 2 h_m = 0.339 + 2 * 0.334 = 1.01 \text{ [m]}$$

kritischer Schnitt

$$A_{crit} = d_k^2 \pi / 4 = (1.01)^2 \pi / 4 = 0.80 \text{ [m}^2\text{]}$$

kritischer Rundschnitt

$$u = d_r \pi = 0.673 \pi = 2.11 \text{ [m]}$$

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Querkraft im Rundschnitt

$$Q_r = N_{st} - \sigma_o A_{crit} = 500 - 0.8 \sigma_o \quad [\text{kN}]$$

rechnerische Schubspannung

$$\tau_r = Q_r / (u \cdot h_m) = Q_r / (2.11 \cdot 0.334) = Q_r / 0.71 \quad [\text{kN/m}^2]$$

Bewehrungsgrad

$$\mu_g = 0.5 (a_{sx} + a_{sy}) / h_m = 0.5 (a_{sx} + a_{sy}) / 33.4 = 0.015 (a_{sx} + a_{sy}) \quad [\%]$$

$$\alpha_s = 1.4$$

$$\tau_{011} = 0.6 \quad [\text{MN/m}^2]$$

$$\kappa = 1.3 \alpha_s \sqrt{\mu_g}$$

$$\kappa = (1.3) (1.4) \sqrt{\mu_g}$$

$$\kappa = 1.82 \sqrt{\mu_g}$$

Der Nachweis der Tragfähigkeit gegen Durchstanzen bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle nach DIN 1045 wird in Tabelle (7) durchgeführt.

Tabelle (7) Nachweis der Tragfähigkeit gegen Durchstanzen bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle (nach DIN 1045)

Verfahren	Q_r [kN]	τ_r [MN/m ²]	μ_g	κ	zul $\tau = \kappa \tau_{011}$ [MN/m ²]
Spannungstrapez (1)	484.00	0.687	0.54	1.34	0.80 > τ_r
Bettungsmodul (2)	482.85	0.685	0.48	1.26	0.76 > τ_r
Halbraum (5)	484.35	0.687	0.54	1.34	0.80 > τ_r
Steifemodul (7)	482.83	0.685	0.54	1.34	0.80 > τ_r

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächen Gründungen

Nachweis:

Beim Nachweis der Tragfähigkeit gegen Druckstanzen, mit allen Berechnungsverfahren ergeben sich $\tau_{\text{vor}} < \tau_{\text{zul}}$. Es ist also keine Schubbewehrung erforderlich.

6.1.5 Bemessung der Platte nach EC 2

Für die Bemessung nach EC 2 werden die ständigen Lasten und die veränderliche (Verkehr-) Last der Stütze benötigt. Dabei kann man die Sicherheitskonzept unter Verwendung von Teilsicherheitsbeiwerten statt eines globalen Sicherheitsfaktors berücksichtigen. Weil die Stützlasten der Platte nur angegeben werden kann, wurden die jeweiligen Stützlasten in 70% ständige Lasten und 30% Verkehrslast aufgeteilt.

Bemessungswerte der Einwirkungen:

vorgegebene Stützlast	P	=	500	[kN]
ständige Last	N_{gk}	=	$0.7 * P$	
		=	$0.7 * 500$	
		=	350	[kN]
Verkehrslast	N_{qk}	=	$0.3 * P$	
		=	$0.3 * 500$	
		=	150	[kN]

Teilsicherheitsbeiwerte in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit

- für ständige Einwirkung	γ_g	=	1.35
- für veränderliche Einwirkung	γ_q	=	1.50

Bemessungswerte der Einwirkung

$$\begin{aligned} N_{\text{sd}} &= \gamma_g N_{\text{gk}} + \gamma_q N_{\text{qk}} \\ &= 1.35 (0.7 * P) + 1.50 (0.3 * P) \\ &= 1.395 P \\ &= 1.395 * 500 = 697.5 \text{ [kN]} \end{aligned}$$

Um die Bemessungswerte der Setzungen, Sohl drücke und Momente zu erhalten, werden die des Beispiels 1 mit den Wert 1.395 multipliziert. Damit kann man die

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Setzungen, Sohldrücke und Momente nach dem Sicherheitskonzept unter Verwendung von Teilsicherheitsbeiwerten berechnen.

In Tabelle (8) werden die Grenzwerte der Bodenpressungen q_{\max} , Setzungen w_{\max} ferner die Bodenpressungen σ_o unter den Stützen, die Feldmomente m und Stützmomente m_s an den kritischen Knoten bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle aufgelistet.

Tabelle (8) Maximale Setzungen w_{\max} , Bodenpressungen q_{\max} , Bodenpressungen σ_o unter Stützen, Feldmomente m_f und Stützmomente m_s nach EC 2

Verfahren	w_{\max} [cm]	q_{\max} [kN/m ²]	σ_o [kN/m ²]	m_s [kN.m/m]	m_f [kN.m/m]
Spannungstrapez (1)	-	27.9 alle Knoten	27.9	205.21	-7.48
Bettungsmodul (2)	1.51 Zentrum	29.99 Zentrum	29.91	200.91	-14.79
Halbraum (5)	2.71 Zentrum	66.65 Ecke	27.29	226.48	22.01
Steifemodul (7)	1.56 Zentrum	63.63 Ecke	29.94	222.36	15.25
starre Platte (8)	1.17 alle Knoten	125.55 Ecke	16.74	-	-

Bemessung der Platte für Biegung:

Die Biegebemessung wird mit den Bemessungstabellen mit dimensionslosen Beiwerten für den Rechteckquerschnitt ohne Druckbewehrung durchgeführt.

Gewählt $\phi_x = \phi_y = 16$ [mm]

Plattendicke $d = 40$ [cm]

Betondeckung $\text{nom } c = 5$ [cm]

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Bemessungswerte der Baustoffe

Beton C 30/37

Betonstahl BSt 500 S

Nutzhöhe

Nutzhöhe in x-Richtung

$$d_x = d - \text{nom } c - \phi_x/2 = 40 - 5 - 1.6/2 = 34.2 \text{ [cm]}$$

Nutzhöhe in y-Richtung

$$d_y = d_x - (\phi_x + \phi_y)/2 = 34.2 - 1.6 = 32.6 \text{ [cm]}$$

$$b = 1.0 \text{ [m]}$$

Teilsicherheitsbeiwerte in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit

$$\text{- für Beton } \gamma_c = 1.50$$

$$\text{- für Betonstahl } \gamma_s = 1.15$$

$$\text{für Beton C 30/37: } f_{ck} = 30 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 30 / 1.50 = 20 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\text{für Betonstahl BSt 500 S: } f_{yk} = 500 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1.15 = 435 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Stahlquerschnitt unter den Stützen in x-Richtung

$$\mu_{Sds} = \frac{M_{Sds}}{b d_x^2 f_{cd} 1000}$$

$$\mu_{Sds} = \frac{M_{Sds}}{1.0 (0.342)^2 (20) (1000)}$$

$$\mu_{Sds} = \frac{M_{Sds}}{2339}$$

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

interpoliert aus Tafel 6.2a [7] $\Rightarrow \omega$

$$\text{erf } A_{sx} = \frac{\omega b d_x f_{cd}}{f_{yd}}$$

$$\text{erf } A_{sx} = \frac{\omega (100) (34.2) (20)}{435}$$

$$\text{erf } A_{sx} = 157.241 \omega \quad [\text{cm}^2]$$

Stahlquerschnitt unter der Stütze in y-Richtung

$$\mu_{Sds} = \frac{M_{Sds}}{b d_y^2 f_{cd} 1000}$$

$$\mu_{Sds} = \frac{M_{Sds}}{1.0 (0.326)^2 (20) (1000)}$$

$$\mu_{Sds} = \frac{M_{Sds}}{2126}$$

interpoliert aus Tafel 6.2a [7] $\Rightarrow \omega$

$$\text{erf } A_{sy} = \frac{\omega b d_y f_{cd}}{f_{yd}}$$

$$\text{erf } A_{sy} = \frac{\omega (100) (32.6) (20)}{435}$$

$$\text{erf } A_{sy} = 149.885 \omega \quad [\text{cm}^2]$$

Die Bemessung mit dimensionslosen Beiwerten wird in Tabelle (9) durchgeführt.

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Tabelle (9) Biegebemessung bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle nach EC 7

Verfahren	Stahlquerschnitt unter der Stütze in x-Richtung			Stahlquerschnitt unter der Stütze in y-Richtung		
	μ_{Sds}	ω	A_{sx} [cm ²]	μ_{Sds}	ω	A_{sy} [cm ²]
Spannungstrapez (1)	0.0877	0.093	14.62	0.097	0.104	15.59
Bettungsmodul (2)	0.0859	0.091	14.31	0.095	0.102	15.29
Halbraum (5)	0.0970	0.103	16.20	0.107	0.114	17.09
Steifemodul (7)	0.0950	0.101	15.88	0.105	0.112	16.79

Gewählte Bewehrung:

Tabelle (10) zeigt der Anzahl der Stäbe unter den Stützen bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle nach EC 2. Die gewählte ϕ ist 16 [mm]

Tabelle (10) Erforderliche Bewehrung nach EC 2

Verfahren	gewählte Bewehrung unter der Stütze	
	in x-Richtung A_{sx}	in y-Richtung A_{sy}
Spannungstrapezverfahren (1)	8 ϕ 16 = 16.09 cm ²	8 ϕ 16 = 16.09 cm ²
Bettungsmodulverfahren (2)	8 ϕ 16 = 16.09 cm ²	8 ϕ 16 = 16.09 cm ²
Halbraumverfahren (5)	9 ϕ 16 = 18.10 cm ²	9 ϕ 16 = 18.10 cm ²
Steifemodulverfahren (7)	8 ϕ 16 = 16.08 cm ²	9 ϕ 16 = 18.10 cm ²

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Nachweis der Tragfähigkeit gegen Durchstanzen:

Die Bemessungsquerkraft darf um die Resultierende aus den Bodenpressungen innerhalb der kritischen Rundschnitts u (Bild 24) abgemindert werden. Wegen unterschiedlicher Festlegungen bezüglich des Neigungswinkels des Durchstanzkegels und des kritischen Rundschnitts u nach EC 2 und DIN 1045 erhält man verschiedene Flächen A_{crit} und damit auch abweichende Abzugswerte. Die Berechnung wurde für die Stütze als Innenstütze durchgeführt.

Stützlast	N_{Sd}	=	697.5	[kN]
Stützlänge	c_x	=	0.3	[m]
Stützbreite	c_y	=	0.3	[m]
Nutzhöhe in x-Richtung	d_x	=	0.342	[m]
Nutzhöhe in y-Richtung	d_y	=	0.326	[m]

Statische Höhe d_m der Fundamentplatte im betrachteten Rundschnitt als Mittelwert aus beiden Richtungen

$$d_m = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{0.342 + 0.326}{2} = 0.334 \quad [\text{m}]$$

Abstand des kritischen Rundschnitts von der Stützenkante

$$r = 1.5 d_m = 1.5 \cdot 0.334 = 0.501 \quad [\text{m}]$$

Länge des kritischen Rundschnitts

$$u = 2 (c_x + c_y) + 2 \pi r$$

$$u = 2 (0.3 + 0.3) + 2 \pi \cdot 0.501 = 4.35 \quad [\text{m}]$$

einbeschriebene Fläche

$$A_{\text{crit}} = c_x \cdot c_y + 2 r (c_x + c_y) + \pi r^2$$

$$A_{\text{crit}} = 0.3 \cdot 0.3 + 2 \cdot 0.501 (0.3 + 0.3) + \pi (0.501)^2$$

$$A_{\text{crit}} = 1.48 \quad [\text{m}^2]$$

Resultierende Bemessungsquerkraft

$$V_{\text{Sd}} = N_{\text{Sd}} - \sigma_o A_{\text{crit}}$$

$$V_{\text{Sd}} = 697.5 - 1.48 \sigma_o \quad [\text{kN}]$$

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

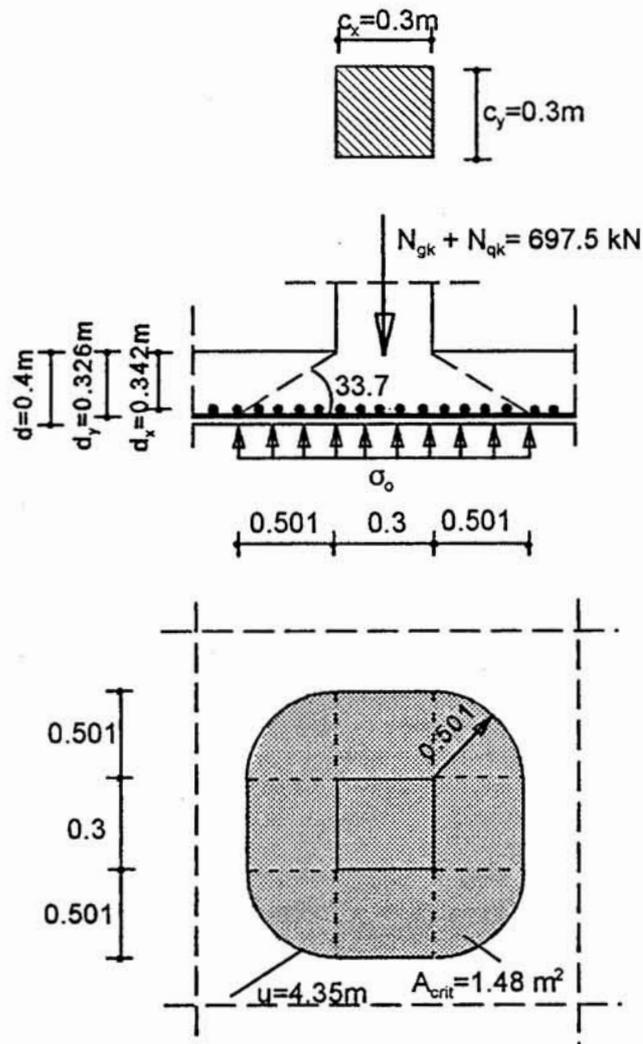


Bild (24) Belastung, Abmessung, Bewehrung; kritischer Rundschnitt u und kritische Fläche A_{crit} nach EC 2

Die bezogenen aufzunehmende Querkraft v_{sd}

$$v_{sd} = (V_{sd} \beta) / u$$

β = Korrekturfaktor zur Berücksichtigung einer nicht rotationssymmetrischen Belastung

β = 1.15 bei Innenstützen

$$v_{sd} = (V_{sd} \cdot 1.15) / 4.35 = 0.264 V_{sd} \text{ [kN/m]}$$

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Bemessungswiderstand

$$v_{Rd1} = \tau_{Rd} k (1.2 + 40 \rho_1) d_m$$

τ_{Rd} = Schubfestigkeit

$$\tau_{Rd} = 0.28 \text{ [MN/m}^2\text{]} \quad \text{für C 30/37} \quad \text{(nach KÖNIG [21])}$$

die Werte dürfen mit 1.2 multipliziert werden

$$\tau_{Rd} = 0.28 * 1.2 = 0.336 \text{ [MN/m}^2\text{]}$$

k = Beiwert zu Berücksichtigung der Plattendicke

$$k = 1.6 - d_m \geq 1.0$$

$$k = 1.6 - 0.334 = 1.266 \quad [m]$$

ρ_1 = Langsbewehrungsgrad in den Grenzen $0.5 \leq \rho_1 \leq 1.5 \%$.

Er wird bei nicht vorgespannten Platten bestimmt aus

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{1x} \cdot \rho_{1y}}$$

$$\rho_{1x} = \frac{A_s}{A_{con}} = \frac{A_{sx} \text{ [cm}^2\text{/m]}}{b_w \text{ [cm]} \cdot d_x \text{ [cm]}}$$

$$\rho_{1x} = \frac{A_{sx}}{(100) (34.2)} = \frac{A_{sx}}{3420}$$

$$\rho_{1y} = \frac{A_s}{A_{con}} = \frac{A_{sy} \text{ [cm}^2\text{/m]}}{b_w \text{ [cm]} \cdot d_y \text{ [cm]}}$$

$$\rho_{1y} = \frac{A_{sy}}{(100) (32.6)} = \frac{A_{sy}}{3260}$$

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

$$v_{Rd1} = 0.336 * 1.266 (1.2 + 40 \rho_1) 0.334$$

$$v_{Rd1} = 0.171 + 5.683 \rho_1 \quad [\text{MN/m}]$$

Der Nachweis der Tragfähigkeit gegen Durchstanzen bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle nach EC 2 wird in Tabelle (11) durchgeführt.

Tabelle (11) Nachweis der Tragfähigkeit gegen Durchstanzen bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle (nach EC 2)

Verfahren	V_{Sd} [kN]	v_{Sd} [MN/m]	ρ_1	v_{Rd1} [MN/m]
Spannungstrapezverfahren (1)	556.21	0.173	0.00482	0.198 > v_{Sd}
Bettungsmodulverfahren (2)	653.23	0.172	0.00482	0.198 > v_{Sd}
Halbraumverfahren (5)	657.11	0.174	0.00542	0.201 > v_{Sd}
Stifemodulverfahren (7)	653.19	0.172	0.00511	0.200 > v_{Sd}

Nachweis:

Nach Nachweis der Tragfähigkeit für Druckstanzen, bei alle Berechnungsverfahren ergeben sich $v_{Sd} < v_{Rd1}$. Dabei keine Schubbewehrung erforderlich.

6.1.6 Vergleich der Bemessung nach DIN 1045 und EC 2

In der Tabelle (12) wird die Bemessungsunterschiede zwischen der DIN 1045 und dem EC 2 gezeigt, die sich bei der durchgeführten Vergleichsberechnung ergeben.

Für eine Bemessung mit einer konstanten Plattendicke ergibt die Bemessung nach EC 2, einen geringeren oder äquivalenten Stahlquerschnittsanteil, also eine kostengünstigere Lösung als nach DIN 1045.

Tabelle (12) Vergleich der Bemessung nach DIN 1045 und EC 2

Verfahren	Bemessung nach DIN 1045		Bemessung nach EC 2		Unterschied zwischen der DIN 1045 und dem EC 2	
	a_s [cm ²] unter der Stütze		A_s [cm ²] unter der Stütze		ΔA_s [%] unter der Stütze	
	a_{sx} in x-Richtung	a_{sy} in y-Richtung	A_{sx} in x-Richtung	A_{sy} in y-Richtung	ΔA_{sx} in x-Richtung	ΔA_{sy} [%] in y-Richtung
Spannungstrapez (1)	16.30	16.30	14.62	15.59	11.31	9.65
Bettungsmodul (2)	15.95	15.95	14.31	15.29	10.28	4.14
Halbraum (5)	17.98	17.98	16.20	17.09	9.90	4.95
Steifemodul (7)	17.66	17.66	15.88	16.79	0.0	4.93

6.1.7 Nachweis der Grundbruchsicherheit nach EC 2-6

Lasten:

vorgegebene Stützlast	P	=	500	[kN]
ständige Last	N_{gk}	=	$0.7 P =$	350 [kN]
Verkehrslast	N_{qk}	=	$0.3 P =$	150 [kN]
Fundamentgewicht		=	$A B d \gamma_{bet}$	
		=	$10 * 10 * 0.4 * 25 =$	1000 [kN]

Bemessungswerte der Einwirkungen:

ständige Einwirkung	=	$\gamma_g (N_{gk} + \text{Fundamentgewicht})$		
	=	$1.35 (4 * 350 + 1000)$	=	3240 [kN]
veränderliche Einwirkung	=	$\gamma_q N_{qk}$		
	=	$1.5 (4 * 150)$	=	900 [kN]
Bemessungswert der Einwirkung	V_d	=	$3240 + 900$	= 4140 [kN]

Bodenkennwerte:

Winkel der inneren Reibung	φ_k	=	27.5	[°]
Kohäsion	c_k	=	5	[kN/m ²]
Wichte des Bodens	γ	=	19	[kN/m ³]

Die Bemessungswerte des Widerstandes:

φ_d	=	φ_k	=	27.5	[°]
c_d	=	c_k	=	5	[kN/m ²]

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Tragfähigkeitsbeiwerte:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 (45 + \varphi / 2)$$

$$N_q = e^{\pi \tan 27.5} \tan^2 (45 + 27.5/2)$$

$$N_q = 13.93$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan \varphi$$

$$N_\gamma = (13.93 - 1) \tan 27.5$$

$$N_\gamma = 6.73$$

$$N_c = (N_q - 1) / \tan \varphi$$

$$N_c = (13.93 - 1) / \tan 27.5$$

$$N_c = 24.86$$

Formbeiwerte:

$$s_q = 1 + (B/A) \sin \varphi$$

$$s_q = 1 + \sin 27.5$$

$$s_q = 1.46$$

$$s_\gamma = 1 - 0.3 (B/A)$$

$$s_\gamma = 1 - 0.3$$

$$s_\gamma = 0.7$$

$$s_c = (s_q N_q - 1) / (N_q - 1)$$

$$s_c = (1.46 * 13.93 - 1) / (13.93 - 1)$$

$$s_c = 1.49$$

Neigungsbeiwerte:

Die Lastneigungsbeiwerte i_q , i_γ und i_c werden 1 gesetzt, weil keine Horizontallasten auf das System wirken.

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Erdauflast oberhalb der Gründungssohle:

$$\text{Gründungstiefe } t_f = 1.0 \text{ [m]}$$

$$q' = \gamma \cdot t_f = 19 \cdot 1.0 = 19 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Bruchlast:

$$Q_d = A_f (c N_c s_c i_c + q' N_q s_q i_q + \gamma B' N_\gamma s_\gamma i_\gamma)$$

$$Q_d = 100 (5 \cdot 24.86 \cdot 1.49 \cdot 1 + 19 \cdot 13.93 \cdot 1.46 \cdot 1 + 19 \cdot 10 \cdot 6.73 \cdot 0.7 \cdot 1)$$

$$Q_d = 146672 \text{ [kN]} > V_d = 4140 \text{ [kN]}$$

6.1.8 Nachweis der Grundbruchsicherheit nach EC 7

Lasten:

$$\text{vorgegebene Stützlast } P = 500 \text{ [kN]}$$

$$\text{ständige Last } N_{gk} = 0.7 P = 350 \text{ [kN]}$$

$$\text{Verkehrslast } N_{qk} = 0.3 P = 150 \text{ [kN]}$$

$$\begin{aligned} \text{Fundamentgewicht} &= A B d \gamma_{bet} \\ &= 10 \cdot 10 \cdot 0.4 \cdot 25 = 1000 \text{ [kN]} \end{aligned}$$

Bemessungswerte V_d der Einwirkungen:

Der Bemessungswert der Einwirkung wird nach EC 7 für ständige Lasten ohne Berücksichtigung eines Teilsicherheitsbeiwertes ermittelt. Für veränderliche Lasten wird ein Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_q = 1.3$ berücksichtigt.

$$\begin{aligned} \text{ständige Einwirkung} &= \gamma_g (N_{gk} + \text{Fundamentgewicht}) \\ &= 1.0 (4 \cdot 350 + 1000) = 2400 \text{ [kN]} \end{aligned}$$

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

$$\begin{aligned} \text{veränderliche Einwirkung} &= \gamma_q N_{qk} \\ &= (1.3) (4 * 150) &= 780 \text{ [kN]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bemessungswert } V_d \text{ der Einwirkung} &= 2400 + 780 &= 3180 \text{ [kN]} \end{aligned}$$

Bodenkennwerte:

$$\text{Winkel der inneren Reibung } \varphi_k = 27.5 \text{ [}^\circ\text{]}$$

$$\text{Kohäsion } c_k = 5 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$\text{Wichte des Bodens } \gamma = 19 \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

Die Bemessungswerte des Widerstandes:

$$\varphi_d = \arctan (\tan \varphi_k / 1.25)$$

$$\varphi_d = \arctan (\tan 27.5 / 1.25) = 22.61 \text{ [}^\circ\text{]}$$

$$c_d = c_k / 1.6$$

$$c_d = 5 / 1.6 = 3.125 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Tragfähigkeitsbeiwerte:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 (45 + \varphi / 2)$$

$$N_q = e^{\pi \tan 22.61} \tan^2 (45 + 22.61/2)$$

$$N_q = 8.32$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan \varphi$$

$$N_\gamma = (8.32 - 1) \tan 22.61$$

$$N_\gamma = 3.05$$

$$N_c = (N_q - 1) / \tan \varphi$$

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

$$N_c = (8.32 - 1) / \tan 22.61$$

$$N_c = 17.58$$

Formbeiwerte:

$$s_q = 1 + (B/A) \sin \varphi$$

$$s_q = 1 + \sin 22.61$$

$$s_q = 1.38$$

$$s_\gamma = 1 - 0.3 (B/A)$$

$$s_\gamma = 1 - 0.3$$

$$s_\gamma = 0.7$$

$$s_c = (s_q N_q - 1) / (N_q - 1)$$

$$s_c = (1.38 * 8.32 - 1) / (8.32 - 1)$$

$$s_c = 1.43$$

Neigungsbeiwerte:

Die Lastneigungsbeiwerte i_q , i_γ und i_c werden 1 gesetzt, weil keine Horizontallasten auf das System wirken.

Erddruck oberhalb der Gründungssohle:

$$\text{Gründungstiefe } t_f = 1.0 \text{ [m]}$$

$$q' = \gamma \cdot t_f = 19 * 1.0 = 19 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Bruchlast:

$$Q_d = A_f (c N_c s_c i_c + q' N_q s_q i_q + \gamma B' N_\gamma s_\gamma i_\gamma)$$

$$Q_d = 100 (3.125 * 17.58 * 1.43 * 1 + 19 * 8.32 * 1.38 * 1 + 19 * 10 * 3.05 * 0.7 * 1)$$

$$Q_d = 70236 \text{ [kN]} > V_d = 3180 \text{ [kN]}$$

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

6.1.9 Nachweis der Grundbruchsicherheit nach DIN 4017 mit Sicherheitsbeiwerten nach DIN 1054 (1976)

Lasten:

vorgegebene Stützlast	P	=	500	[kN]
ständige Last	N_{gk}	=	$0.7 P = 350$	[kN]
Verkehrslast	N_{qk}	=	$0.3 P = 150$	[kN]
Fundamentgewicht		=	$A B d \gamma_{bet}$	
		=	$10 * 10 * 0.4 * 25 = 1000$	[kN]

Bemessungswerte der Einwirkungen:

Der Bemessungswert der Einwirkungen werden für ständige und veränderliche Lasten ohne Berücksichtigung eines Teilsicherheitsbeiwertes ermittelt.

ständige Einwirkung	=	$\gamma_g (N_{gk} + \text{Fundamentgewicht})$	
	=	$1.0 (4 * 350 + 1000)$	= 2400 [kN]
veränderliche Einwirkung	=	$\gamma_q N_{qk}$	
	=	$1.0 (4 * 150)$	= 600 [kN]
Bemessungswert der Einwirkung V_d	=	$2400 + 600$	= 3000 [kN]

Bodenkennwerte:

Winkel der inneren Reibung	ϕ_k	=	27.5	[°]
Kohäsion	c_k	=	5	[kN/m ²]
Wichte des Bodens	γ	=	19	[kN/m ³]

Die Bemessungswerte des Widerstandes:

ϕ_d	=	ϕ_k	=	27.5	[°]
c_d	=	c_k	=	5	[kN/m ²]

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Tragfähigkeitsbeiwerte:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 (45 + \varphi / 2)$$

$$N_q = e^{\pi \tan 27.5} \tan^2 (45 + 27.5/2)$$

$$N_q = 13.93$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan \varphi$$

$$N_\gamma = (13.93 - 1) \tan 27.5$$

$$N_\gamma = 6.73$$

$$N_c = (N_q - 1) / \tan \varphi$$

$$N_c = (13.93 - 1) / \tan 27.5$$

$$N_c = 24.86$$

Formbeiwerte:

$$s_q = 1 + (B/A) \sin \varphi$$

$$s_q = 1 + \sin 27.5$$

$$s_q = 1.46$$

$$s_\gamma = 1 - 0.3 (B/A)$$

$$s_\gamma = 1 - 0.3$$

$$s_\gamma = 0.7$$

$$s_c = (s_q N_q - 1) / (N_q - 1)$$

$$s_c = (1.46 * 13.93 - 1) / (13.93 - 1)$$

$$s_c = 1.49$$

Neigungsbeiwerte:

Die Lastneigungsbeiwerte i_q , i_γ und i_c werden 1 gesetzt, weil keine Horizontallasten auf das System wirken.

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Erddruck oberhalb der Gründungssohle:

$$\text{Gründungstiefe } t_f = 1.0 \text{ [m]}$$

$$q' = \gamma \cdot t_f = 19 \cdot 1.0 = 19 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Bruchlast:

$$Q_d = A_f (c N_c s_c i_c + q' N_q s_q i_q + \gamma B' N_\gamma s_\gamma i_\gamma)$$

$$Q_d = 100 (5 \cdot 24.86 \cdot 1.49 \cdot 1 + 19 \cdot 13.93 \cdot 1.46 \cdot 1 + 19 \cdot 10 \cdot 6.73 \cdot 0.7 \cdot 1)$$

$$Q_d = 146672 \text{ [kN]}$$

$$Q_d / \text{FS} = 146672 / 2 = 73336 \text{ [kN]} > V_d = 3000 \text{ [kN]}$$

wobei

$$\text{FS} = \text{globale Sicherheitsfaktor} = 2$$

6.1.10 Vergleich der Ergebnisse zur Grundbruchsicherheit

Es ist aus Tabelle (13) zu erkennen, daß sich mit EC 2-6 die größten Bruchlasten ergeben. Am kleinsten sind sie nach EC 7. Ähnlich verhält es sich bei dem Verhältnis Bruchlast Q_d zu zulässige Last V_d .

Tabelle (13) Vergleich der Ergebnisse zur Berechnung des Grundbruchsicherheit

Berechnung nach:	EC 2-6	EC 7	DIN 1054 (1976)
Q_d [kN]	146672	70236	73336
V_d [kN]	4140	3180	3000
Q_d / V_d [%]	35.4	22.1	24.4

6.2 Beispiel 2

Berechnung der Fundamentplatte für ein Hochhaus

6.2.1 Allgemeines

Im Rahmen einer Untersuchung zur Bauwerk/Baugrund-Wechselwirkung wurde mit Betreuung der Verfasser von CRUZ [5] eine Hochhaus-Plattengründung nach verschiedenen Normansätzen mit dem Programm ELPLA untersucht. Die Untersuchung sollte klären, welche Unterschiede bei einer Bemessung nach den Normansätzen DIN 1054 und EC 2 / EC 7 (ENV 1997-1) auftreten.

Hier wurde das gleiche Beispiel gewählt. Jedoch wurden die dreidimensionalen Flexibilitätskoeffizienten für das Kontinuummodell und die variable Bettungsmoduli für das Winkler-Modell mit der genaueren Methode (Iterationsmethode) statt einer Aufteilung bei der Teilflächen-Methode berechnet.

6.2.2 Aufgabenstellung

Berechnungsverfahren:

Im folgenden werden das statische System und die Bodenkennwerte erläutert (Bild 25), mit denen die nachfolgenden Untersuchungen durchgeführt wurden.

Im Rahmen der Vergleichsuntersuchung mit ELPLA wurden folgende Berechnungsverfahren eingesetzt:

Verfahren	Berechnungsmodell
1	Spannungstrapezverfahren
3	Bettungsmodulverfahren (Berechnung mit von Knoten zu Knoten variablem Bettungsmodul)
6	Steifemodulverfahren (mit Iteration)

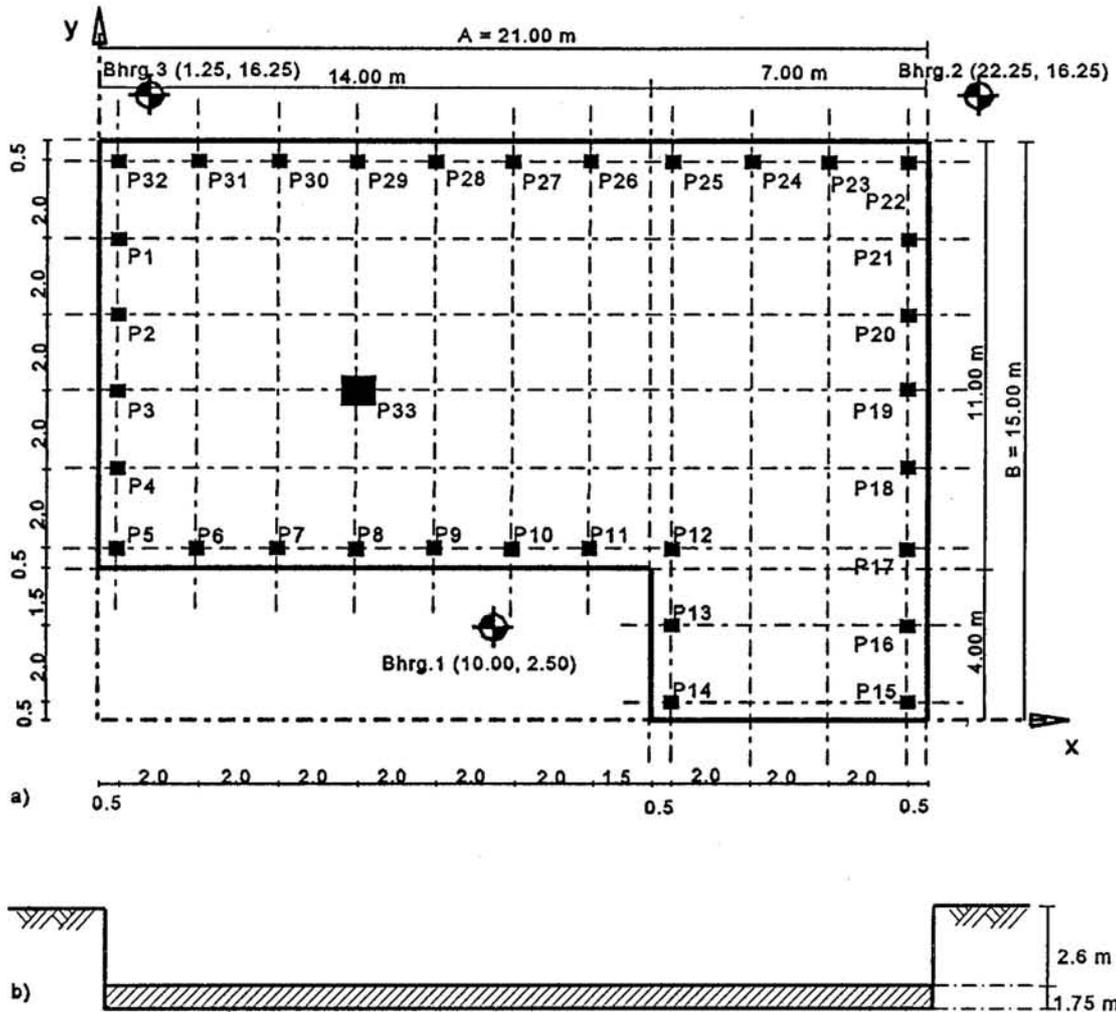


Bild (25) Statisches System
a) Grundriß des Hochhauses mit eingetragenen Lastpunkten
b) Längsschnitt durch die Sohlplatte

Bodenkennwerte:

Der Baugrund unter der Platte wurde durch drei unterschiedliche Bohrprofile definiert. In jedem Bohrprofil sind mehrere Schichten mit verschiedenen Bodenmaterialien, wie in Tabelle (14) und Bild (26) dargestellt, vorhanden. Der Einfluß von Erst- und Wiederbelastung wird berücksichtigt.

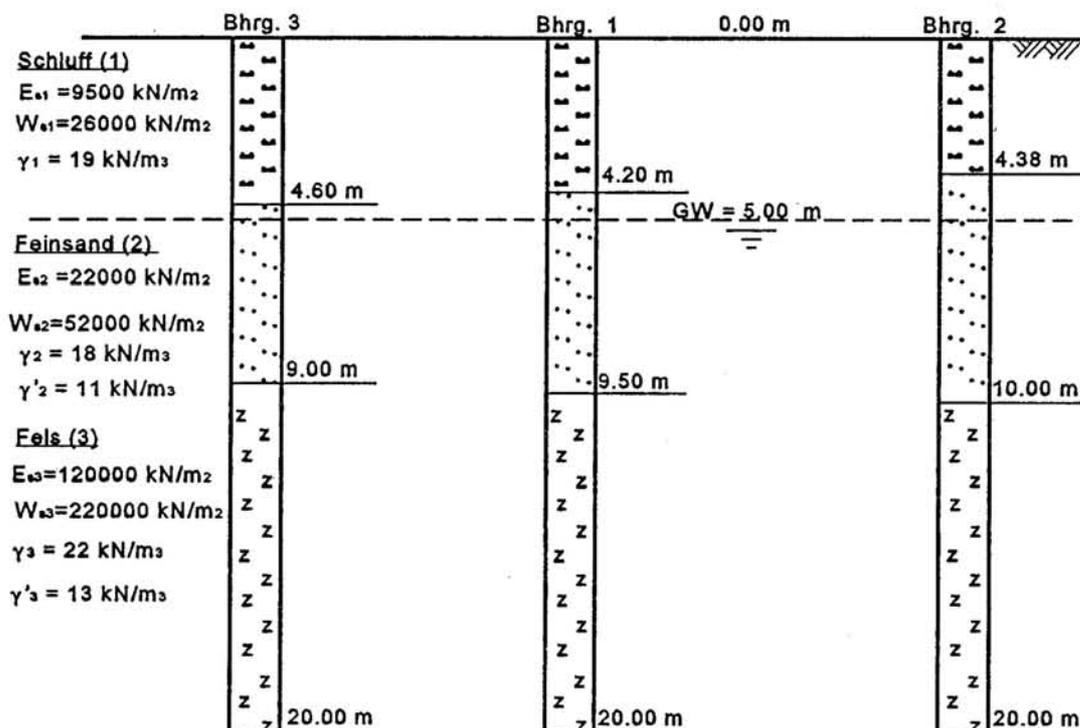
Für der Baugrund gilt:

- ν_s = Poissonzahl des Bodens = 0.25 (für alle Bodenmaterialien)
- α = Abminderungsbeiwerte (für bindige Böden nach DIN 4019 ist = 0.66)

Tabelle (14) Bodenkennwerte

Schicht Nr.	Benennung des Bodens	Tiefe der Schicht I unter Gel. [m]	Steifemodul [kN/m ²] für		Wichte über GW γ [kN/m ³]	Wichte unter GW γ' [kN/m ³]
			Erstbel. E_s	Wiederbel. W_s		
1	Schluff	4.6/4.2/4.38	9 500	26 000	19	9
2	Feinsand	9/9.5/10	22 000	52 000	18	11
3	Fels	20	120 000	220 000	22	13

Bild (26) Bohrprofile mit Bodenkennwerte



Lasten:

Die Platte wird durch 33 Einzellasten beansprucht (Bild 25). Das Verhältnis der Lastanteile N_{gk} zu N_{qk} betrug bei den Berechnungen 70/30. Die Belastung der Platte nach DIN 1045 und EC 2 wird in der Tabelle (15) und den Bildern 27 bis 28 gezeigt.

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Tabelle (15) Belastung der Platte

Stützen Nr.	Vorge- gebene Stützenlast N [kN]	ständige Lasten (70% N) G_k [kN]	ständige Lasten (30% N) Q_k [kN]	$N_{gk} = \gamma_g G_k$ $\gamma_g = 1.35$ [kN]	$N_{qk} = \gamma_q Q_k$ $\gamma_q = 1.50$ [kN]	$N_{sd} =$ $N_{gk} + N_{qk}$ [kN]
P1	1250	875	375	1181	563	1744
P2	1250	875	375	1181	563	1744
P3	1250	875	375	1181	563	1744
P4	1250	875	375	1181	563	1744
P5	990	693	297	936	446	1381
P6	1200	840	360	1134	540	1674
P7	1200	840	360	1134	540	1674
P8	1200	840	360	1134	540	1674
P9	1200	840	360	1134	540	1674
P10	1200	840	360	1134	540	1674
P11	1200	840	360	1134	540	1674
P12	1250	875	375	1181	563	1744
P13	1000	700	300	945	450	1395
P14	1150	805	345	1087	518	1604
P15	1150	805	345	1087	518	1604
P16	1380	966	414	1304	621	1925
P17	1380	966	414	1304	621	1925

Fortsetzung der Tabelle (15)

Stützen Nr.	Vorge- gebene Stützenlast N [kN]	ständige Lasten (70% N) G_k [kN]	ständige Lasten (30% N) Q_k [kN]	$N_{gk} = \gamma_g G_k$ $\gamma_g = 1.35$ [kN]	$N_{qk} = \gamma_q Q_k$ $\gamma_q = 1.50$ [kN]	$N_{sd} =$ $N_{gk} + N_{qk}$ [kN]
P18	1380	966	414	1304	621	1925
P19	1380	966	414	1304	621	1925
P20	1380	966	414	1304	621	1925
P21	1380	966	414	1304	621	1925
P22	980	686	294	926	441	1367
P23	1350	945	405	1276	608	1883
P24	1350	945	405	1276	608	1883
P25	1350	945	405	1276	608	1883
P26	1350	945	405	1276	608	1883
P27	1350	945	405	1276	608	1883
P28	1350	945	405	1276	608	1883
P29	1350	945	405	1276	608	1883
P30	1350	945	405	1276	608	1883
P31	1350	945	405	1276	608	1883
P32	980	686	294	926	441	1367
P33	10490	7343	3147	9913	4720	14634
Σ	50620	35434	15186	47836	22779	70615

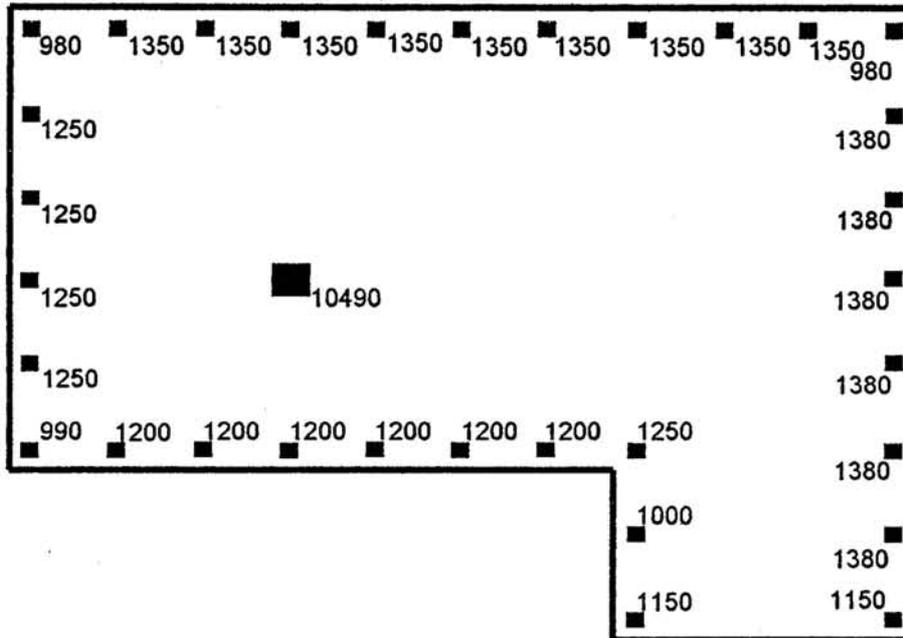


Bild (27) Belastung der Platte [kN] nach DIN 1045

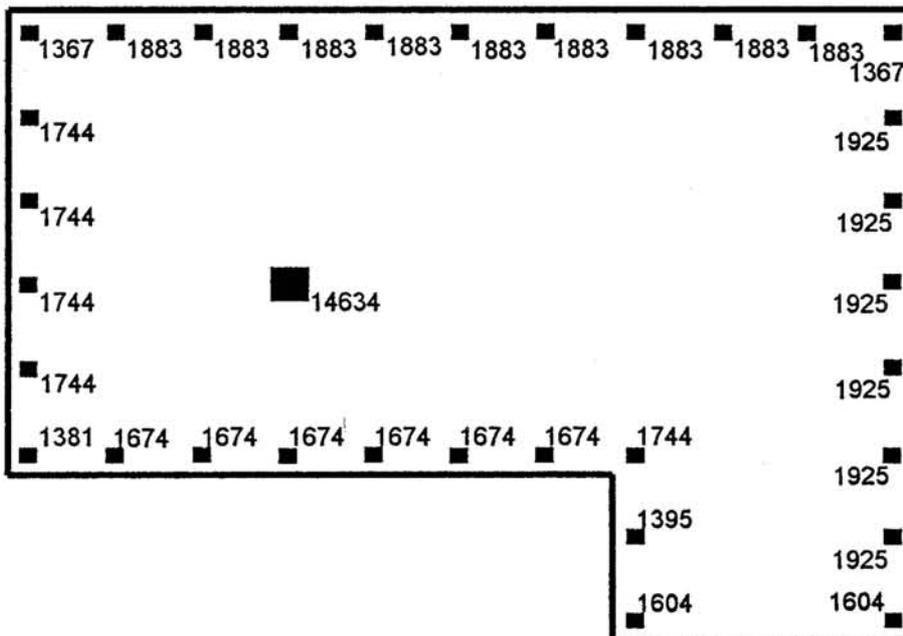


Bild (28) Belastung der Platte [kN] nach EC 2

Materialkennwerte des Betons:

Für das Plattenmaterial Beton gilt:

E_p	=	Elastizitätsmodul = 20 000 [MN/m ²]
ν_p	=	Poissonzahl = 0.25
γ_p	=	Wichte = 0 [kN/m ³] (Eigengewicht wird vernachlässigt)

Plattendicke:

Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurde bei allen Berechnungen die Dicke der Gründungsplatte mit $d = 1,75$ m angesetzt.

6.2.3 Bettungsmoduli k_s

Berechnung der Bettungsmoduli k_s für die 3 Bohrungen:

Es wird für jede Bohrung ein Bettungsmodul k_s aus den Bodenmaterialien der Bohrung ermittelt.

Die Bettungsmoduli k_s für die drei Bohrungen sind nach zwei Vorgaben mit den bodenmechanischen Regeln bestimmt worden:

mit den Vorgaben nach DIN 1045

$k_{s,I}$	=	18462	[kN/m ³]
$k_{s,II}$	=	16912	[kN/m ³]
$k_{s,III}$	=	18697	[kN/m ³]

mit den Vorgaben nach EC 2

$k_{s,I}$	=	16782	[kN/m ³]
$k_{s,II}$	=	15377	[kN/m ³]
$k_{s,III}$	=	16963	[kN/m ³]

Berechnung der variablen Bettungsmoduli $k_{s,i}$:

Es wird angenommen, daß der Fundamentbereich in 3 Zonentypen nach KANY / EL GENDY [19] aufgeteilt wird (Bild 29).

Typ I:

Diese Zone wird definiert als eine dreieckige Zone. Eine solche Zone wird begrenzt von

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

drei Bohrungen. Der Bettungsmodul $k_{s,i}$ für einen Knoten i , der auf einem Punkt in der dreieckigen Zone liegt, kann durch Interpolation zwischen den drei Werten der drei Bohrungen bestimmt werden.

Typ II:

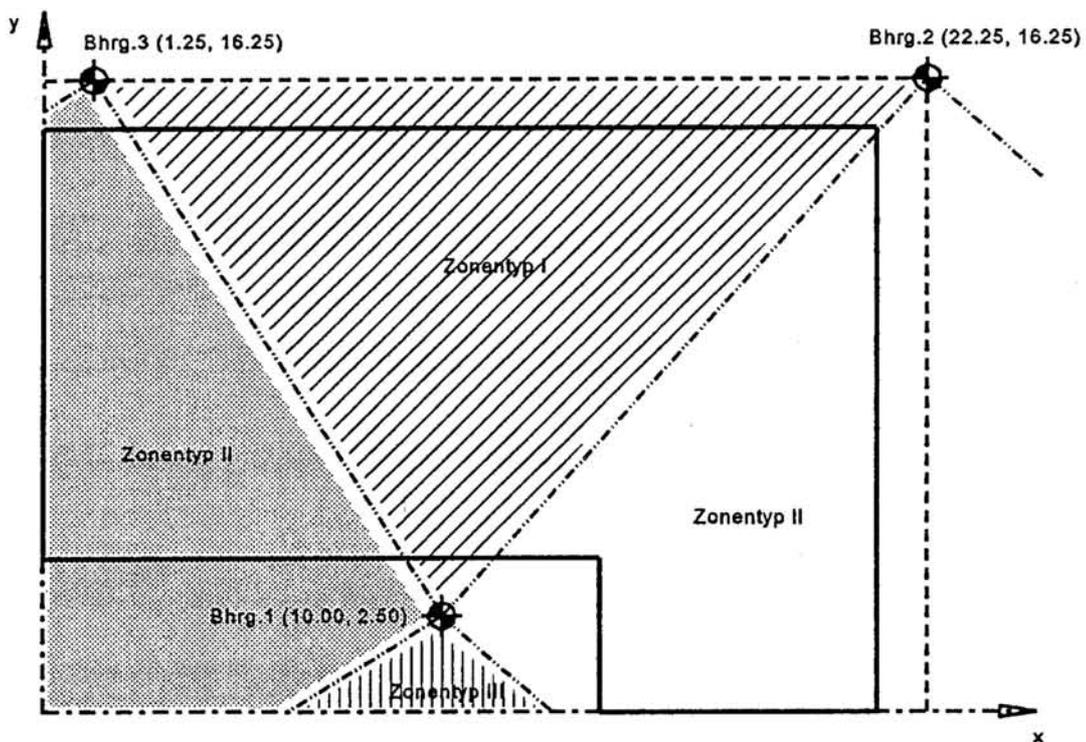
Diese Zone wird begrenzt von einer oder mehreren Seiten des Fundaments und zwei Bohrungen (Bhrg. 1 und Bhrg. 2). Der Bettungsmodul $k_{s,i}$ für einen Knoten i , der in dieser Zone liegt, kann erhalten werden durch Interpolation zwischen den Werten von $k_{s,i}$ der zwei Bohrungen.

Typ III:

Diese Zone ist begrenzt durch eine oder mehrere Seiten des Fundaments und eine Bohrung. Der Bettungsmodul $k_{s,i}$ für einen Knoten i , der in dieser Zone liegt, ist gleich dem Bettungsmodul der Bohrung.

Die errechneten variablen Bettungsmoduli $k_{s,i}$ nach DIN 1045 und EC 2 werden in den Bildern (36) und (37) gezeigt.

Die dreidimensionalen Flexibilitätskoeffizienten verhalten sich ebenso.



(29) Lage der Bohrprofile und Zonentypen I, II und III

Bi
Id

6.2.4 Lösung der Aufgabe und Ergebnisse

Zur Untersuchung der Bauwerk/Baugrund-Wechselwirkung wurden die Bettungsmoduli mit dem Programm ELPLA bestimmt, und zwar mit den Vorgaben für DIN 1045 (also ohne Teilsicherheitsbeiwerte) und EC 2 (also mit Teilsicherheitsbeiwerten).

Die maximale Differenz zwischen der Setzung, die berechnet wird im Iterationsschritt i , und der Setzung, die in dem vorherigen Schritt $i-1$ berechnet wurde, wird bezeichnet als Genauigkeit für die Iterationsverfahren (6). In diesem Beispiel wurde die Genauigkeit auf 0.00001 festgelegt.

Tabellen:

Nachfolgend werden die Ergebnisse aus Beispiel 2 in Tabellenform wiedergegeben.

In der Tabelle (16) werden für 2 unterschiedliche Berechnungsverfahren die Grenzwerte der Setzungen w_{\max} für 2 Berechnungsmodelle und in der Tabelle (17) die Grenzwerte der Bodenpressungen q_{\max} und der 3 unterschiedlichen Berechnungsverfahren (Modelle) gezeigt, so daß man die Unterschiede gut erkennen kann.

Tabelle (16) Maximale Setzungen w_{\max} [cm] an den kritischen Knoten bei Anwendung der Baugrundmodelle (3) und (6) nach Bild 3

Verfahren	Berechnung nach den Vorgaben in DIN 1045 w_{\max} [cm]	Berechnung nach den Vorgaben in EC 2 w_{\max} [cm]	Unterschied zwischen der DIN 1045 und EC 2 Δw [%]
Bettungsmodulverfahren (3)	1.60	2.45	35
Steifemodulverfahren (6)	1.78	2.62	38

Tabelle (17) Maximale Bodenpressungen q_{max} [kN/m²] an den kritischen Knoten bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle (1), (3) und (6)

Verfahren	Berechnung nach DIN 1045 q_{max} [kN/m ²]	Berechnung nach EC 2 q_{max} [kN/m ²]	Unterschied zwischen der DIN 1045 und EC 2 Δq [%]
Spannungstrapezverfahren (1)	260.43	363.30	28
Bettungsmodulverfahren (3)	296.60	413.09	28.2
Steifemodulverfahren (6)	1362.75	1987.21	3142

Als charakteristische Werte der Bodeneigenschaften (x_k) wurden die Steifemoduli E_s für Erstbelastung und W_s für Wiederbelastung, die Poissonzahlen ν und Wichten des Bodens γ_s (im Beispiel 2 ist $\gamma_s = 0$, weil das Eigengewicht des Bodens vernachlässigt wurde) angesetzt.

Isolinien-Darstellungen:

Die Ergebnisse der Untersuchung nach DIN 1045 und EC 2 sind in den Bildern 30 bis 53 als Isolinien dargestellt.

In den Bildern 30 bis 35 sind die Sohldrücke, die Bettungsmoduli (Bilder 36 und 37), die Setzungen (Bilder 38 bis 41) und Momente (Bilder 42 bis 53) mit Isolinien dargestellt.

Wegen der Erhöhung der Lasten durch die Teilsicherheitsbeiwerte sind die Setzungen nach EC 2 größer als die nach DIN 1054 und die Bettungsmoduli nach EC 2 kleiner als die nach DIN 1054.

Die zulässige Setzung beträgt 4-6 [cm] in nichtbindigen Böden (Feinsand) nach SKEMPTON/McDONALD [28]. Deshalb sollte auch die max. zulässige Setzungsgröße erhöht werden. Die zulässige Setzung wird mit dem Wert 1.395 multipliziert, weil

$$N_{sd} = \gamma_g \cdot N_{gk} + \gamma_q \cdot N_{qk} = 1.35 (0.7 \cdot P) + 1.5 (0.3 \cdot P) = \underline{1.395} P$$

mit

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

N_{sd}	=	Bemessungswerte der Einwirkung
P	=	vorgegebene Stützlast
γ_g	=	1.35 = Teilsicherheitsbeiwerte für ständige Einwirkung
γ_q	=	1.5 = Teilsicherheitsbeiwerte für veränderliche Einwirkung
N_{gk}	=	$0.7 \cdot P$ = ständige Last
N_{qk}	=	$0.3 \cdot P$ = veränderliche Last.

Damit kann man nach dem Sicherheitskonzept unter Verwendung von Teilsicherheitsbeiwerten untersuchen, ob Setzungsschäden zu erwarten sind.

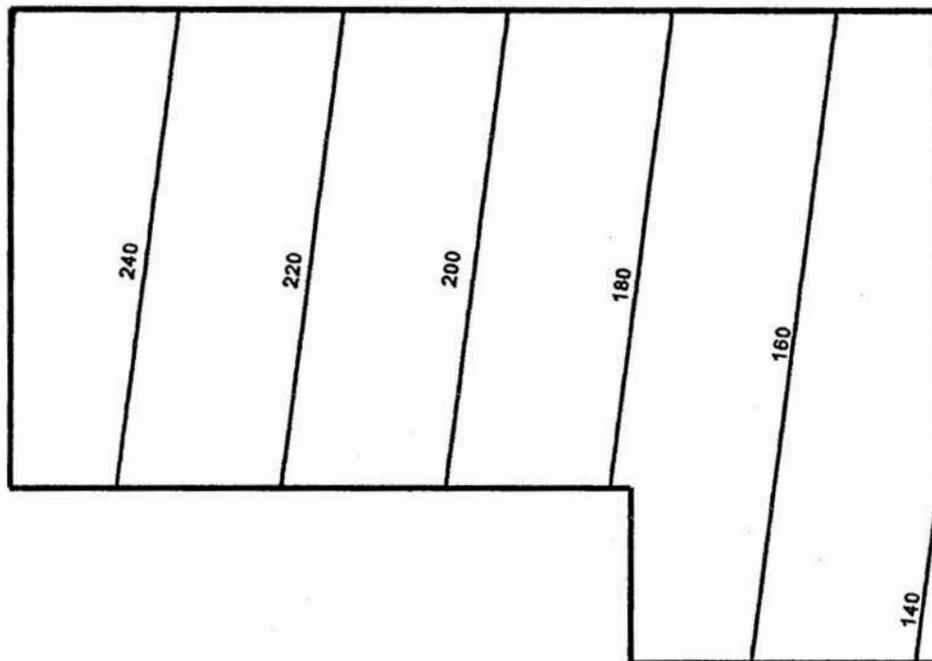


Bild (30) Isolinien der Sohldruckverteilung q [kN/m^2] bei Spannungstrapezverfahren (nach DIN 1045)

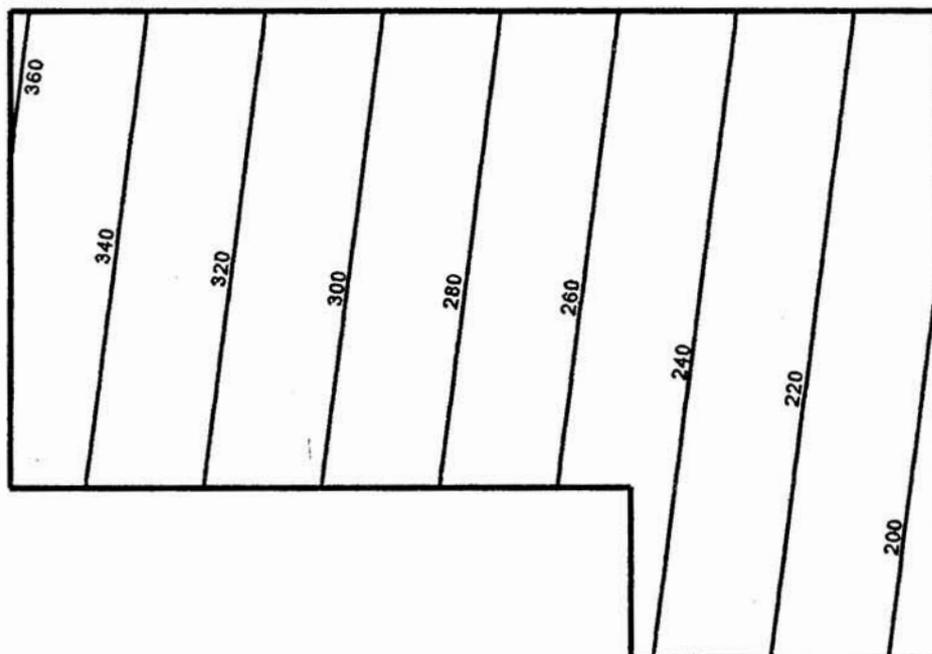


Bild (31) Isolinien der Sohldruckverteilung q [kN/m^2] bei Spannungstrapezverfahren (nach EC 2)

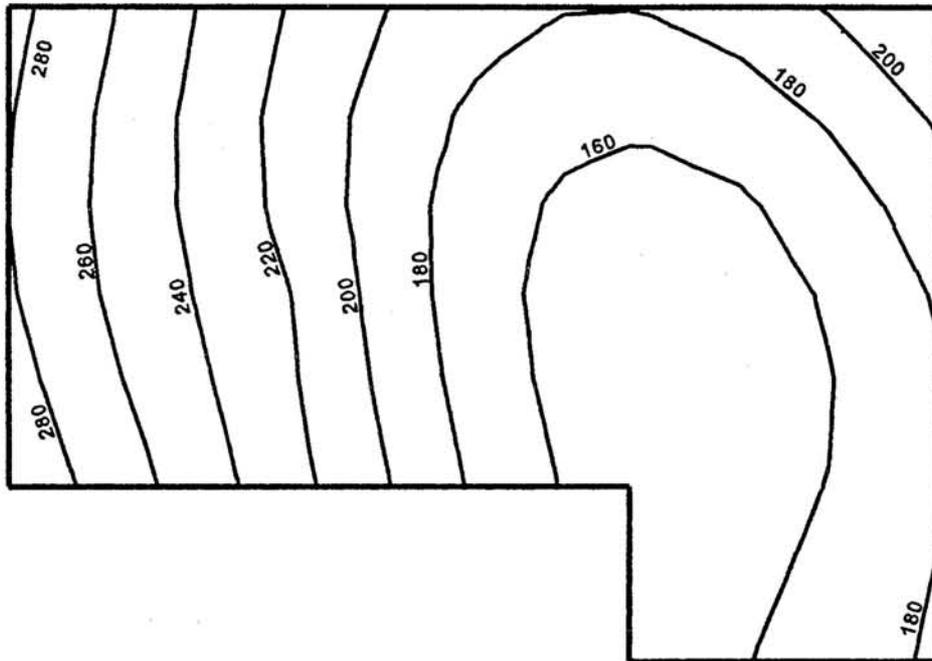


Bild (32) Isolinen der Sohldruckverteilung q [kN/m^2] bei Bettungsmodulverfahren (nach DIN 1045)

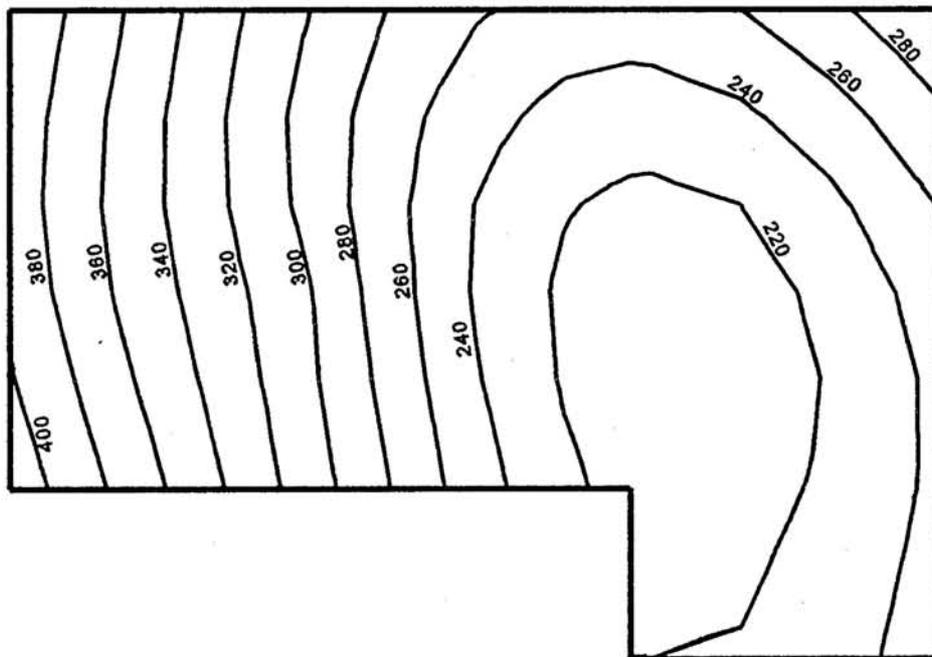


Bild (33) Isolinen der Sohldruckverteilung q [kN/m^2] bei Bettungsmodulverfahren (nach EC 2)

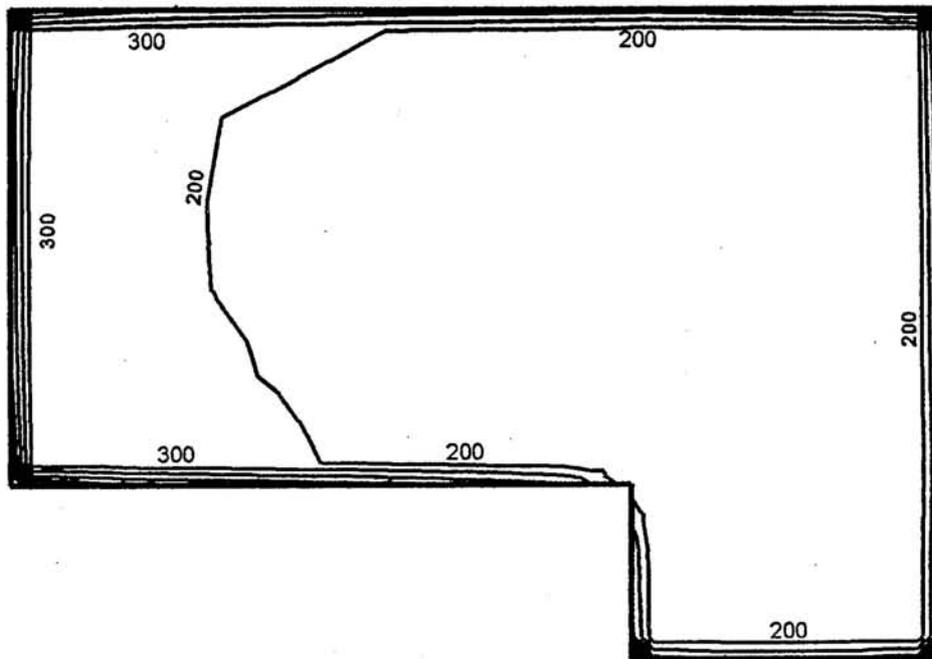


Bild (34) Isolinien der Sohldruckverteilung q [kN/m²] für das Steifemodulverfahren (nach DIN 1045)

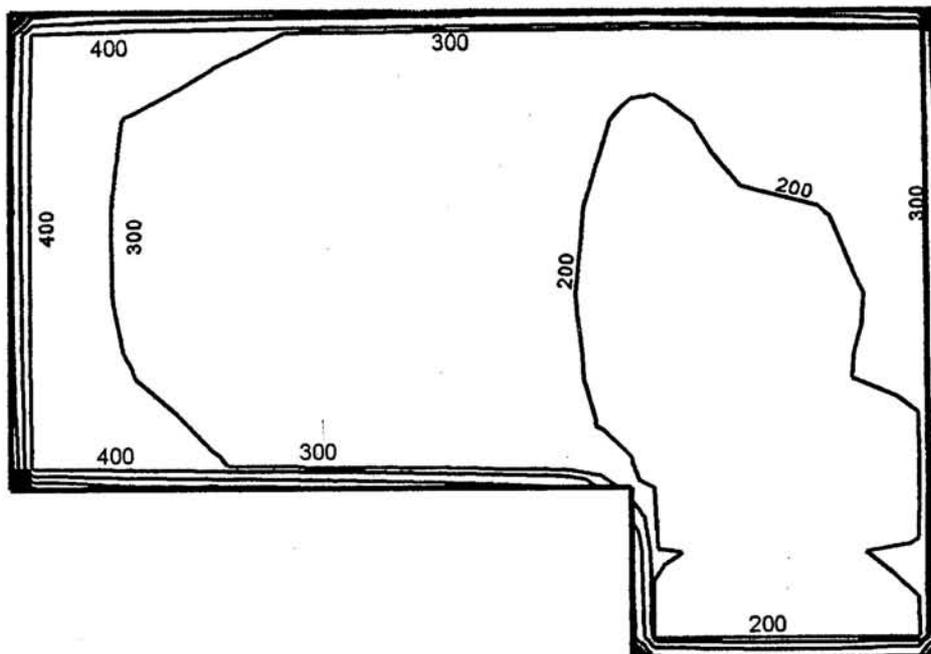


Bild (35) Isolinien der Sohldruckverteilung q [kN/m²] für das Steifemodulverfahren (nach EC 2)

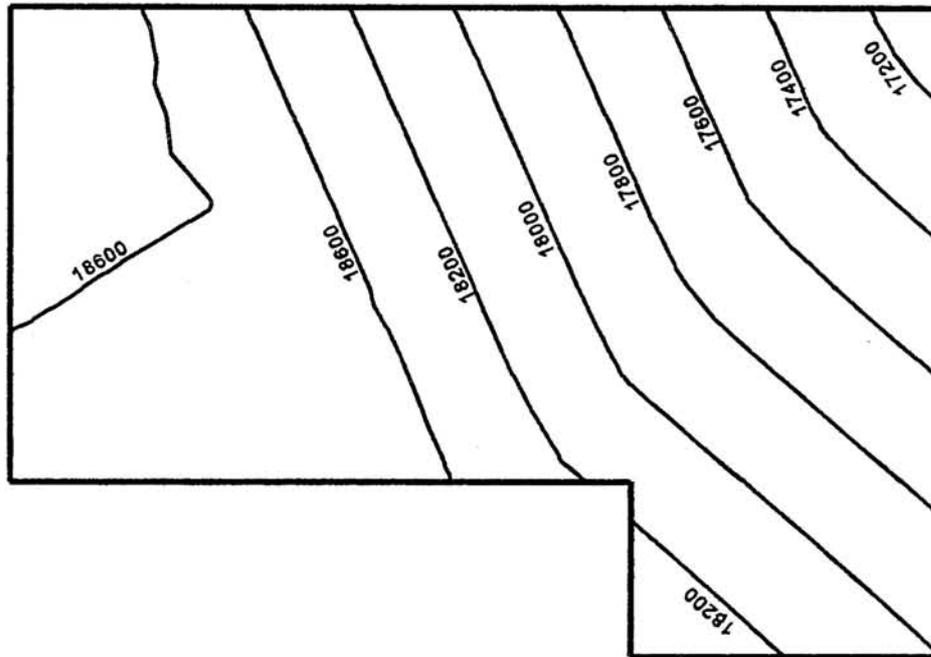


Bild (36) Isolinien der Bettungsmoduli k [kN/m^3]
bei Bettungsmodulverfahren (nach DIN 1045)

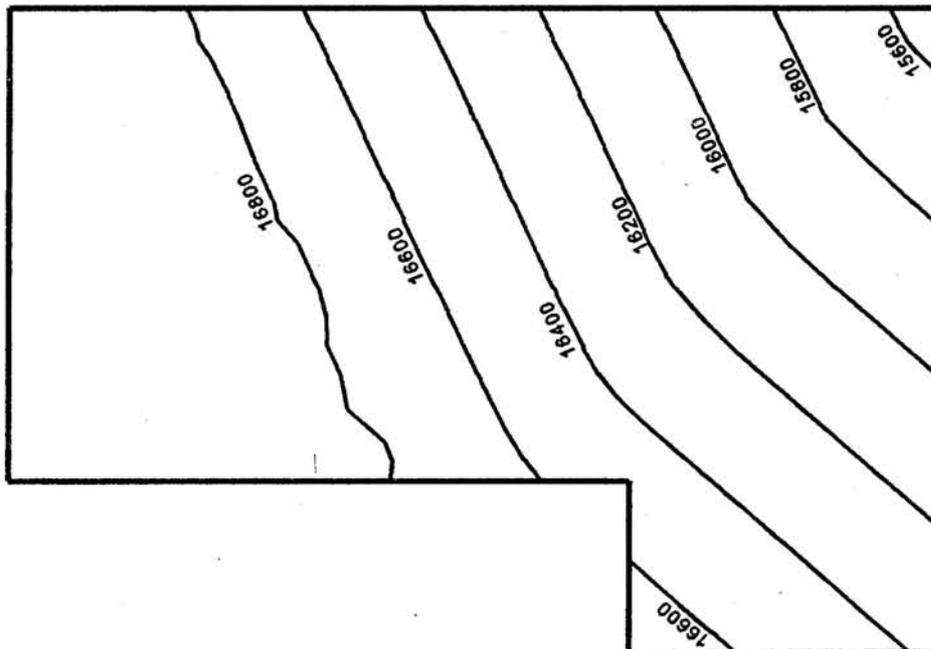


Bild (37) Isolinien der Bettungsmoduli k [kN/m^3]
bei Bettungsmodulverfahren (nach EC 2)

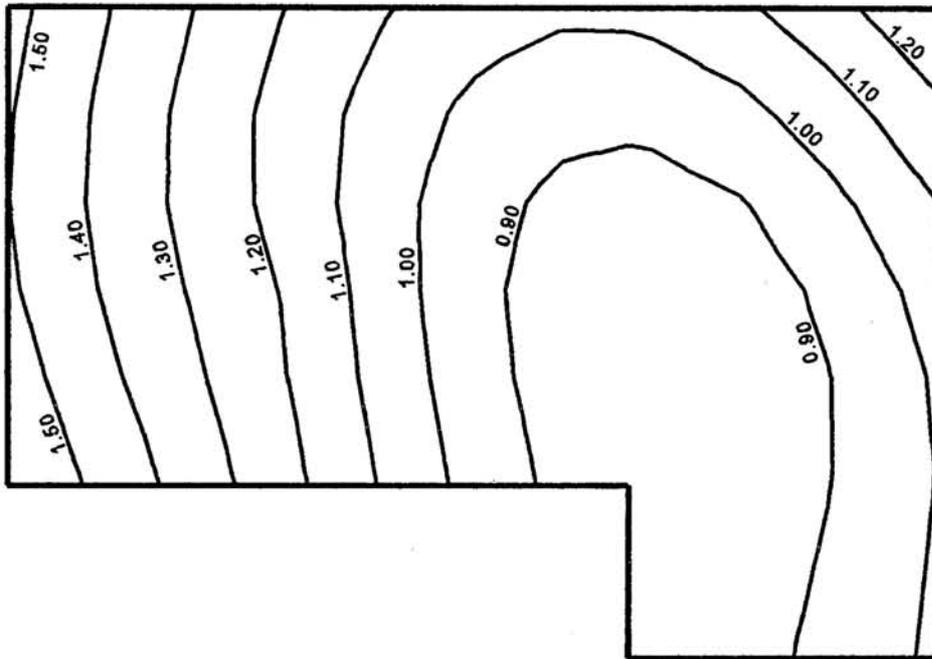


Bild (38) Isolinien der Setzungen w [cm] bei Bettungsmodulverfahren (nach DIN 1045)

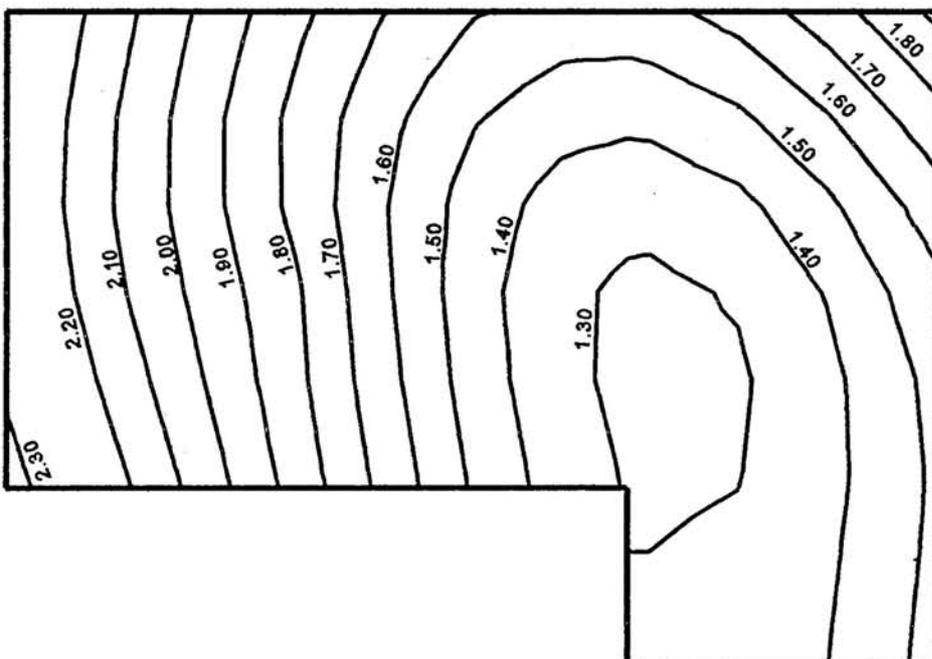


Bild (39) Isolinien der Setzungen w [cm] bei Bettungsmodulverfahren (nach EC 2)

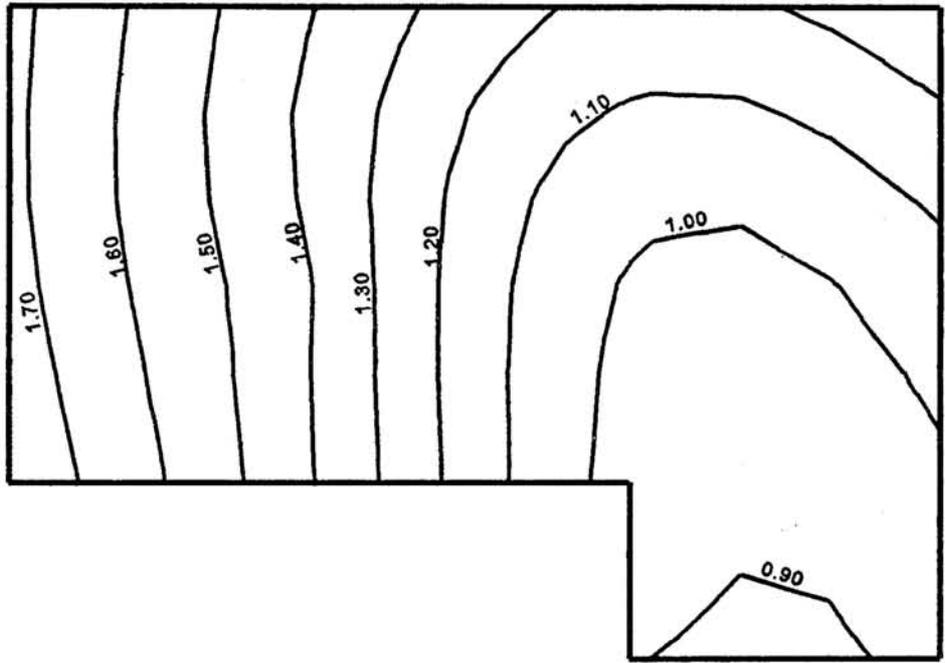


Bild (40) Isolinien der Setzungen w [cm] für das Steifemodulverfahren (nach DIN 1045)

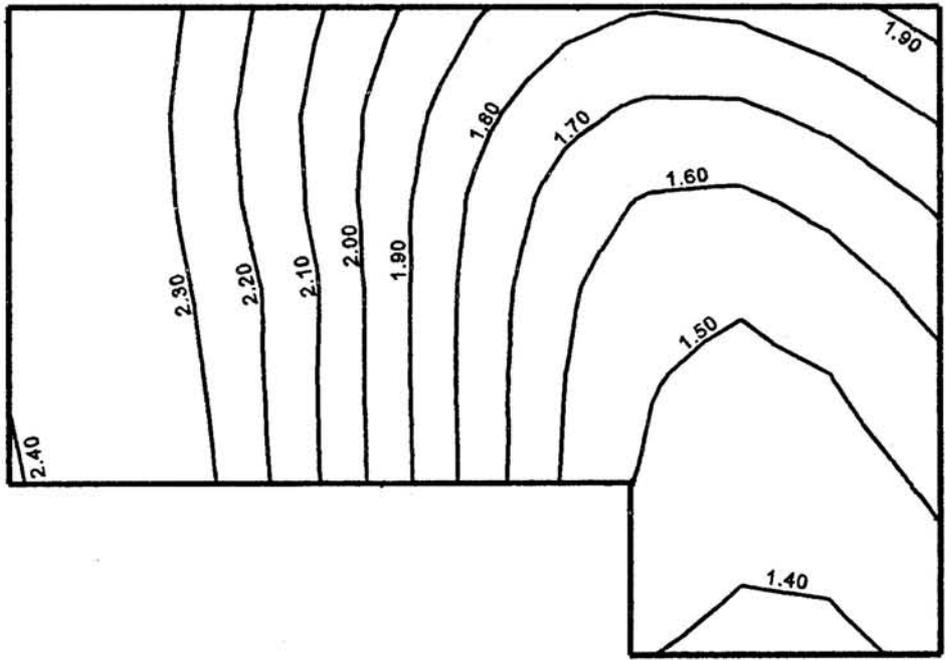


Bild (41) Isolinien der Setzungen w [cm] für das Steifemodulverfahren (nach EC 2)

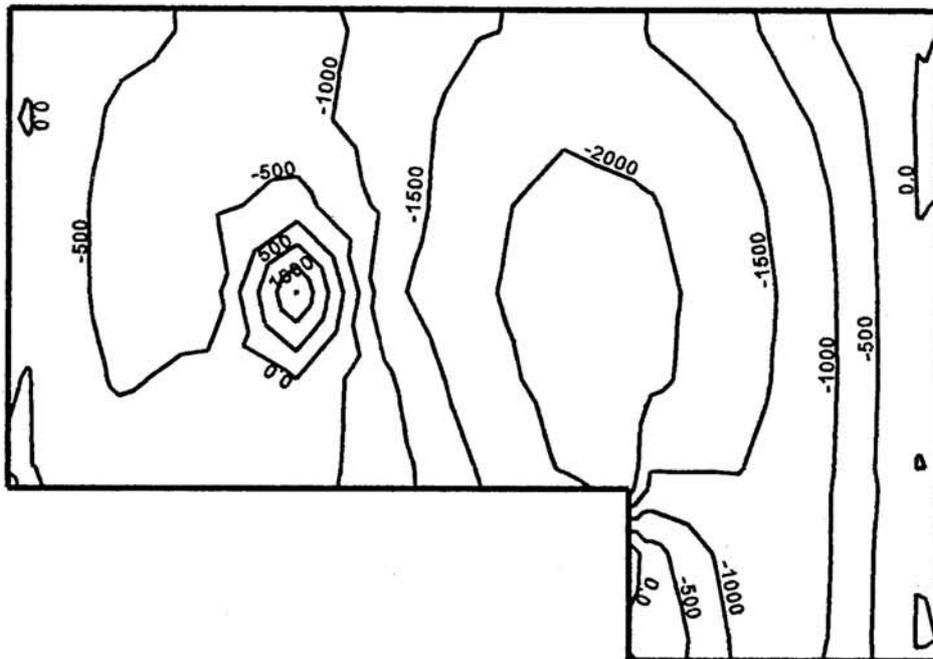


Bild (42) Isolinien der Momente m_x [kN.m/m] bei Spannungstrapezverfahren (nach DIN 1045)

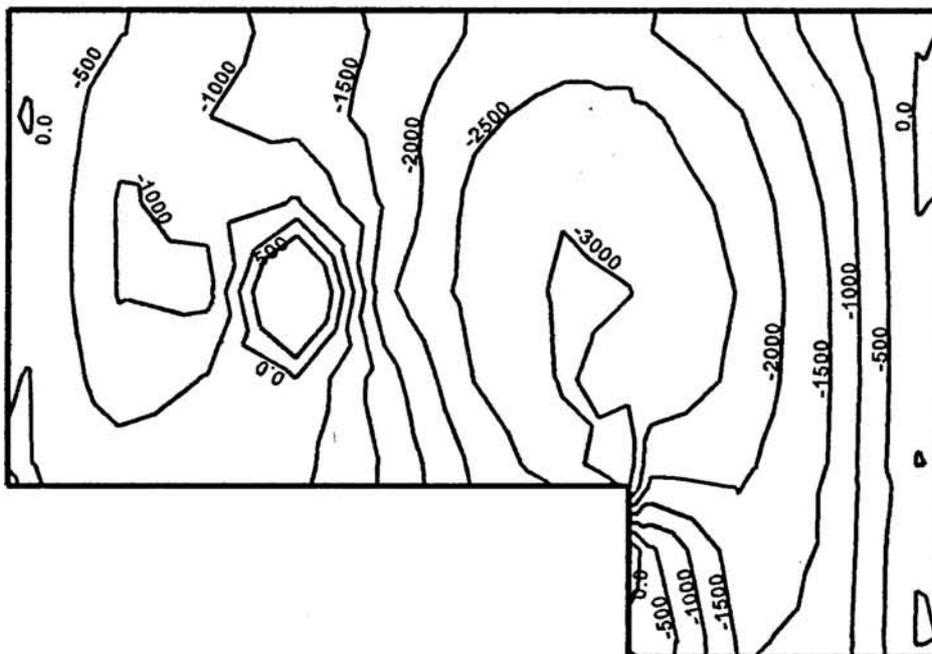


Bild (43) Isolinien der Momente m_x [kN.m/m] bei Spannungstrapezverfahren (nach EC 2)

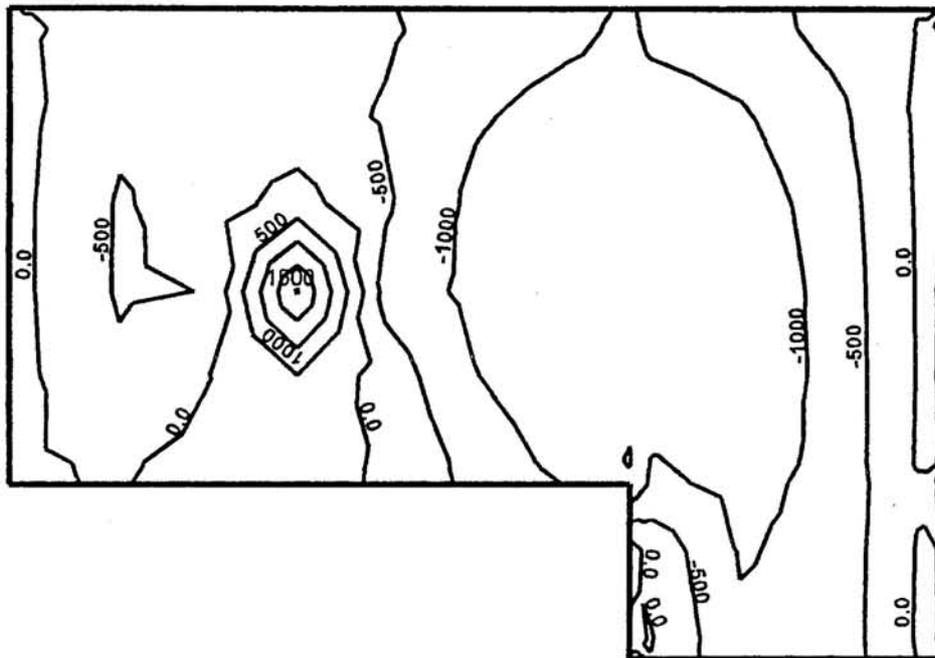


Bild (44) Isolinien der Momente m_x [kN.m/m] bei Bettungsmodulverfahren (nach DIN 1045)

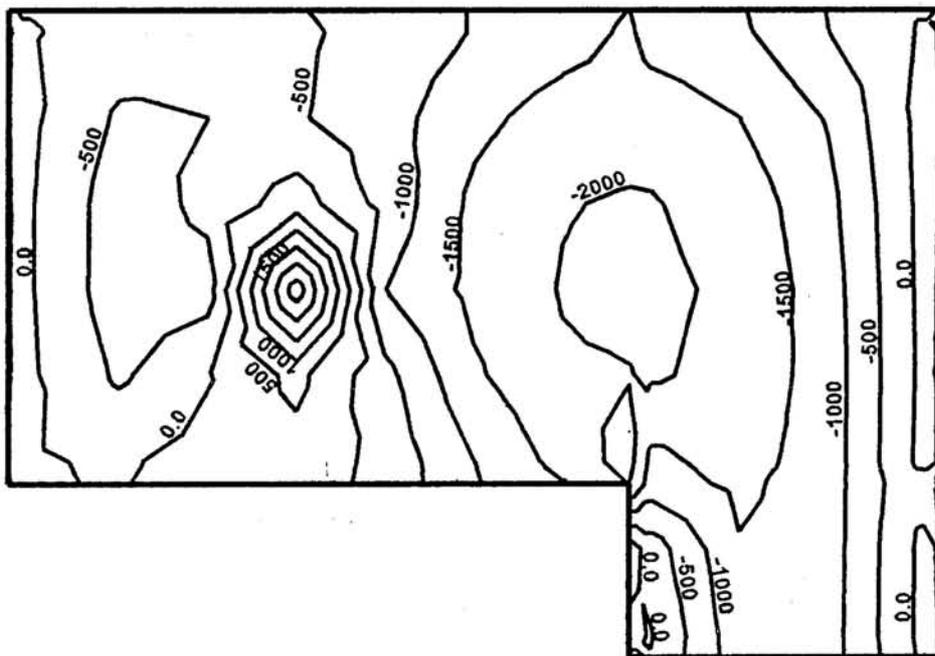


Bild (45) Isolinien der Momente m_x [kN.m/m] bei Bettungsmodulverfahren (nach EC 2)

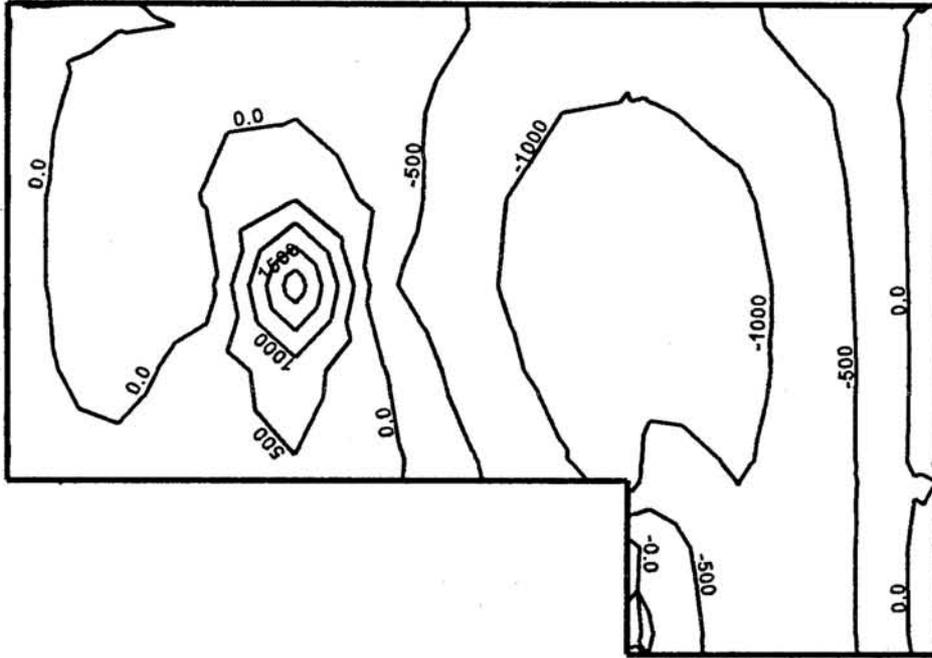


Bild (46) Isolinien der Momente m_x [kN.m/m] für das Steifemodulverfahren (nach DIN 1045)

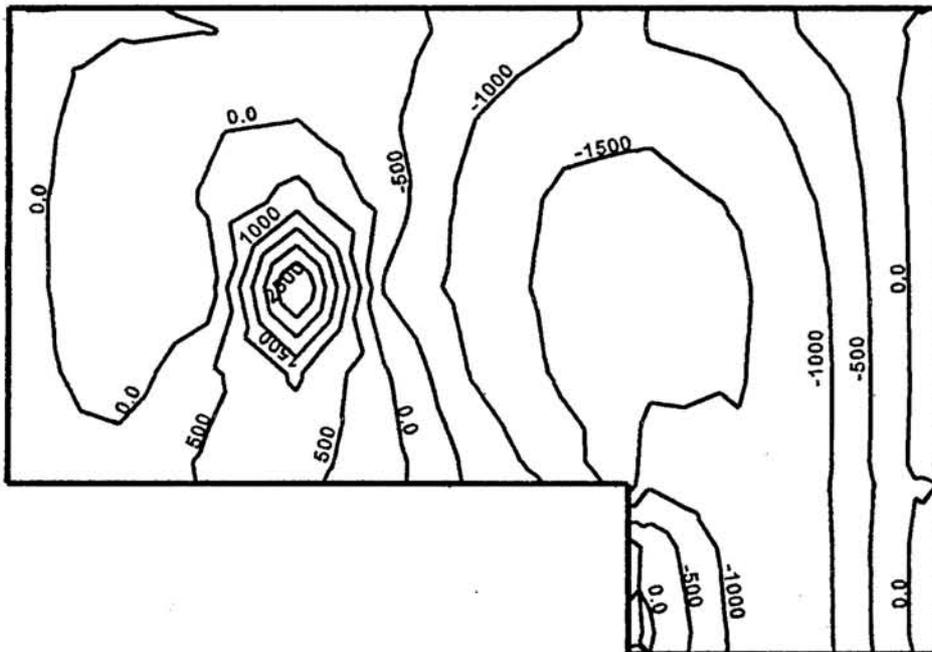


Bild (47) Isolinien der Momente m_x [kN.m/m] für das Steifemodulverfahren (nach EC 2)

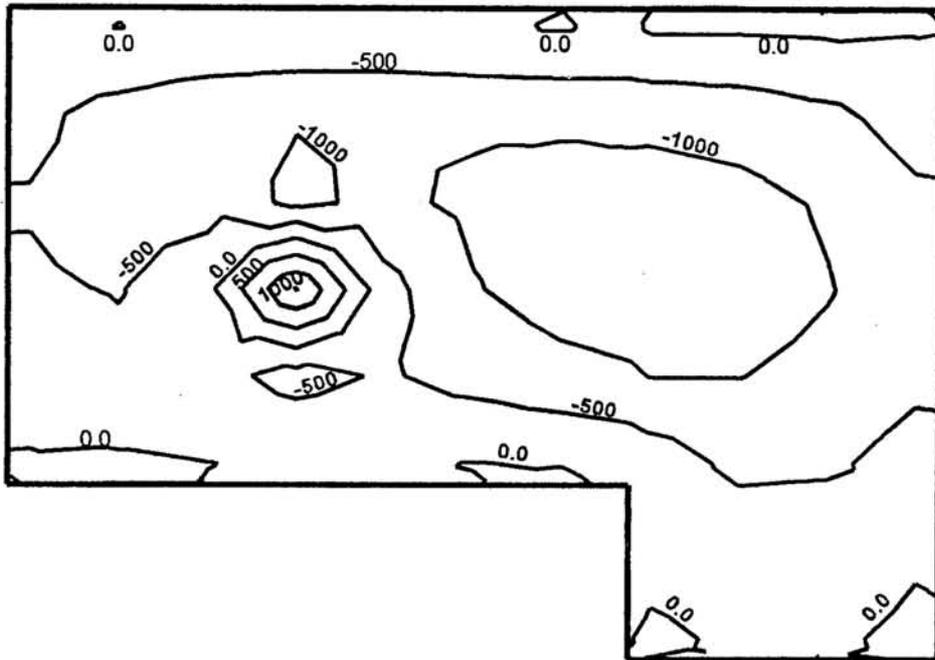


Bild (48) Isolinien der Momente m_y [kN.m/m] bei Spannungstrapezverfahren (nach DIN 1045)

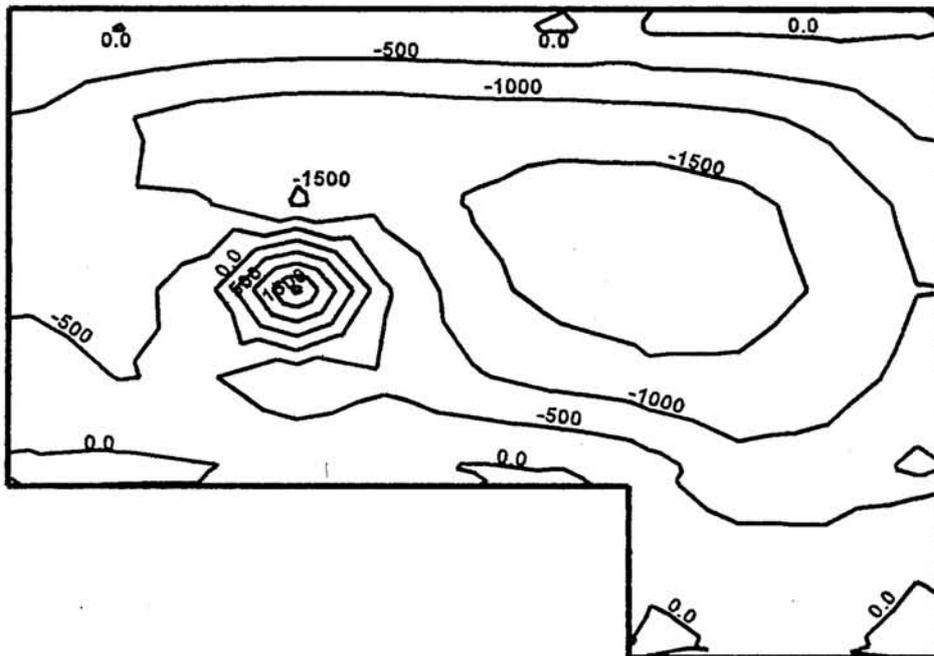


Bild (49) Isolinien der Momente m_y [kN.m/m] bei Spannungstrapezverfahren (nach EC 2)

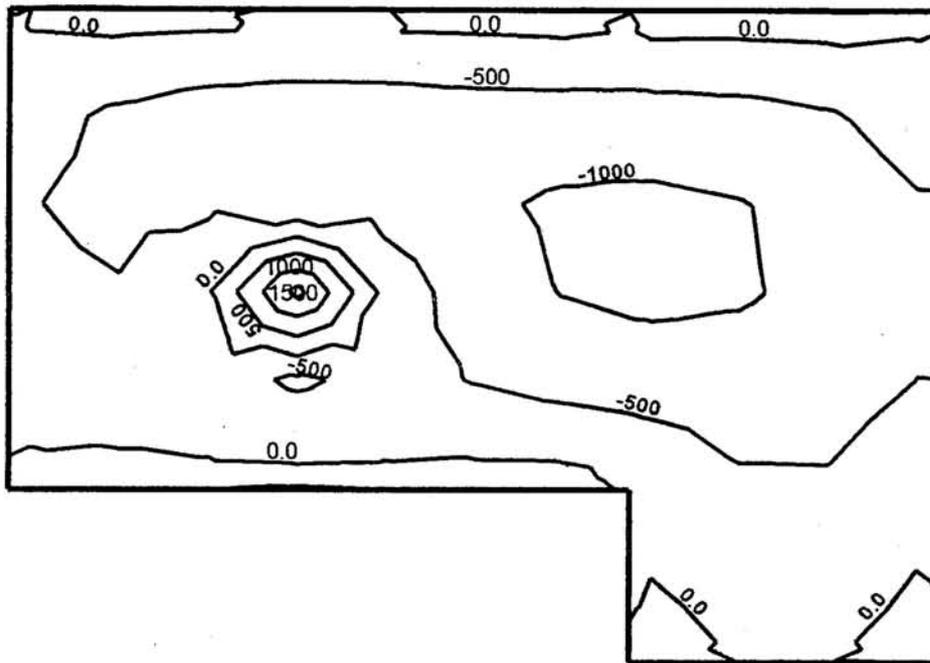


Bild (50) Isolinien der Momente m_y [kN.m/m] bei Bettungsmodulverfahren (nach DIN 1045)

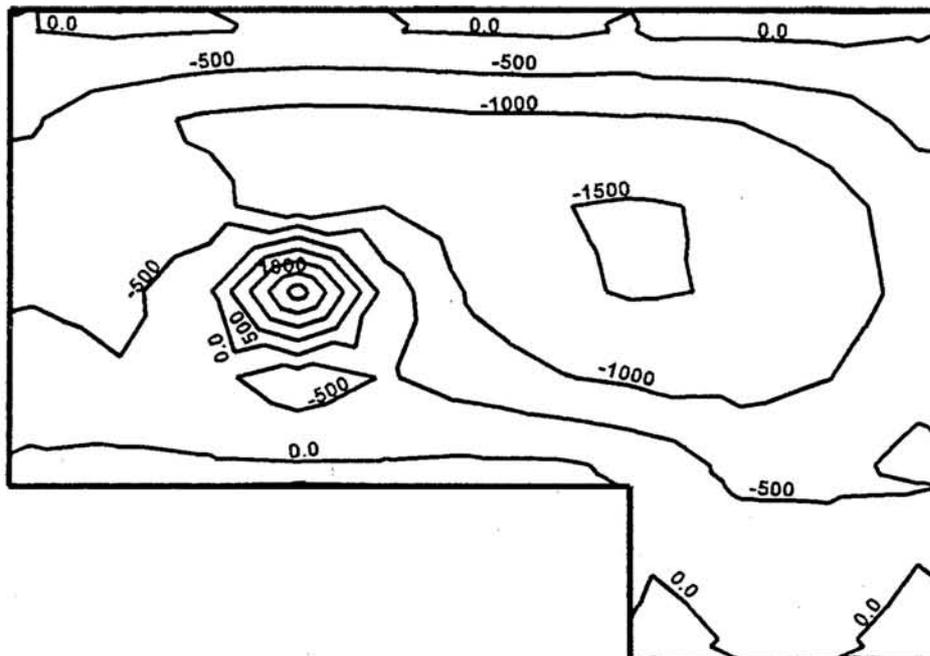


Bild (51) Isolinien der Momente m_y [kN.m/m] bei Bettungsmodulverfahren (nach EC 2)

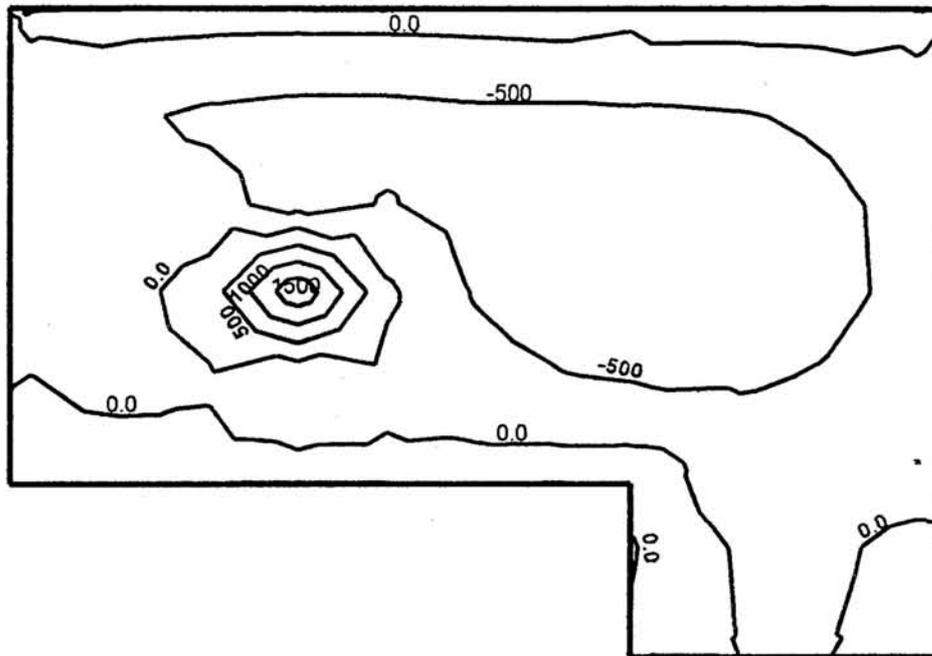


Bild (52) Isolinien der Momente m_y [kN.m/m] für das Steifemodulverfahren (nach DIN 1045)

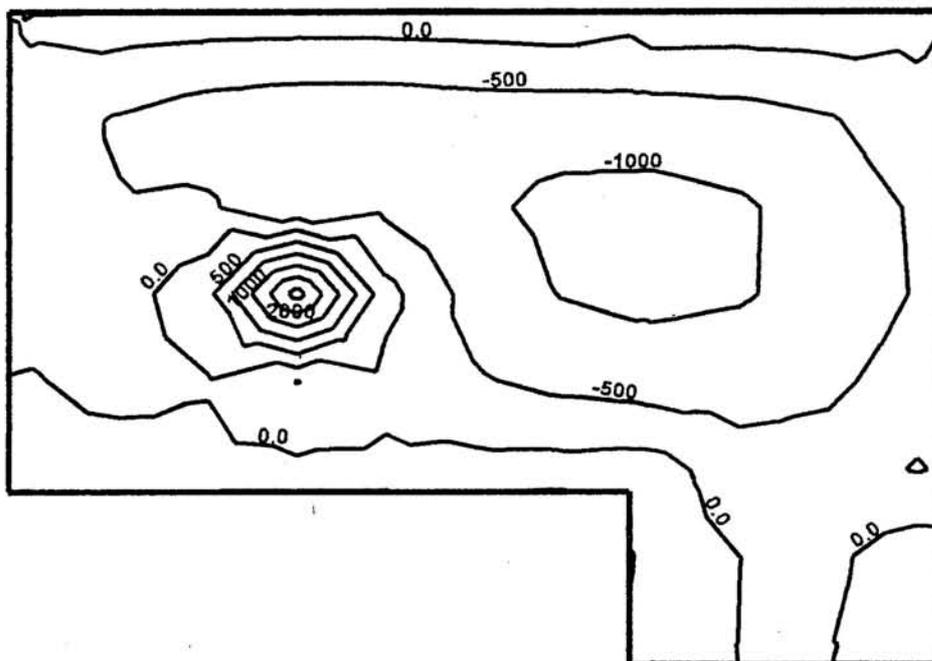


Bild (53) Isolinien der Momente m_y [kN.m/m] für das Steifemodulverfahren (nach EC 2)

6.2.5 Bemessung der Platte nach DIN 1045

Nachfolgenden werden die Einzelergebnisse der Bemessung in Zahlen wiedergegeben (nur für die kritische Schnitte x-x und y-y im Detail (Bild 54), die anderen Schnitte verhalten sich ebenso). Bilder (55) bis (58) zeigen die Momente und die Sohldrücke an den kritischen Schnitten x-x und y-y.

Die Biegebemessung nach DIN 1045 wird nach dem k_n -Verfahren in tabellarische Form durchgeführt. Zuerst werden in Tabelle (18) die Bodenpressungen σ_o unter Stützen, die Feldmomente m_f und Stützmomente m_s an den kritischen Knoten bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle aufgelistet. Die Tabelle (19) und (20) beinhalten die Bemessung nach dem k_n -Verfahren.

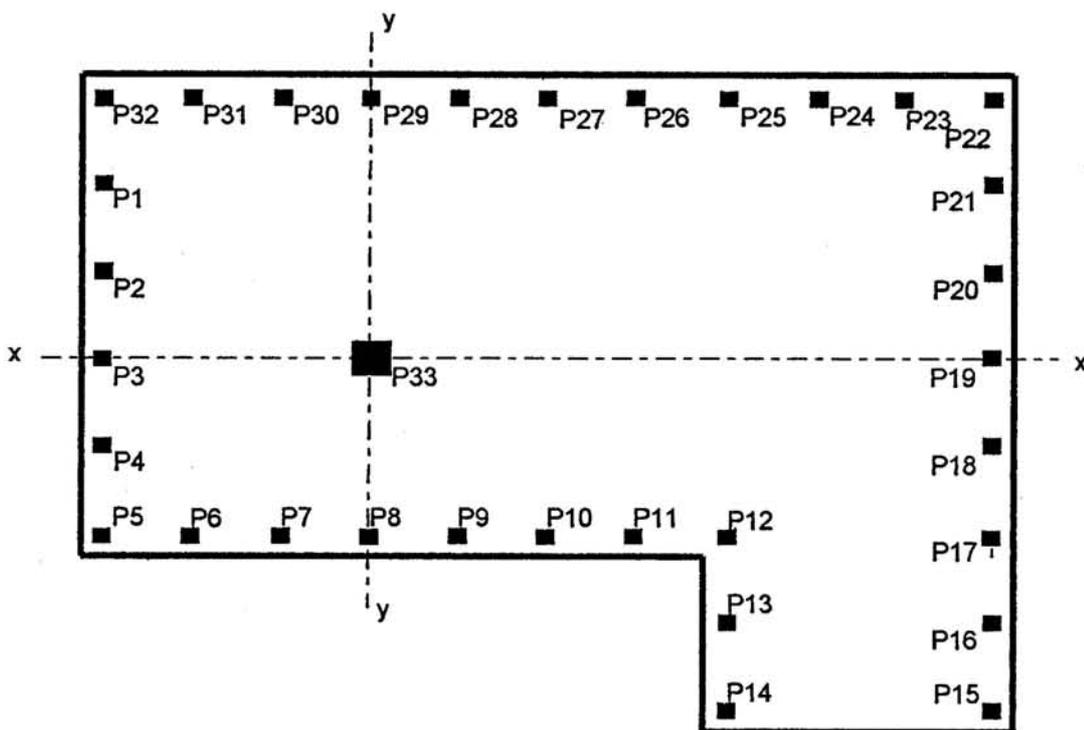


Bild (54) Festlegung der Schnitte in x- und y-Richtung

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Bemessung der Platte für Biegung:

Gewählt $\phi = 25$ [mm]

Plattendicke $d = 175$ [cm]

Betondeckung $\text{nom } c = 5$ [cm]

Beton B35

Betonstahl BSt 500

statische Höhe h_m :

Höhe in x-Richtung

$$h_x = d - \text{nom } c - \phi/2 = 175 - 5 - 2.5/2 = 168.75 \text{ [cm]}$$

Höhe in y-Richtung

$$h_y = h_x - \phi = 168.75 - 2.5 = 166.25 \text{ [cm]}$$

$$h_m = (h_x + h_y)/2 = (168.75 + 166.25)/2 = 167.5 \text{ [cm]}$$

$$b = 1.0 \text{ [m]}$$

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

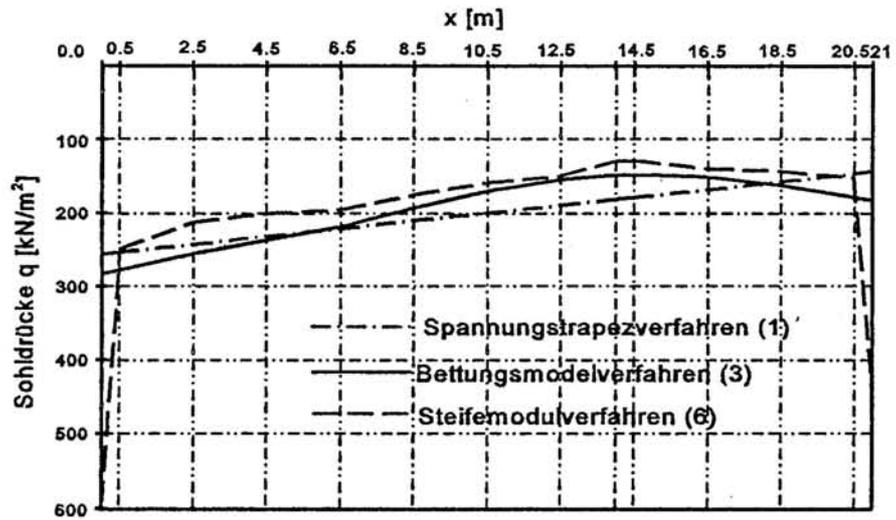
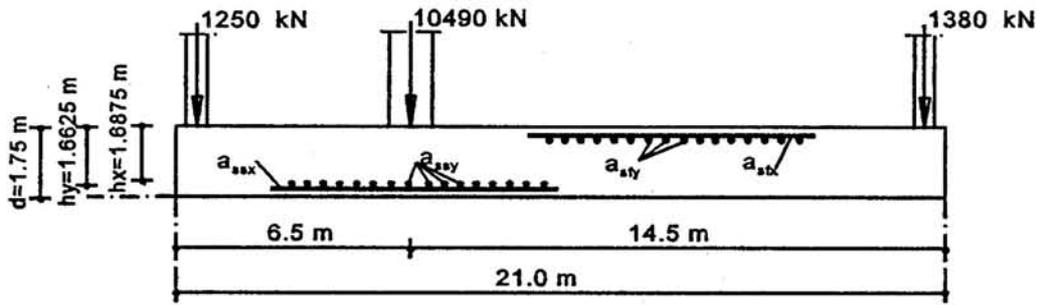


Bild (55) Sohldrücke q [kN/m²] an dem Schnitt x-x (nach DIN 1045)

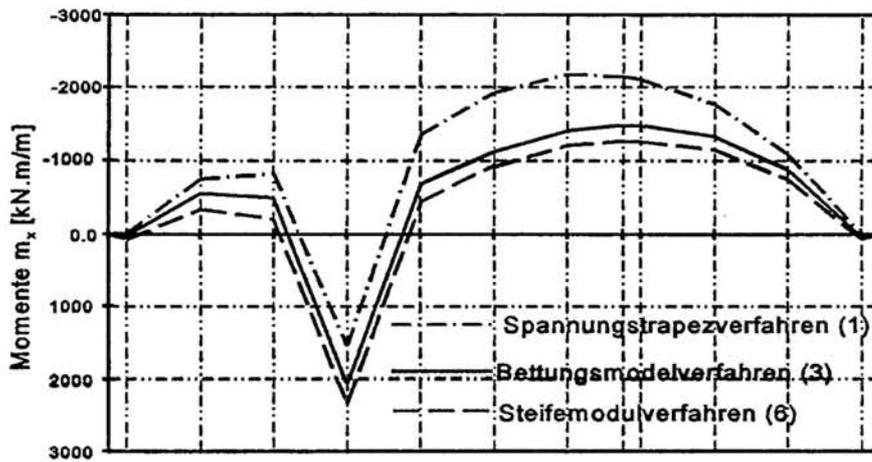


Bild (56) Momente m_x [kN.m/m] im Schnitt x-x (nach DIN 1045)

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

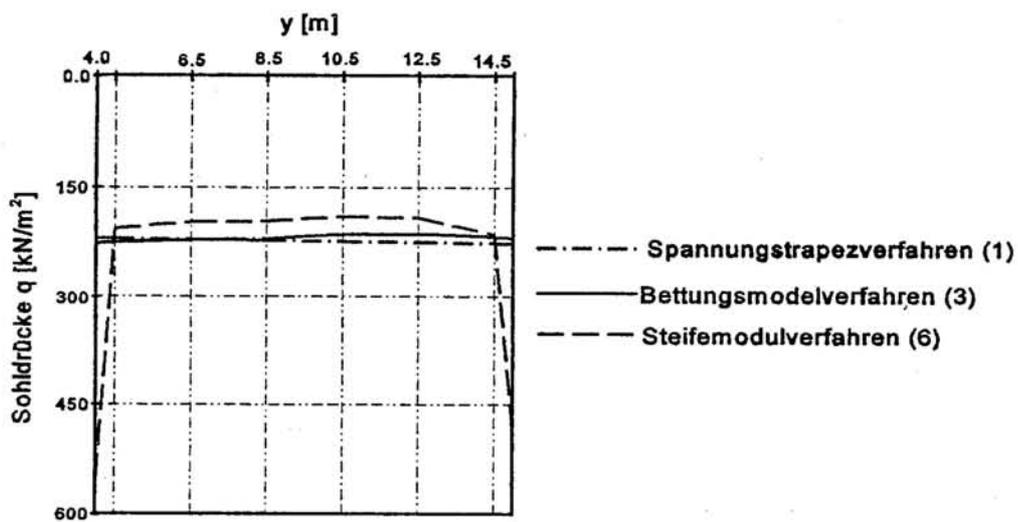
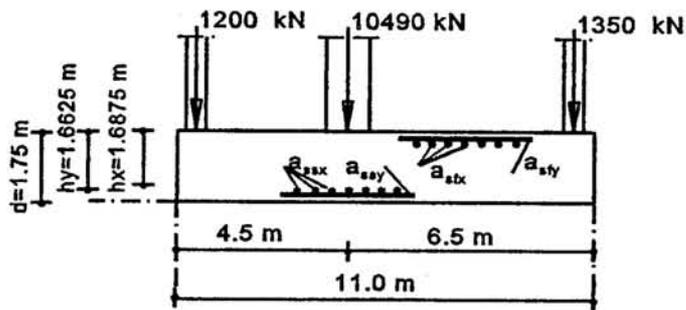


Bild (57) Sohldrücke q [kN/m²] an dem Schnitt y-y (nach DIN 1045)

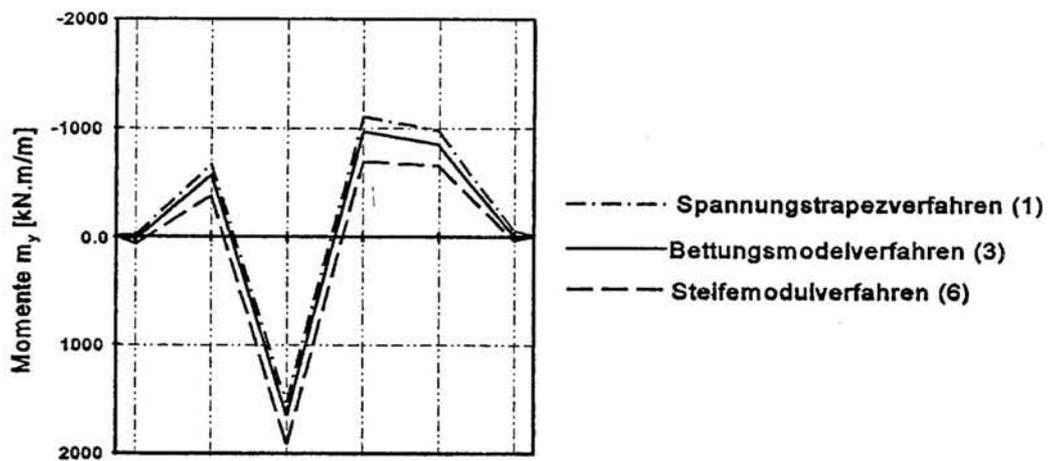


Bild (58) Momente m_y [kN.m/m] im Schnitt y-y (nach DIN 1045)

Tabelle (18) Bodenpressungen σ_o unter Stützen, Feldmomente m_f , Feldmoment zwischen der Stütze und Stützmomente m_s an den kritischen Schnitten x-x und y-y (nach DIN 1045)

Verfahren	σ_o [kN/m ²]	Schnitt x-x		Schnitt y-y	
		m_s [kN.m/m]	m_f [kN.m/m]	m_s [kN.m/m]	m_f [kN.m/m]
Spannungstrapez (1)	220.95	1527.40	-2194.8	1528.80	-1101.30
Bettungsmodul (3)	218.87	2044.42	-1494.00	1648.04	-967.00
Steifemodul (6)	195.10	2326.22	-1279.34	1918.05	-701.69

Tabelle (19) Biegebemessung nach DIN 1045 bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle (Schnitt x-x)

Verfahren	Stahlquerschnitt unter der Stütze			Stahlquerschnitt im Feld oben		
	k_h	k_s	a_{ss} [cm ²]	k_h	k_s	a_{sf} [cm ²]
Spannungstrapez (1)	4.29	3.7	32.83	3.58	3.7	48.48
Bettungsmodul (3)	3.70	3.7	45.16	4.33	3.7	33.00
Steifemodul (6)	3.47	3.7	51.39	4.68	3.7	28.26

Tabelle (19) Biegebemessung bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle nach DIN 1045 (Schnitt y-y)

Verfahren	Stahlquerschnitt unter der Stütze			Stahlquerschnitt im Feld oben		
	k_h	k_s	a_{ss} [cm ²]	k_h	k_s	a_{sf} [cm ²]
Spannungstrapez (1)	4.28	3.7	33.77	5.05	3.6	23.67
Bettungsmodul (3)	4.13	3.7	36.40	5.39	3.6	20.78
Steifemodul (6)	3.82	3.7	42.37	6.32	3.6	15.08

Gewählte Bewehrung:

Die Tabellen (21) und (22) zeigen die Anzahl der Stäbe unter der Stützen und im Feld oben bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle im Schnitt x-x und y-y. Die gewählte Durchmesser ϕ ist 25 [mm]

Tabelle (21) Erforderliche Bewehrung nach DIN 1045 (Schnitt x-x)

Verfahren	gewählte Bewehrung	
	unter der Stütze a_{ss}	im Feld oben a_{sf}
Spannungstrapezverfahren (1)	7 ϕ 25 = 34.36 cm ²	10 ϕ 25 = 49.09 cm ²
Bettungsmodulverfahren (3)	10 ϕ 25 = 49.09 cm ²	7 ϕ 25 = 34.36 cm ²
Steifemodulverfahren (6)	11 ϕ 25 = 54.00 cm ²	6 ϕ 25 = 29.45 cm ²

Tabelle (22) Erforderliche Bewehrung nach DIN 1045 (Schnitt y-y)

Verfahren	gewählte Bewehrung	
	unter der Stütze a_{ss}	im Feld oben a_{sf}
Spannungstrapezverfahren (1)	7 ϕ 25 = 34.36 cm ²	5 ϕ 25 = 24.54 cm ²
Bettungsmodulverfahren (3)	8 ϕ 25 = 39.27 cm ²	5 ϕ 25 = 24.54 cm ²
Steifemodulverfahren (6)	9 ϕ 25 = 44.18 cm ²	4 ϕ 25 = 19.63 cm ²

Nachweis der Tragfähigkeit für Durchstanzen:

Innenstütze (Stütze P33):

Zum Nachweis für Durchstanzen werden die Abmessungen der Stütze benötigt. Hierbei werden für die Stütze Maße von 90/90 [cm] angesetzt. Die Berechnung wurde für die Stütze als Innenstütze durchgeführt (Bild 59).

$$\begin{aligned} \text{Stützlast } N_{st} &= 10490 \text{ [kN]} \\ \text{Stützlänge } c_x &= 0.9 \text{ [m]} \\ \text{Stützbreite } c_y &= 0.9 \text{ [m]} \end{aligned}$$

$$c = 1.13 \sqrt{c_x c_y}$$

$$c = 1.13 \sqrt{0.9 * 0.9} = 1.017 \text{ [m]}$$

Durchmesser des Rundschnittes

$$d_r = c + h_m = 1.017 + 1.675 = 2.692 \text{ [m]}$$

Durchmesser des Bruchkegels

$$d_k = c + 2 h_m = 1.017 + 2 * 1.675 = 4.367 \text{ [m]}$$

kritischer Schnitt

$$A_{crit} = d_k^2 \pi/4 = (4.367)^2 \pi/4 = 14.98 \text{ [m}^2\text{]}$$

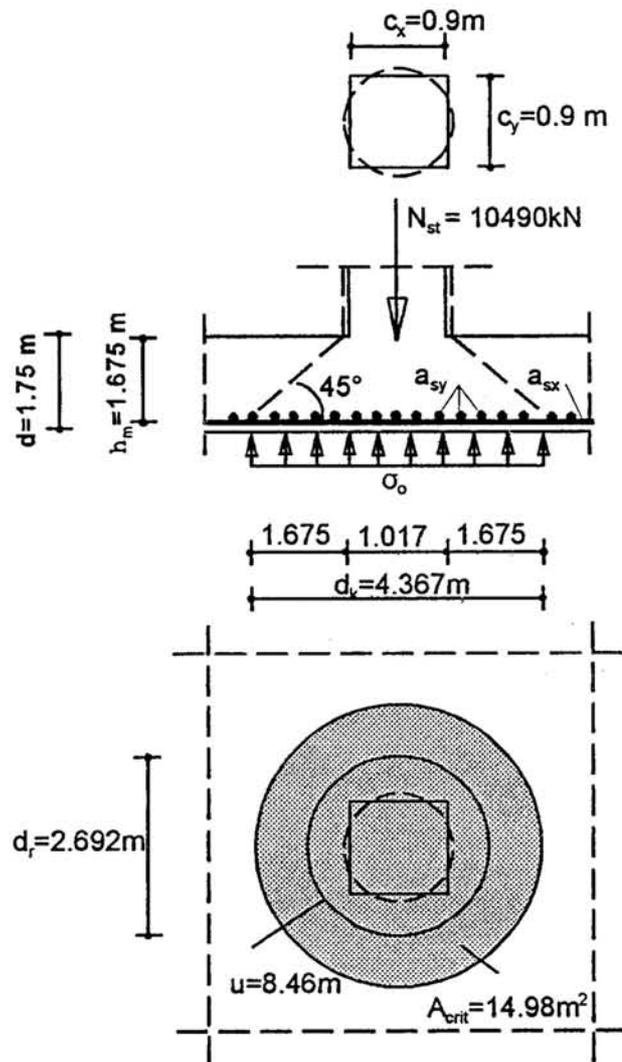


Bild (59) Belastung, Abmessung, Bewehrung; kritischer Rundschnitt u und kritische Fläche A_{crit} nach DIN 1045 (Innenstütze P33)

kritischer Rundschnitt

$$u = d_r \pi = 2.692 \pi = 8.46 \text{ [m]}$$

Querkraft im Rundschnitt

$$Q_r = N_{st} - \sigma_o A_{crit} = 10490 - 14.98 \sigma_o \text{ [kN]}$$

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

rechnerische Schubspannung

$$\tau_r = Q_r / (u \cdot h_m) = Q_r / (8.457 \cdot 1.675) = Q_r / 14.17 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Bewehrungsgrad

$$\mu_g = 0.5 (a_{sx} + a_{sy}) / h_m = 0.5 (a_{sx} + a_{sy}) / 167.5 = (a_{sx} + a_{sy}) / 335$$

$$\alpha_s = 1.4$$

$$\tau_{011} = 0.6 \text{ [MN/m}^2\text{]}$$

$$\kappa = 1.3 \alpha_s \sqrt{\mu_g}$$

$$\kappa = 1.3 \cdot 1.4 \sqrt{\mu_g}$$

$$\kappa = 1.82 \sqrt{\mu_g}$$

Der Nachweis der Tragfähigkeit für Durchstanzen (Innenstütze P33) bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle nach DIN 1045 ist in Tabelle (23) gezeigt.

Tabelle (23) Nachweis der Tragfähigkeit gegen Durchstanzen (Innenstütze P33) bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle (nach DIN 1045)

Verfahren	Q_r [kN]	τ_r [MN/m ²]	μ_g	κ	zul τ [MN/m ²]
Spannungstrapezverfahren (1)	7180.2	0.507	0.205	0.824	0.495 $\approx \tau_r$
Bettungsmodulverfahren (3)	7211.33	0.509	0.264	0.935	0.561 $> \tau_r$
Steifemodulverfahren (6)	7567.4	0.534	0.293	0.985	0.591 $> \tau_r$

Nachweis:

Beim Nachweis der Tragfähigkeit für Druckstanzen, mit allen Berechnungsverfahren ergeben sich $\tau_{vor} < \tau_{zul}$. Es ist also keine Schubbewehrung erforderlich.

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Randstütze (Stütze P19):

Die Berechnung wurde für die Stütze als Randstütze durchgeführt (Bild 60).

$$\begin{aligned} \text{Stützlast } N_{st} &= 1380 \text{ [kN]} \\ \text{Stützlänge } c_x &= 0.4 \text{ [m]} \\ \text{Stützbreite } c_y &= 0.4 \text{ [m]} \end{aligned}$$

$$c = 1.13 \sqrt{c_x c_y}$$

$$c = 1.13 \sqrt{0.4 * 0.4} = 0.452 \text{ [m]}$$

Durchmesser des Rundschnittes

$$d_r = c + h_m = 0.452 + 1.675 = 2.127 \text{ [m]}$$

Durchmesser des Bruchkegels

$$d_k = c + 2 h_m = 0.452 + 2 * 1.675 = 3.802 \text{ [m]}$$

kritischer Schnitt

$$A_{crit} = 0.5 * d_k^2 \pi / 4 + 0.3 * d_k = 0.5 * (3.802)^2 \pi / 4 + 0.3 * 3.802 = 6.82 \text{ [m}^2\text{]}$$

kritischer Rundschnitt

$$u = 0.5 d_r \pi + 2 * 0.3 = 0.5 * 2.127 \pi + 0.6 = 3.94 \text{ [m]}$$

Querkraft im Rundschnitt

$$Q_r = N_{st} - \sigma_o A_{crit} = 1380 - 6.82 \sigma_o \text{ [kN]}$$

rechnerische Schubspannung

$$\tau_r = Q_r / (u \cdot h_m) = Q_r / (3.94 * 1.675) = Q_r / 6.6 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Bewehrungsgrad

$$\mu_g = 0.5 (a_{sx} + a_{sy}) / h_m = 0.5 (2 * 24.54) / 167.5 = 0.147$$

$$\alpha_s = 1.4$$

$$\tau_{011} = 0.6 \text{ [MN/m}^2\text{]}$$

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

$$\kappa = 1.3 \alpha_s \sqrt{\mu_g}$$

$$\kappa = 1.3 * 1.4 \sqrt{0.147} = 0.697$$

$$\text{zul } \tau = \kappa \tau_{011} = 0.697 * 0.6 = 0.418$$

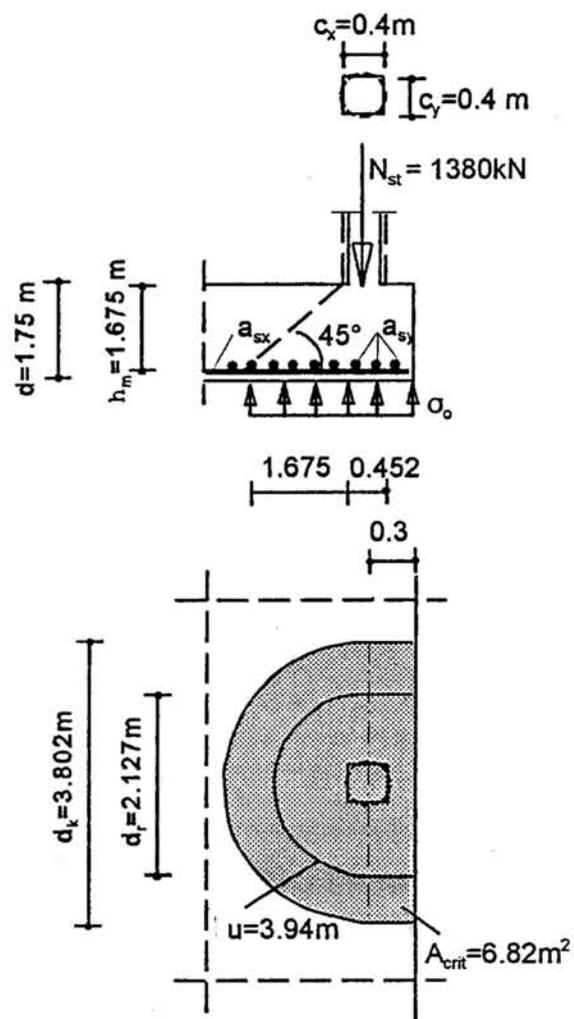


Bild (60) Belastung, Abmessung, Bewehrung; kritischer Rundschnitt u und kritische Fläche A_{crit} nach DIN 1045 (Randstütze P19)

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Der Nachweis der Tragfähigkeit für Durchstanzen bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle nach DIN 1045 ist in Tabelle (24) gezeigt.

Tabelle (24) Nachweis der Tragfähigkeit gegen Durchstanzen (Randstütze P19) bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle (nach DIN 1045)

Verfahren	σ_o [kN/m ²]	Q_r [kN]	τ_r [MN/m ²]	μ_b	κ	zul τ [MN/m ²]
Spannungstrapezverfahren (1)	150	357	0.054	0.147	0.697	0.418 > τ_r
Bettungsmodulverfahren (3)	180	152.4	0.023	0.147	0.697	0.418 > τ_r
Steifemodulverfahren (6)	155	332.9	0.050	0.147	0.697	0.418 > τ_r

Nachweis:

Beim Nachweis der Tragfähigkeit für Druckstanzen (Randstütze P19), mit allen Berechnungsverfahren ergeben sich $\tau_{vor} < \tau_{zul}$. Es ist also keine Schubbewehrung erforderlich.

6.2.6 Bemessung der Platte nach EC 2

In Tabelle (25) und den Bildern (61) bis (64) werden die Bodenpressungen σ_o unter den Stützen, die Feldmomente m_f und Stützmomente m_s an den kritischen Schnitten x-x und y-y bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle aufgelistet.

Bemessung der Platte für Biegung:

Die Biegebemessung wird mit den Bemessungstabellen mit dimensionslosen Beiwerten für den Rechteckquerschnitt ohne Druckbewehrung durchgeführt.

Gewählt $\phi_x = \phi_y = 25$ [mm]

Plattendicke $d = 175$ [cm]

Betondeckung $\text{nom } c = 5$ [cm]

Bemessungswerte der Baustoffe

Beton C 30/37

Betonstahl BSt 500 S

Nutzhöhe

Nutzhöhe in x-Richtung

$$d_x = d - \text{nom } c - \phi_x/2 = 175 - 5 - 2.5/2 = 168.75 \text{ [cm]}$$

Nutzhöhe in y-Richtung

$$d_y = d_x - (\phi_x + \phi_y)/2 = 168.75 - 2.5 = 166.25 \text{ [cm]}$$

$$b = 1.0 \text{ [m]}$$

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

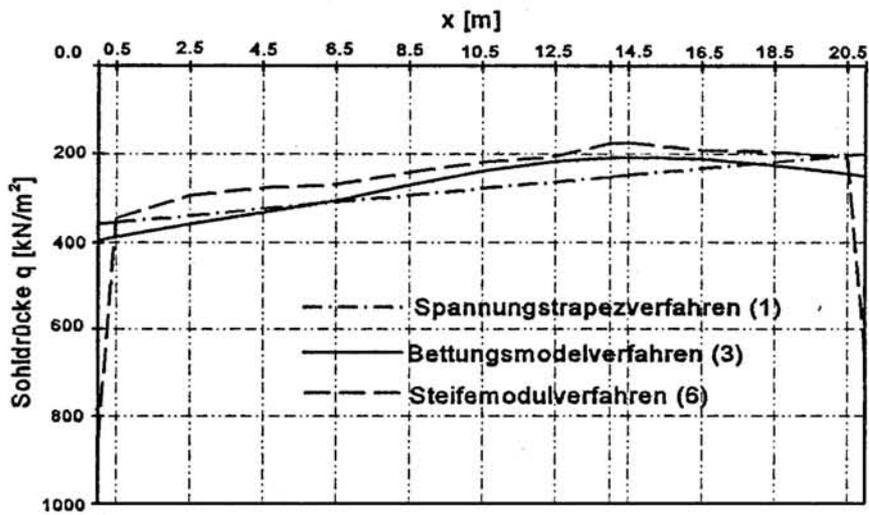
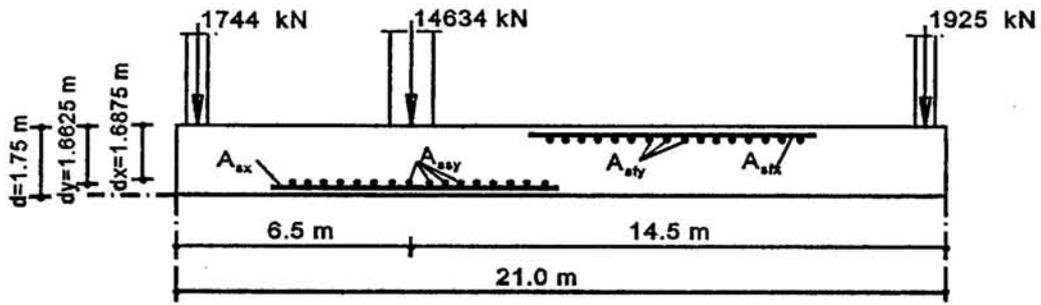


Bild (61) Sohldrücke q [kN/m²] an dem Schnitt x-x (nach EC 2)

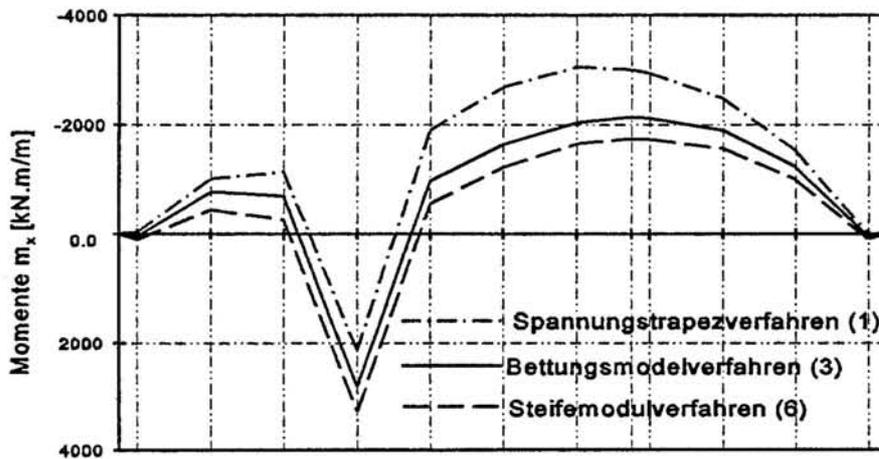


Bild (62) Momente m_x [kN.m/m] im Schnitt x-x (nach EC 2)

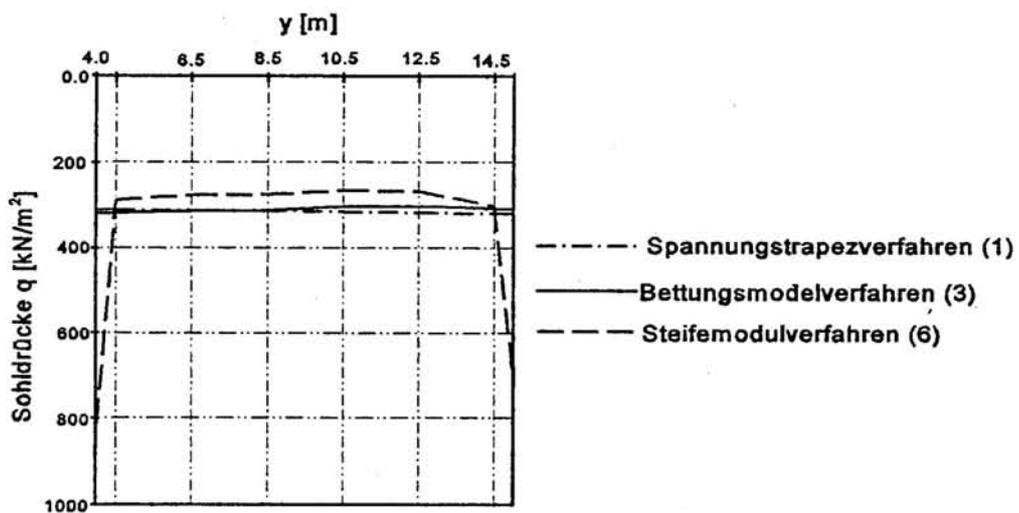
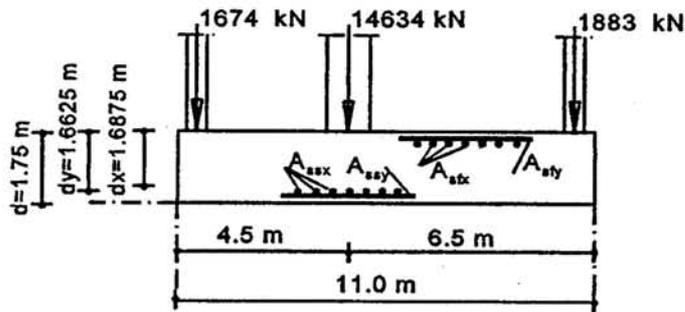


Bild (63) Sohldrücke q [kN/m^2] an dem Schnitt y-y (nach EC 2)

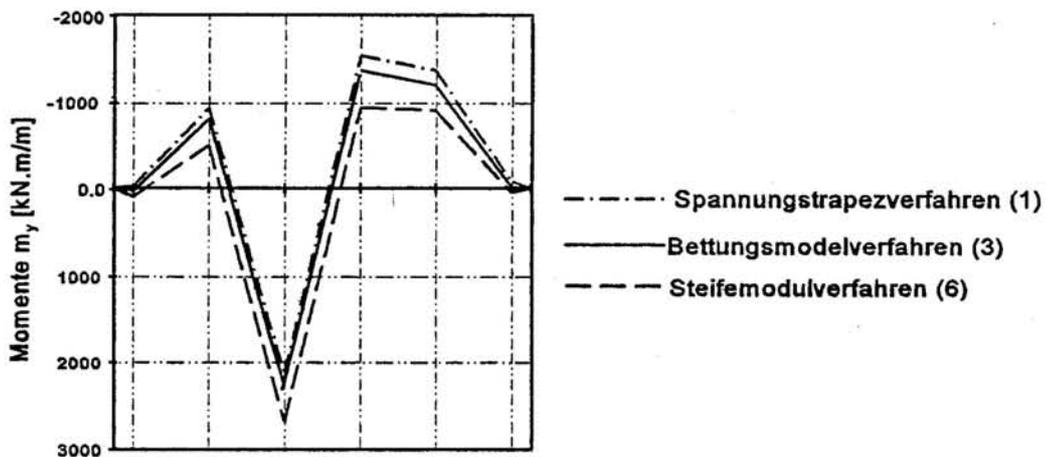


Bild (64) Momente m_y [kN.m/m] im Schnitt y-y (nach EC 2)

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Tabelle (25) Bodenpressungen σ_o unter Stützen, Feldmomente m_f Feldmoment zwischen der Stütze und Stützmomente m_s an den kritischen Schnitten x-x und y-y (nach EC 2)

Verfahren	σ_o [kN/m ²]	Schnitt x-x		Schnitt y-y	
		m_s [kN.m/m]	m_f [kN.m/m]	m_s [kN.m/m]	m_f [kN.m/m]
Spannungstrapez (1)	308.23	2130.75	-3061.67	2132.97	-1536.16
Bettungsmodul (3)	305.92	2817.56	-2136.65	2290.19	-1358.47
Steifemodul (6)	269.78	3272.80	-1741.94	2709.56	-945.85

Teilsicherheitsbeiwerte in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit

$$\begin{aligned} \text{- für Beton} & \quad \gamma_c = 1.50 \\ \text{- für Betonstahl} & \quad \gamma_s = 1.15 \end{aligned}$$

$$\text{für Beton C 30/37:} \quad f_{ck} = 30 \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 30 / 1.50 = 20 \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$\text{für Betonstahl BSt 500 S:} \quad f_{yk} = 500 \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1.15 = 435 \quad [\text{N/mm}^2]$$

Stahlquerschnitt unter der Stütze in x-Richtung

$$\mu_{Sds} = \frac{M_{Sds}}{b d_x^2 f_{cd} 1000}$$

$$\mu_{Sds} = \frac{M_{Sds}}{1.0 (1.6875)^2 (20) (1000)}$$

$$\mu_{Sds} = \frac{M_{Sds}}{56953}$$

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

interpoliert aus Tafel 6.2a in [7] $\Rightarrow \omega$

$$\text{erf } A_{sx} = \frac{\omega b d_x f_{cd}}{f_{yd}}$$

$$\text{erf } A_{sx} = \frac{\omega (100) (168.75) (20)}{435}$$

$$\text{erf } A_{sx} = 775.86 \omega \quad [cm^2]$$

Stahlquerschnitt unter der Stütze in y-Richtung

$$\mu_{Sds} = \frac{M_{Sds}}{b d_y^2 f_{cd} 1000}$$

$$\mu_{Sds} = \frac{M_{Sds}}{1.0 (1.6625)^2 (20) (1000)}$$

$$\mu_{Sds} = \frac{M_{Sds}}{55278}$$

interpoliert aus Tafel 6.2a in [7] $\Rightarrow \omega$

$$\text{erf } A_{sy} = \frac{\omega b d_y f_{cd}}{f_{yd}}$$

$$\text{erf } A_{sy} = \frac{\omega (100) (166.25) (20)}{435}$$

$$\text{erf } A_{sy} = 764.37 \omega \quad [cm^2]$$

Die Ergebnisse der Bemessung mit dimensionslosen Beiwerten wird in der Tabellen (26) und (27) gezeigt.

Tabelle (26) Biegebemessung bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle nach EC 2 (Schnitt x-x)

Verfahren	Stahlquerschnitt unter der Stütze in x-Richtung			Stahlquerschnitt im Feld oben in x-Richtung		
	μ_{Sds}	ω	A_{ss} [cm ²]	μ_{Sds}	ω	A_{sf} [cm ²]
Spannungstrapez (1)	0.037	0.039	29.90	0.054	0.056	43.45
Bettungsmodul (3)	0.049	0.051	39.57	0.038	0.039	30.26
Steifemodul (6)	0.057	0.059	45.78	0.031	0.031	23.82

Tabelle (27) Biegebemessung bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle nach EC 2 (Schnitt y-y)

Verfahren	Stahlquerschnitt unter der Stütze in x-Richtung			Stahlquerschnitt im Feld oben in x-Richtung		
	μ_{Sds}	ω	A_{ss} [cm ²]	μ_{Sds}	ω	A_{sf} [cm ²]
Spannungstrapez (1)	0.039	0.040	30.38	0.028	0.028	21.75
Bettungsmodul (3)	0.041	0.042	32.10	0.025	0.026	19.87
Steifemodul (6)	0.049	0.051	38.98	0.017	0.017	12.99

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Gewählte Bewehrung:

Die Tabellen (28) und (29) zeigen die erforderliche Anzahl der Stäbe unter der Stütze bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle im Schnitt x-x und y-y. Der gewählte Durchmesser ϕ ist 25 [mm].

Tabelle (28) Erforderliche Bewehrung (Schnitt x-x)

Verfahren	gewählte Bewehrung	
	unter den Stütze A_{ss}	im Feld oben A_{sf}
Spannungstrapezverfahren (1)	7 ϕ 25 = 34.36 cm ²	9 ϕ 25 = 44.18 cm ²
Bettungsmodulverfahren (3)	9 ϕ 25 = 44.18 cm ²	7 ϕ 25 = 34.36 cm ²
Steifemodulverfahren (6)	10 ϕ 25 = 49.09 cm ²	5 ϕ 25 = 24.54 cm ²

Tabelle (29) Erforderliche Bewehrung (Schnitt y-y)

Verfahren	gewählte Bewehrung	
	unter den Stütze A_{ss}	im Feld oben A_{sf}
Spannungstrapezverfahren (1)	7 ϕ 25 = 34.36 cm ²	5 ϕ 25 = 24.54 cm ²
Bettungsmodulverfahren (3)	6 ϕ 25 = 29.45 cm ²	5 ϕ 25 = 24.54 cm ²
Steifemodulverfahren (6)	8 ϕ 25 = 39.27 cm ²	3 ϕ 25 = 14.73 cm ²

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Nachweis der Tragfähigkeit gegen Durchstanzen:

Innenstütze (Stütze P33)

Die Bemessungsquerkraft darf um die Resultierende aus den Bodenpressungen innerhalb der kritischen Schnitts u abgemindert werden. Wegen unterschiedlicher Festlegungen bezüglich des Neigungswinkels des Durchstanzkegels und des kritischen Rundschnitts u nach EC 2 und DIN 1045 erhält man verschiedene Flächen A_{crit} und damit auch abweichende Abzugswerte (Bild 65). Die Berechnung wurde für die Stütze als Innenstütze durchgeführt.

Stützlast	N_{sd}	=	14634	[kN]
Stützlänge	c_x	=	0.9	[m]
Stützbreite	c_y	=	0.9	[m]
Nutzhöhe in x-Richtung	d_x	=	1.6875	[m]
Nutzhöhe in y-Richtung	d_y	=	1.6625	[m]

statische Höhe der Fundamentplatte in betrachteten Rundschnitt als Mittelwert aus beiden Richtung

$$d_m = \frac{d_x + d_y}{2}$$

$$d_m = \frac{1.6875 + 1.6625}{2} = 1.675 \quad [m]$$

Abstand des kritischen Rundschnitts von der Stützenkante

$$r = 1.5 d_m = 1.5 * 1.675 = 2.5125 \quad [m]$$

Länge des kritischen Rundschnitts

$$u = 2 (c_x + c_y) + 2 \pi r$$

$$u = 2 (0.9 + 0.9) + 2 \pi 2.5125 = 19.39 \quad [m]$$

einbeschrieben Fläche

$$A_{crit} = c_x \cdot c_y + 2 r (c_x + c_y) + \pi r^2$$

$$A_{crit} = 0.9 * 0.9 + 2 * 2.5125 (0.9 + 0.9) + \pi (2.5125)^2$$

$$A_{crit} = 29.69 \quad [m^2]$$

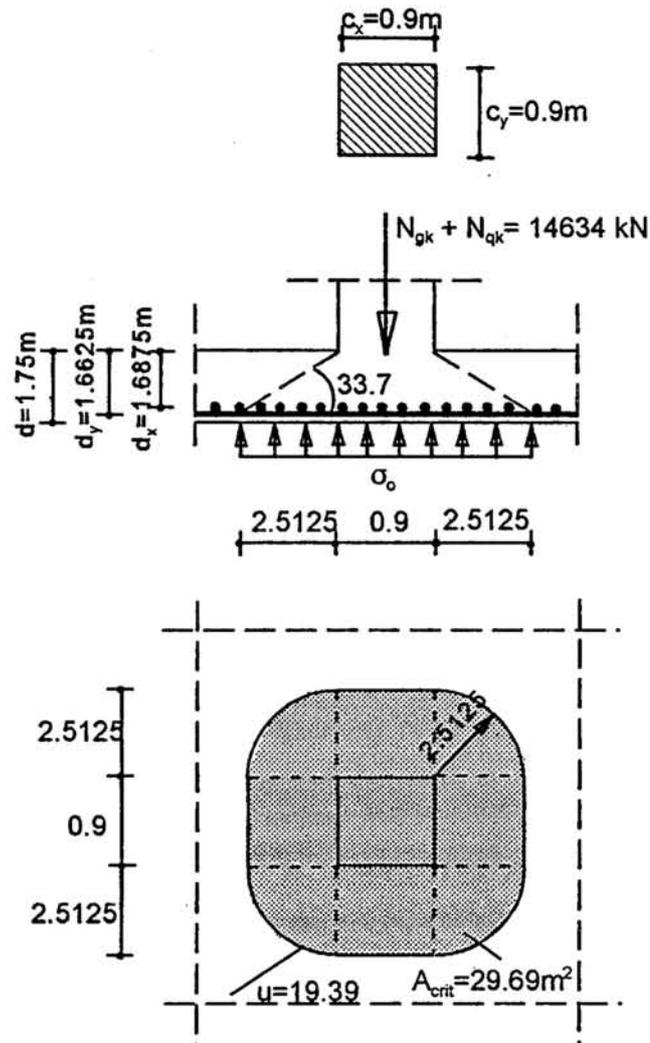


Bild (65) Belastung, Abmessung, Bewehrung; kritischer Rundschnitt u und kritische Fläche A_{crit} nach EC 2 (Innenstütze P33)

Resultierende Bemessungsquerkraft

$$V_{sd} = N_{sd} - \sigma_o A_{crit}$$

$$V_{sd} = 14634 - 29.69 \sigma_o \quad [\text{kN}]$$

Die bezogene aufzunehmende Querkraft v_{sd}

$$v_{sd} = (V_{sd} \beta) / u$$

β = Korrekturfaktor zur Berücksichtigung einer nicht rotationssymmetrischen Belastung

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

$\beta = 1.15$ bei Innenstützen

$$v_{Sd} = (V_{Sd} \cdot 1.15) / 19.39 = 0.059 V_{Sd} \quad [\text{kN/m}]$$

Bemessungswiderstand

$$v_{Rd1} = \tau_{Rd} k (1.2 + 40 \rho_1) d_m$$

τ_{Rd} = Schubfestigkeit

$$\tau_{Rd} = 0.28 \quad [\text{MN/m}^2] \quad \text{für C 30/37} \quad (\text{nach KÖNIG [21]})$$

Die Werte dürfen mit 1.2 multipliziert werden

$$\tau_{Rd} = (0.28) (1.2) = 0.336 \quad [\text{MN/m}^2]$$

k = Beiwert zu Berücksichtigung der Plattendicke

$$k = 1.6 - d_m \geq 1.0$$

$$k = 1.6 - 1.6625 = -0.0625 < 1 \quad [\text{m}]$$

d.h. für k wird 1 eingesetzt

ρ_1 = Langsbewehrungsgrad in den Grenzen $0.5 \leq \rho_1 \leq 1.5 \%$.

Bei Fundamentplatten mit einer Dicke von mehr als 50 cm braucht der Mindestbewehrungsgrad von 0.5 % nicht eingehalten zu werden.

Er wird bei nicht vorgespannten Platten bestimmt aus

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{1x} \cdot \rho_{1y}}$$

$$\rho_{1x} = \frac{A_s}{A_{con}} = \frac{A_{sx} \quad [\text{cm}^2/\text{m}]}{b_w \quad [\text{cm}] \cdot d_x \quad [\text{cm}]}$$

$$\rho_{1x} = \frac{A_{sx}}{(100) (168.75)} = \frac{A_{sx}}{16875}$$

$$\rho_{1y} = \frac{A_s}{A_{con}} = \frac{A_{sy} \quad [\text{cm}^2/\text{m}]}{b_w \quad [\text{cm}] \cdot d_y \quad [\text{cm}]}$$

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

$$\rho_{1y} = \frac{A_{sy}}{(100) (166.25)} = \frac{A_{sy}}{16625}$$

$$V_{Rd1} = (0.336) (1.0) (1.2 + 40 \rho_1) (1.675)$$

$$V_{Rd1} = 0.675 + 22.51 \rho_1 \quad [\text{MN/m}]$$

Der Nachweis der Tragfähigkeit für Durchstanzen (Innenstütze P33) bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle nach EC 2 wird in Tabelle (30) durchgeführt.

Tabelle (30) Nachweis der Tragfähigkeit gegen Durchstanzen (Innenstütze P33) bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle (nach EC 2)

Verfahren	V_{Sd} [kN]	v_{Sd} [MN/m]	ρ_1	V_{Rd1} [MN/m]
Spannungstrapezverfahren (1)	8074	0.479	0.00205	0.721 > v_{Sd}
Bettungsmodulverfahren (3)	8136	0.483	0.00215	0.723 > v_{Sd}
Steifemodulverfahren (6)	8842	0.524	0.00262	0.734 > v_{Sd}

Nachweis:

Beim Nachweis der Tragfähigkeit gegen Druckstanzen (Innenstütze P33), mit allen Berechnungsverfahren ergeben sich $v_{Sd} < V_{Rd1}$. Es ist also keine Schubbewehrung erforderlich.

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Randstütze (Stütze P19)

Stützlast	N_{Sd}	=	1925	[kN]
Stützlänge	c_x	=	0.4	[m]
Stützbreite	c_y	=	0.4	[m]
Nutzhöhe in x-Richtung	d_x	=	1.6875	[m]
Nutzhöhe in y-Richtung	d_y	=	1.6625	[m]

statische Höhe der Fundamentplatte in betrachteten Rundschnitt als Mittelwert aus beiden Richtung

$$d_m = \frac{d_x + d_y}{2}$$

$$d_m = \frac{1.6875 + 1.6625}{2} = 1.675 \quad [m]$$

Abstand des kritischen Rundschnitts von der Stützenkante

$$r = 1.5 d_m = 1.5 * 1.675 = 2.5125 \quad [m]$$

Länge des kritischen Rundschnitts

$$u = 2 c_x + c_y + 2 * 0.3 + \pi r$$

$$u = 2 * 0.4 + 0.4 + 2 * 0.3 + \pi 2.5125 = 9.69 \quad [m]$$

einbeschriebene Fläche

$$A_{crit} = c_x \cdot c_y + r (2 c_x + c_y) + 0.3 (2 r + c_x) + 0.5 \pi r^2$$

$$A_{crit} = 0.4 * 0.4 + 2.5125 * 3 * 0.4 + 0.3 (2 * 2.5125 + 0.4) + 0.5 \pi (2.5125)^2$$

$$A_{crit} = 14.72 \quad [m^2]$$

Resultierende Bemessungsquerkraft

$$V_{sd} = N_{Sd} - \sigma_o A_{crit}$$

$$V_{sd} = 1925 - 14.72 \sigma_o \quad [kN]$$

Die bezogene aufzunehmende Querkraft v_{sd}

$$v_{sd} = (V_{sd} \beta) / u$$

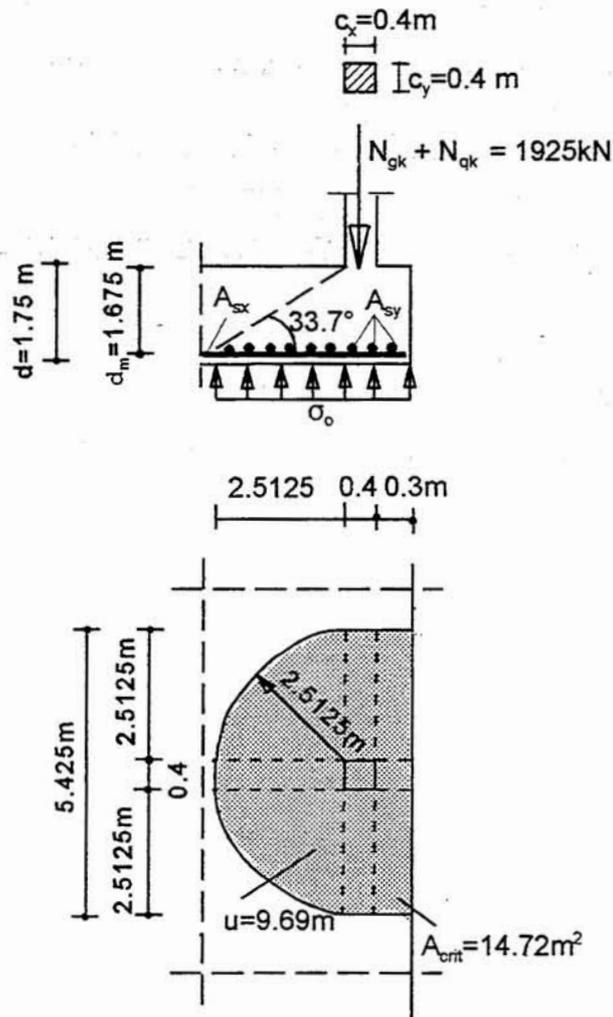


Bild (66) Belastung, Abmessung, Bewehrung; kritischer Rundschnitt u und kritische Fläche A_{crit} nach EC 2 (Randstütze P19)

β = Korrekturfaktor zur Berücksichtigung einer nicht rotationssymmetrischen Belastung

β = 1.40 bei Randstützen

$$v_{Sd} = (V_{Sd} \cdot 1.40) / 9.69 = 0.144 V_{Sd} \text{ [kN/m]}$$

Bemessungswiderstand

$$v_{Rd1} = \tau_{Rd} k (1.2 + 40 \rho_1) d_m$$

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

τ_{Rd} = Schubfestigkeit

$$\tau_{Rd} = 0.28 \text{ [MN/m}^2\text{]} \quad \text{für C 30/37} \quad (\text{nach KÖNIG [21]})$$

Die Werte dürfen mit 1.2 multipliziert werden

$$\tau_{Rd} = (0.28) (1.2) = 0.336 \text{ [MN/m}^2\text{]}$$

k = Beiwert zu Berücksichtigung der Plattendicke

$$k = 1.6 - d_m \geq 1.0$$

$$k = 1.6 - 1.6625 = -0.0625 < 1 \quad [\text{m}]$$

d.h. für k wird 1 eingesetzt

ρ_1 = Langsbewehrungsgrad in den Grenzen $0.5 \leq \rho_1 \leq 1.5 \%$.

Bei Fundamentplatten mit einer Dicke von mehr als 50 cm braucht der Mindestbewehrungsgrad von 0.5 % nicht eingehalten zu werden.

Er wird bei nicht vorgespannten Platten bestimmt aus

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{1x} \cdot \rho_{1y}}$$

$$\rho_{1x} = \frac{A_s}{A_{\text{con}}} = \frac{A_{sx} \text{ [cm}^2\text{/m]}}{b_w \text{ [cm]} \cdot d_x \text{ [cm]}}$$

$$\rho_{1x} = \frac{24.54}{(100) (168.75)} = 0.00145$$

$$\rho_{1y} = \frac{A_s}{A_{\text{con}}} = \frac{A_{sy} \text{ [cm}^2\text{/m]}}{b_w \text{ [cm]} \cdot d_y \text{ [cm]}}$$

$$\rho_{1y} = \frac{24.54}{(100) (166.25)} = 0.00147$$

$$\rho_1 = \sqrt{0.00147 \cdot 0.00145} = 0.00146$$

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

$$v_{Rd1} = 0.336 * 1.0 * 1.675 (1.2 + 40 * 0.00146) = 0.708 \text{ [MN/m]}$$

Der Nachweis der Tragfähigkeit für Durchstanzen (Randstütze P19) bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle nach EC 2 wird in Tabelle (31) durchgeführt.

Tabelle (31) Nachweis der Tragfähigkeit gegen Durchstanzen (Randstütze P19) bei Anwendung der verschiedenen Baugrundmodelle (nach EC 2)

Verfahren	V_{Sd} [kN]	v_{Sd} [MN/m]	ρ_1	v_{Rd1} [MN/m]
Spannungstrapezverfahren (1)	1827	0.263	0.00146	$0.708 > v_{Sd}$
Bettungsmodulverfahren (3)	1770	0.255	0.00146	$0.708 > v_{Sd}$
Steifemodulverfahren (6)	1755	0.253	0.00146	$0.708 > v_{Sd}$

Nachweis:

Beim Nachweis der Tragfähigkeit gegen Druckstanzen (Randstütze P19), mit allen Berechnungsverfahren ergeben sich $v_{Sd} < v_{Rd1}$. Es ist also keine Schubbewehrung erforderlich.

6.2.7 Vergleich der Bemessung nach DIN 1045 und EC 2

In den Tabellen (32) und (33) werden die Bemessungsunterschiede zwischen der DIN 1045 und dem EC 2 gezeigt, die sich bei den durchgeführten Vergleichsberechnungen ergeben haben.

Für eine Bemessung mit einer konstanten Plattendicke ergibt die Bemessung nach EC 2 durch geringeren Stahlquerschnittsanteil eine kostengünstigere Lösung als nach DIN 1045.

Tabelle (32) Vergleich der Bemessung nach DIN 1045 und EC 2 (Schnitt x-x)

Verfahren	Bemessung nach DIN 1045		Bemessung nach EC 2		Unterschied zwischen der DIN 1045 und dem EC 2	
	a_{ss} [cm ²] unter der Stütze	a_{sf} [cm ²] im Feld oben	A_{ss} [cm ²] unter der Stütze	A_{sf} [cm ²] im Feld oben	ΔA_{ss} [%] unter der Stütze	ΔA_{sf} [%] im Feld oben
Spannungstrapez (1)	32.83	48.48	29.90	43.45	8.92	10.38
Bettungsmodul (3)	45.16	33.00	39.57	30.26	12.53	8.30
Steifemodul (6)	51.39	28.26	45.78	23.82	10.92	15.71

Tabelle (33) Vergleich der Bemessung nach DIN 1045 und EC 2 (Schnitt y-y)

Verfahren	Bemessung nach DIN 1045		Bemessung nach EC 2		Unterschied zwischen der DIN 1045 und dem EC 2	
	a_{ss} [cm ²] unter der Stütze	a_{sf} [cm ²] im Feld oben	A_{ss} [cm ²] unter der Stütze	A_{sf} [cm ²] im Feld oben	ΔA_{ss} [%] unter der Stütze	ΔA_{sf} [%] im Feld oben
Spannungstrapez (1)	33.77	23.67	30.38	21.75	10.04	8.11
Bettungsmodul (3)	36.40	20.78	32.10	19.87	11.81	4.38
Steifemodul (6)	42.37	15.08	38.98	12.99	8.00	13.86

6.2.8 Nachweis die Grundbruchsicherheit nach EC 2-6

Berechnung der rechnerische Breite b_r :

Bei Gründungskörper mit durchbrochener Sohlfläche dürfen gemäß DIN 1054, die äußeren Abmessungen angesetzt werden, solange die Summe der Aussparungen nicht größer ist als 20% der gesamten umrissenen Sohlfläche (Bild 67).

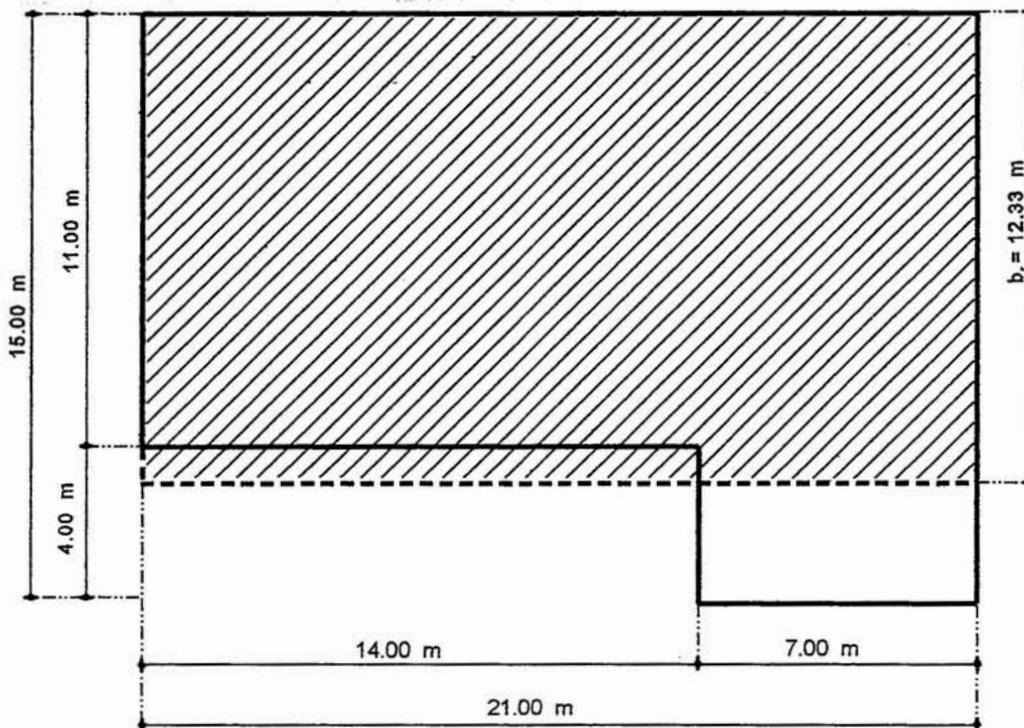


Bild (67) Rechnerische Breite b_r

$$\text{Gründrißfläche } A_r = 11 \cdot 21 + 7 \cdot 4 = 259 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\text{Rechnerische Breite } b_r = A / B$$

$$b_r = 259 / 21 = 12.33 \text{ [m]}$$

Charakteristische Bodenkennwerte:

$$\text{Winkel der inneren Reibung } \varphi_k = 32.5 \text{ [}^\circ\text{]}$$

$$\text{Kohäsion } c_k = 0 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Bemessungswerte des Widerstandes:

$$\varphi_d = \varphi_k = 32.5 \text{ [}^\circ\text{]}$$

$$c_d = c_k = 0 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Einfluß des Grundwassers:

Um festzustellen, ob und inwieweit das Grundwasser innerhalb des Einflußbereiches des Grundbruchvorgangs liegt, ist zunächst die Tiefe der Grundbruchfläche zu bestimmen

$$\text{Mit } \alpha = 45^\circ + \varphi/2 = 45 + 32.5/2 = 61.25 \text{ [}^\circ\text{]}$$

berechnet sich die Einflußtiefe zu

$$t_s = b \cdot \sin \alpha \cdot e^{\alpha} \cdot \tan \varphi$$

$$t_s = 12.33 \cdot \sin 62.12 \cdot e^{1.0685} \cdot \tan 32.5 = 20.05 \text{ [m]}$$

Damit liegt das Grundwasser innerhalb des Einflußbereichs und muß berücksichtigt bleiben.

Gegenüber der Berechnung zu Grundwassereinfluß wird nun (Bild 68)

Wichte des Bodens

$$\gamma_2 = \frac{\sum \gamma_n \cdot t_n}{t_s} = \frac{18 \cdot 0.65 + 11 \cdot 4.5 + 13 \cdot 14.9}{20.05}$$

$$\gamma_2 = 12.71 \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

Erddruck oberhalb der Gründungssohle:

$$\text{Gründungstiefe } t_f = 4.35 \text{ [m]}$$

$$q' = \sum \gamma_i \cdot t_i \text{ [m]}$$

$$q' = 19 \cdot 4.2 + 18 \cdot 0.15 = 82.5 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

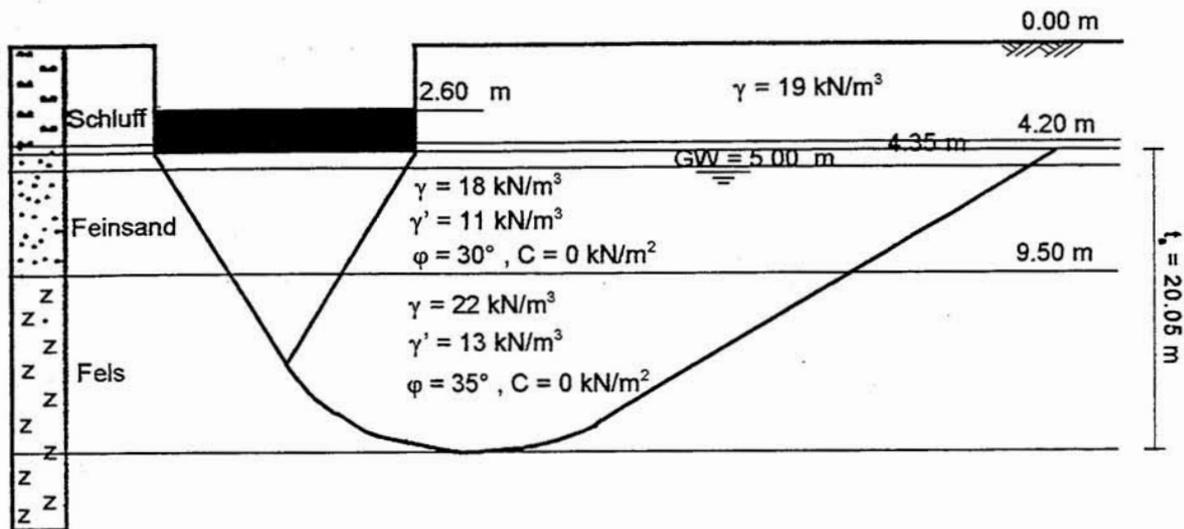


Bild (68) Einflußtiefe des Grundwassers

Lasten:

vorgegebene Stützlast	$\sum P =$	50620	[kN]
ständige Last	$\sum N_{gk} =$	$0.7 \sum P =$	35434 [kN]
Verkehreslast	$\sum N_{qk} =$	$0.3 \sum P =$	15186 [kN]
Fundamentgewicht	$=$	$A_f \cdot d \cdot \gamma_{bet}$	
	$=$	$259 \cdot 1.75 \cdot 25 =$	11331 [kN]

Bemessungswerte der Einwirkungen:

ständige Einwirkung	$=$	$\gamma_g (\sum N_{gk} + \text{Fundamentgewicht})$	
	$=$	$1.35 (35434 + 11331) =$	63133 [kN]
veränderliche Einwirkung	$=$	$\gamma_q \sum N_{qk}$	
	$=$	$1.5 \cdot 15186 =$	22779 [kN]
Zulässige Last V_d	$=$	$63133 + 22779 =$	85912 [kN]

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Tragfähigkeitsbeiwerte:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 (45 + \varphi / 2)$$

$$N_q = e^{\pi \tan 32.5} \tan^2 (45 + 32.5/2)$$

$$N_q = 24.59$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan \varphi$$

$$N_\gamma = (24.59 - 1) \tan 32.5$$

$$N_\gamma = 15.03$$

$$N_c = (N_q - 1) / \tan \varphi$$

$$N_c = (24.59 - 1) / \tan 32.5$$

$$N_c = 37.03$$

Formbeiwerte:

$$s_q = 1 + (B/A) \sin \varphi$$

$$s_q = 1 + (12.33/21) \sin 32.5$$

$$s_q = 1.32$$

$$s_\gamma = 1 - 0.3 (B/A)$$

$$s_\gamma = 1 - 0.3(12.33/21)$$

$$s_\gamma = 0.82$$

$$s_c = (s_q N_q - 1) / (N_q - 1)$$

$$s_c = (1.32 * 24.59 - 1) / (24.59 - 1)$$

$$s_c = 1.33$$

Neigungsbeiwerte:

Die Lastneigungsbeiwerte i_q , i_γ und i_c werden 1 gesetzt, weil keine Horizontallasten

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

auf das System wirken.

Bruchlast:

$$Q_d = A_f (c N_c s_c i_c + q' N_q s_q i_q + \gamma B' N_\gamma s_\gamma i_\gamma)$$

$$Q_d = 259 (0 + 82.5 * 24.59 * 1.32 * 1 + 12.71 * 12.33 * 15.03 * 0.82 * 1)$$

$$Q_d = 1193640 \quad [\text{kN}] \quad > \quad (V_d = 85912 \quad [\text{kN}])$$

6.2.9 Nachweis die Grundbruchsicherheit nach EC 7

Lasten:

$$\text{vorgegebene Stützlast} \quad \sum P = 50620 \quad [\text{kN}]$$

$$\text{ständige Last} \quad \sum N_{gk} = 0.7 \sum P = 35434 \quad [\text{kN}]$$

$$\text{Verkehrslast} \quad \sum N_{qk} = 0.3 P = 15186 \quad [\text{kN}]$$

$$\begin{aligned} \text{Fundamentgewicht} &= A_f \cdot d \cdot \gamma_{\text{bet}} \\ &= 259 * 1.75 * 25 = 11331 \quad [\text{kN}] \end{aligned}$$

Bemessungswerte der Einwirkungen:

Die Bemessungswert für Einwirkung wird nach EC 7 für ständige Lasten ohne Berücksichtigung eines Teilsicherheitsbeiwertes ermittelt. Für veränderliche Lasten wird ein Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_q = 1.3$ berücksichtigt.

$$\begin{aligned} \text{ständige Einwirkung} &= \gamma_g (\sum N_{gk} + \text{Fundamentgewicht}) \\ &= 1.0 (35434 + 11331.25) = 46765 \quad [\text{kN}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{veränderliche Einwirkung} &= \gamma_q \sum N_{qk} \\ &= 1.3 * 15186 = 19742 \quad [\text{kN}] \end{aligned}$$

$$\text{Zulässige Last} \quad V_d = 46765 + 19742 = 66507 \quad [\text{kN}]$$

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Charakteristische Bodenkennwerte:

Winkel der inneren Reibung	φ_k	=	32.5	[°]
Kohäsion	c_k	=	0	[kN/m ²]
Wichte des Bodens	γ_2	=	12.72	[kN/m ³]

Bemessungswerte des Widerstandes:

$$\begin{aligned}\varphi_d &= \arctan(\tan \varphi_k / 1.25) \\ \varphi_d &= \arctan(\tan 32.5 / 1.25) = 27 \quad [^\circ] \\ c_d &= c_k / 1.6 \\ c_d &= 0 / 1.6 = 0 \quad [\text{kN/m}^2]\end{aligned}$$

Tragfähigkeitsbeiwerte:

$$\begin{aligned}N_q &= e^{\pi \tan \varphi} \tan^2(45 + \varphi / 2) \\ N_q &= e^{\pi \tan 27} \tan^2(45 + 27 / 2) \\ N_q &= 13.2 \\ N_\gamma &= (N_q - 1) \tan \varphi \\ N_\gamma &= (13.20 - 1) \tan 27 \\ N_\gamma &= 6.22 \\ N_c &= (N_q - 1) / \tan \varphi \\ N_c &= (13.2 - 1) / \tan 27 \\ N_c &= 23.94\end{aligned}$$

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Formbeiwerte:

$$\begin{aligned} s_q &= 1 + (B/A) \sin \varphi \\ s_q &= 1 + (12.33/21) \sin 27 \\ s_q &= 1.27 \\ s_\gamma &= 1 - 0.3 (B/A) \\ s_\gamma &= 1 - 0.3 (12.33/21) \\ s_\gamma &= 0.82 \\ s_c &= (s_q N_q - 1) / (N_q - 1) \\ s_c &= (1.27 * 13.2 - 1) / (13.2 - 1) \\ s_c &= 1.29 \end{aligned}$$

Neigungsbeiwerte:

Die Lastneigungsbeiwerte i_q , i_γ und i_c werden 1 gesetzt, weil keine Horizontallasten auf das System wirken.

Erddruck oberhalb der Gründungssohle:

$$\begin{aligned} \text{Gründungstiefe } t_f &= 4.35 \text{ [m]} \\ q' &= \sum \gamma_i \cdot t_i \quad \text{[m]} \\ q' &= 19 * 4.2 + 18 * 0.15 = 82.5 \text{ [kN/m}^2\text{]} \end{aligned}$$

Bruchlast:

$$\begin{aligned} Q_d &= A_f (c N_c s_c i_c + q' N_q s_q i_q + \gamma B' N_\gamma s_\gamma i_\gamma) \\ Q_d &= 259 (0 + 82.5 * 13.2 * 1.27 * 1 + 12.71 * 12.33 * 6.22 * 0.82 * 1) \\ Q_d &= 565058 \text{ [kN]} > (V_d = 66507 \text{ [kN]}) \end{aligned}$$

6.2.10 Nachweis die Grundbruchsicherheit nach DIN 1054 (1976)

Lasten:

$$\begin{aligned} \text{vorgegebene Stützlast} \quad \sum P &= 50620 \quad [\text{kN}] \\ \text{ständige Last} \quad \sum N_{gk} &= 0.7 \sum P = 35434 \quad [\text{kN}] \\ \text{Verkehrslast} \quad \sum N_{qk} &= 0.3 \sum P = 15186 \quad [\text{kN}] \\ \text{Fundamentgewicht} &= A_f \cdot d \cdot \gamma_{bet} \\ &= 259 \cdot 1.75 \cdot 25 = 11331.25 \quad [\text{kN}] \end{aligned}$$

Bemessungswerte der Einwirkungen:

Die Bemessungswerte für Einwirkungen werden für ständige und veränderliche Lasten ohne Berücksichtigung eines Teilsicherheitsbeiwertes ermittelt.

$$\begin{aligned} \text{ständige Einwirkung} &= \gamma_g (\sum N_{gk} + \text{Fundamentgewicht}) \\ &= 1.0 (35434 + 11331.25) = 46765.25 \quad [\text{kN}] \\ \text{veränderliche Einwirkung} &= \gamma_q \sum N_{qk} \\ &= 1.0 \cdot 15186 = 15186 \quad [\text{kN}] \\ \text{Zulässige Last} \quad V_d &= 46765.25 + 15186 = 61951 \quad [\text{kN}] \end{aligned}$$

Charakteristische Bodenkennwerte:

$$\begin{aligned} \text{Winkel der inneren Reibung} \quad \varphi_k &= 32.5 \quad [^\circ] \\ \text{Kohäsion} \quad c_k &= 0 \quad [\text{kN/m}^2] \\ \text{Wichte des Bodens} \quad \gamma &= 12.71 \quad [\text{kN/m}^3] \end{aligned}$$

Bemessungswerte des Widerstandes:

$$\begin{aligned} \varphi_d &= \varphi_k = 32.5 \quad [^\circ] \\ c_d &= c_k = 0 \quad [\text{kN/m}^2] \end{aligned}$$

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Tragfähigkeitsbeiwerte:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 (45 + \varphi / 2)$$

$$N_q = e^{\pi \tan 32.5} \tan^2 (45 + 32.5/2)$$

$$N_q = 24.59$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan \varphi$$

$$N_\gamma = (24.59 - 1) \tan 32.5$$

$$N_\gamma = 15$$

$$N_c = (N_q - 1) / \tan \varphi$$

$$N_c = (24.59 - 1) / \tan 32.5$$

$$N_c = 37.03$$

Formbeiwerte:

$$s_q = 1 + (B/A) \sin \varphi$$

$$s_q = 1 + (12.33/21) \sin 32.5$$

$$s_q = 1.32$$

$$s_\gamma = 1 - 0.3 (B/A)$$

$$s_\gamma = 1 - 0.3(12.33/21)$$

$$s_\gamma = 0.82$$

$$s_c = (s_q N_q - 1) / (N_q - 1)$$

$$s_c = (1.32 * 24.59 - 1) / (24.59 - 1)$$

$$s_c = 1.33$$

Neigungsbeiwerte:

Die Lastneigungsbeiwerte i_q , i_γ und i_c werden 1 gesetzt, weil keine Horizontallasten auf das System wirken.

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Bruchlast:

$$Q_d = A_r (c N_c s_c i_c + q' N_q s_q i_q + \gamma B' N_\gamma s_\gamma i_\gamma)$$

$$Q_d = 259 (0 + 82.5 * 24.59 * 1.32 * 1 + 12.71 * 12.33 * 15 * 0.82 * 1)$$

$$Q_d = 1193640 \quad [\text{kN}]$$

$$Q_d / FS = 1193640 / 2 = 596820 \quad [\text{kN}] > (V_d = 61951 \quad [\text{kN}])$$

wobei

$$FS = \text{globaler Sicherheitsfaktor} = 2$$

6.2.11 Vergleich der Ergebnisse zur Grundbruchsicherheit

Generell ist für Plattengründungen der Nachweis der Grundbruchsicherheit nicht maßgebend.

Es ist aus Tabelle (34) zu erkennen, daß sich mit EC 2-6 die größten Bruchlasten ergeben. Am kleinsten sind sie nach EC 7. Ähnlich verhält es sich bei dem Verhältnis Bruchlast Q_d zu zulässige Last V_d .

Tabelle (34) Vergleich der Ergebnisse zur Grundbruchsicherheit

Berechnung nach:	EC 2-6	EC 7	DIN 1054 (1976)
Q_d [kN]	1193640	565058	596820
V_d [kN]	85912	66507	61951
Q_d / V_d [%]	13.89	8.50	9.60

7 Zusammenfassung der Ergebnisse

7.1 Allgemeines

Anhand von zwei Beispielen wurde erläutert, wie die Wechselwirkung zwischen Baugrund/Bauwerk nach den Eurocodes berücksichtigt werden kann.

Die Fragestellung dieser Arbeit sollte vor allem einen Vergleich der bestehenden mit den neuen Normensätzen, DIN 1045, EC 2, EC 7 und DIN 1054 erbringen. Insbesondere war zu klären, welche Veränderung durch die γ_g - und γ_q -fach erhöhten Lasten bei der Bemessung der mit dem Boden in Wechselwirkung stehenden Platte auftreten.

Für die zwei Beispiele wurden zuerst die statische Berechnung und die Bemessung der Sohlplatte nach DIN 1045 und EC 2 durchgeführt. Die Bemessung wird mit dem "Nachweis der Tragfähigkeit" errechnet. Sie beinhaltet bei beiden Normen die "Bemessung auf Biegung" und den "Nachweis gegen Durchstanzen". Zudem werden nach beiden Berechnungsgrundlagen (DIN 1045 sowie EC 2) Bewehrungspläne zum Vergleich erstellt.

Die Gründungsplatte wurde mit 8 verschiedenen numerischen Verfahren mit dem von KANY/EL GENDY entwickelten Programm ELPLA untersucht.

Danach wird die Standsicherheit mit den derzeit noch gültigen Sicherheitskonzepten des Grundbruchs, nach DIN 1054, EC 2-6 und EC 7 untersucht.

7.2 Unterschiede der Bemessung nach DIN 1045 und EC 2

Bei der Bemessung der Gründungsplatte mit einer konstanten Plattendicke nach den Berechnungsgrundlagen DIN 1045 und EC 2 ist bei allen Baugrundmodellen festgestellt worden, daß sich nur prozentuale Unterschiede im Bewehrungsgrad ergeben. Die Bemessung nach EC 2 ergibt gegenüber der Bemessung nach DIN 1045 einen 4 - 16% niedrigen Bewehrungsanteil. Die Regelung nach dem EC 2 ergibt aus wirtschaftlicher Sicht eine kostengünstigere Lösung.

7.3 Unterschiede bei der Grundbruchsicherheit

Generell ist für Plattengründungen der Nachweis der Grundbruchsicherheit nicht maßgebend.

Bei den Nachweisen der Grundbruchsicherheiten nach DIN 1054 (alt), EC 2-6 und EC 7 wurden an den Ecken und Rändern die erforderlichen Sicherheiten sicher eingehalten, bzw. überschritten.

Es ist zu erkennen, daß sich mit EC 2-6 die größten Bruchlasten ergeben. Am kleinsten sind sie nach EC 7. Ähnlich verhält es sich bei dem Verhältnis Bruchlast Q_d zu zulässiger Last V_d .

7.4 Unterschiede der verschiedenen Baugrundmodelle

Die Berechnungen mit den Kontinuumsmodellen (5, 7 und 8) der Lastgeometrie a (gleichförmige Flächenlast, Beispiel 1) lassen erkennen, daß die Verteilung des Sohldruckes sehr verschieden ist gegenüber den Ergebnissen mit der einfachen Annahme (1) und beim Winkler-Modell (2). Es zeigen sich, wie zu erwarten, Minimumswerte an der Plattenachse und Maxima an den Ecken oder Rändern der 3 ausgesuchten Plattenabschnitte. Die Ergebnisse differieren auch von einem Abschnitt zum anderen, während die Verteilung des Kontaktdruckes bei den Modellen (1) und (2) nahezu übereinstimmt mit der Lastintensität von 20 [kN/m²] im gesamten Gründungsbereich.

Als weiteres Ergebnis zeigt sich, daß bei den Modellen (1) und (2) nur geringe Biegemomente (Bild 18) oder Querkräfte auftreten. Bei dieser Art der Belastung gleicht der Verlauf des Kontaktdruckes im Modell (1) dem in Modell (2).

Bei Anwendung des Kontinuumsmodelles treten erhebliche Berührungsdrücke unter den Ecken der Gründung auf, falls die Platte klein oder in der Mitte stark belastet ist. In diesem Fall genügt als Berechnungsmodell die Einfache Annahme (1) oder das Winkler-Modell (2). Das Winkler-Modell reicht auch aus, wenn der Untergrund aus einer dünnen, nachgiebigen Schicht über einer starren Basis besteht.

Die starre Platte (8) zeigt bei allen 4 Typen von Belastungen im Beispiel 1, daß die Setzungswerte gleich und konstant sind in der gesamten Gründung ($w=0.84$ cm nach DIN 1045 und $w=1.17$ cm nach EC 2). Ebenso ist die Verteilung des Kontaktdruckes bei allen 4 Arten gleich.

Bei der Einfachen Annahme (lineare Sohldruckverteilung (1)) mit den 4 verschiedenen äußeren Belastungen (Beispiel 1) zeigt sich eine nahezu gleichmäßige Verteilung des Kontaktdruckes von 20 [kN/m²] im Bereich der gesamten Gründung.

Die Konzentration der Setzungen in der Nachbarschaft zu den äußeren Lasten ist eine Folge des dort herrschenden hohen Kontaktdruckes bei der elastischen Platte mit den Modellen (2), (5) und (7). Die Werte des Kontaktdruckes in der Nachbarschaft der Last sind bei der Verwendung der Modelle (5) und (7) höher als beim Modell (2).

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

Die Bilder 19 und 20 zeigen nur geringe Unterschiede in den Biegemomenten zwischen Modell (2) und den Modellen (5) und (7) bei den Lastgeometrien (b) und (c). Im Beispiel 1 ist trotzdem die Verteilung des Kontaktdruckes bei den 3 Modellen nicht die gleiche.

Bei der Lastgeometrie (d) im Beispiel 1 ist das maximale negative Biegemoment klein bei höheren Werten des Kontaktdruckes an den Plattenecken und groß bei kleineren Werten des Kontaktdruckes. Daraus folgt, daß das maximale negative Biegemoment bei Modell (1) größer ist als bei den Modellen (2), (5) und (7) (Bild 21).

Klar ist, daß das maximale Biegemoment und die größte Setzungsdifferenz bei der Lastgeometrie (c) und die minimalen Werte bei der Lastgeometrie (a) auftreten.

Das Modell (5) ergibt größere Setzungen als Modell (7) aufgrund der vorgegebenen unendlichen Dicke der verdichteten Bodenschicht. Für einen dicken, relativ festen Baugrund sollte man daher Modell (5) verwenden.

Es ist zu erwähnen, daß die herkömmliche Methode (1) nicht von der Beschaffenheit des Bodens unter der Gründung abhängt. Es gibt auch keine Verträglichkeit zwischen Plattenverformungen und Bodensetzungen bei Anwendung dieser Methode. Der Einfluß benachbarter Bauwerke und äußerer Lasten kann nur beim Kontinuums-Modell (4 bis 8) in die Untersuchungen miteinbezogen werden. Der Einfluß der Bauwerkssteifigkeit und Temperaturwechsel wird bei der konventionellen Methode (1) nicht beachtet. Der Einfluß der Wiederbelastung kann nur bei den Schichtenmodellen (4, 6, 7, 8) berücksichtigt werden.

Das Ergebnis der Berechnung der Platte ändert sich nicht bei Plattendicken von $d=d_{\text{starre}}$ bis $d = d_{\infty}$, also bei starren Platten auf elastischem Baugrund.

Nach dem oben dargestellten Vergleich wird empfohlen, sicherheitshalber den Typ des Baugrundmodells für die Plattengründung entsprechend der folgenden Aufstellung zu wählen (Tabelle 35).

Tabelle 35

Empfohlene Berechnungsmodelle für unterschiedliche Baugrundverhältnisse und Bauwerkseinflüsse

Fall	empfohlenes Berechnungsmodell
Bei annähernd gleichförmiger Last, verteilt über die gesamte Platte	Kontinuumsmodell (5) bis (8)
Bei Ecklasten	Winkler-Modell (2) oder (3)
Bei kleinen Gründungen	Einfache Annahme (1) oder Winkler-Modell (2)
Bei dünnen Schichten auf festem Baugrund	Winkler-Modell (2) oder (3)
Bei Fundamenten mit großer Last in der Plattenmitte	Einfache Annahme (1) oder Winkler-Modell (2), (3)
Untersuchung des Einflusses von benachbarten Gründungen	Kontinuumsmodell (5) bis (8)
Bei Baugrund aus unterschiedlichem Bodenmaterial	Kontinuumsmodell (5) bis (8) für geschichteten Baugrund oder Winkler-Modell mit variablem Bettungsmodul (2) oder (3)
Untersuchung des Einflusses von Temperaturunterschieden	Kontinuumsmodell (5) bis (8) oder Winkler-Modell (2) oder (4)
Untersuchung des Einflusses von Überbauten (Bodensenkungen)	Kontinuumsmodell oder Winkler-Modell
Bei weichen Bodenschichten	Kontinuumsmodell (8) für starre Platte
Bei großer Dicke einer Bodenschicht	Kontinuumsmodell (5) für Halbraum

7.5 Schlußbemerkung

Abschließend ist darauf hinzuweisen, daß die Baugrund/Bauwerk-Wechselwirkung für Gründungsplatten nach der Berechnungsgrundlage des EC 2 und den Standsicherheitsnachweisen des EC 7 keine wesentlichen Auswirkungen auf die Sicherheitsniveaus der Bemessung haben.

7.6 Ausblick

In dem vorgelegten Bericht wird beschrieben und begründet, wie man bei Flächengründungen das neue Partialsicherheitskonzept ansetzen kann. Es bleiben aber noch viele Fragen offen, die in dem vorliegenden kurzen Forschungsbericht nicht geklärt werden konnten. Hierzu gehören auch Fragen, die bei der Berechnung von kombinierten Pfahl-/Plattengründungen auftreten. Dies gilt insbesondere auch im Hinblick auf das Steifemodulverfahren, weil dann setzungsbeeinflussende Lasten als Mantelreibung oder Spitzenwiderstand in sehr unterschiedliche Tiefen auf den Baugrund abgegeben werden müssen.

8 Literatur

- [1] BIEGER, K.-W. (1993): Stahlbeton- und Spannbetontragwerke nach EUROCODE 2.
Springer Verlag Berlin
- [2] BOUSSINESQ, I. (1885): Applications des Potentiels à l'Etude de Equilibre et du Mouvement des Solides elastiques.
Gauthier-Villars, Paris
- [3] BÖCKMANN A./ZILCH K. (1993): Baugrund-Tragwerk-Wechselwirkung Sicherheitsbetrachtungen und Grundlagen zur Harmonisierung von EC 2 bis EC 6 mit EC 7.
Forschungsbericht an BMBau. IRB Verlag Stuttgart
- [4] CHEUNG, V.K./ZIENKIEWICZ, O. (1965): Plates and Tanks on Elastic Foundation - an Application of Finite Element Methode.
Int. Journal of Solid Structures Vd. 1, pp. 451. Pergamon
- [5] CRUZ, L. (1994): Vergleichsuntersuchungen zur Bauwerk-Boden- Wechselwirkung an eine Hochhaus-Gründungsplatte zwischen den nationalen Normen und den Eurocodes.
Diplomarbeit-Universität-GH Siegen
- [6] DENINGER, A. (1964): Ein Verfahren zur Berechnung biegsamer und durch Wandscheiben ausgesteifter rechteckiger Gründungsplatten.
Dissertation, Karlsruhe
- [7] DAfStb-H.425 (1992): Deutscher Ausschuß für Stahlbeton.
Bemessungshilfen Eurocode 2 Teil 1 - Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken.
Beuth Verlag, Berlin
- [8] DIN 1045 Stahlbeton- und Spannbetonbau. Beton und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung. Ausgabe Juli 1988
- [9] DIN 4017 Teil 1 Baugrund. Grundbruchberechnungen von lotrecht mittig belasteten Flachgründungen. Ausgabe August 1979

Beiblatt 1 zu DIN 4017 Teil 1
Baugrund. Grundbruchberechnungen von lotrecht mittig belasteten Flachgründungen. Erläuterungen und Beispiele

Sicherheitsuntersuchungen bei Flächengründungen

- DIN 4017 Teil 2 Baugrund. Grundbruchberechnungen von schräg und außermittig belasteten Flachgründungen. August 1979
- Beiblatt 1 zu DIN 4017 Teil 2
Baugrund. Grundbruchberechnungen von schräg und außermittig belasteten Flachgründungen. Erläuterungen und Berechnungsbeispiele
- [10] EUROCODE 1 (1993): Basis of Design and Action on Structures.
Deutsche Fassung: Eurocode 1. Grundlagen des Entwurfs der Berechnung und der Bemessung sowie Einwirkung auf Tragwerke
- [11] EUROCODE 2 (1993): Design of Concrete Structures.
Deutsche Fassung: DIN V 18932 Teil 1 Beuth-Verlag GmbH Berlin und Beton-Kalender Oktober 1991
- [12] EUROCODE 7 (1994): Geotechnical design. Part1: General rules, 4. Auflage, Teil 1.
Deutsche Fassung: DIN V ENV 1997-1 Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik. Teil 1 Allgemeine Regeln
- [13] GRASSHOFF, H. (1978): Einflußlinien für Flächengründungen.
Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin
- [14] GRUSIBAU (1981): Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen.
DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (1. Auflage)
- [15] EL GENDY, M. (1994): Comparing Examinations of the Influence of Calculation methods of Basement slabs.
PH.D Thesis, Suez Canal University, Egypt
- [16] HANISCH J./STRUCK W. (1993): Verification of Safety Level (expressed by the safety Index β) with given Partial Safety Factors in Geotechnical Design for different Failure Modes (Verification Equations).
International Symposium Copenhagen
- [17] KANY, M. (1974): Berechnung von Flächengründungen. 2 Bände. 2. Auflage.
Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [18] KANY, M./EL GENDY, M. (1993): Vergleichende Untersuchungen über numerische Modelle für die Berechnung von Gründungsplatten.
Vortrag Seminar "Theorie und Praxis numerischer Modelle in der Bodenmechanik". Sonthofen 1993. Herausgeber: TU Graz

- [19] KANY, M./EL GENDY, M. (1995): Computing of Beam and Slab Foundations on Three Dimensional Layered Model.
Proceeding of the Sixth International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Berlin
- [20] KANY, M./EL GENDY, M. (1996): Benutzerhandbuch für das Programm ELPLA (eingebunden in das Programmsystem GEOTEC). Zirndorf
- [21] KÖNIG, G. (1992): Bemessung nach Eurocode 2.
Darmstädter Massivbau-Seminar, Band 8,
TH Darmstadt, Eigenverlag
- [22] LOHMEYER G. (1983): Stahlbetonbau. Bemessung, Konstruktion, Ausführung.
3. Auflage. Verlag Teubner Stuttgart
- [23] OHDE, J. (1942): Die Berechnung der Sohldruckverteilung unter Gründungskörpern.
Der Bauingenieur, Heft 14 und 16
- [24] STEINBRENNER, W. (1934): Tafeln zur Setzungsberechnung.
Z. Straße, S. 121 bis 124
- [25] SCHULZE W. E./SIMMER K. (1977): Grundbau Teile 1 und 2 (16. Auflage)
Verlag Teubner Stuttgart
- [26] WINKLER, E. (1867): Die Lehre von der Elastizität und Festigkeit.
Dominicus, Prag
- [27] WÖLFER, K. (1978): Elastisch gebettete Balken und Platten, Zylinderschalen.
4. Auflage. Bauverlag Wiesbaden