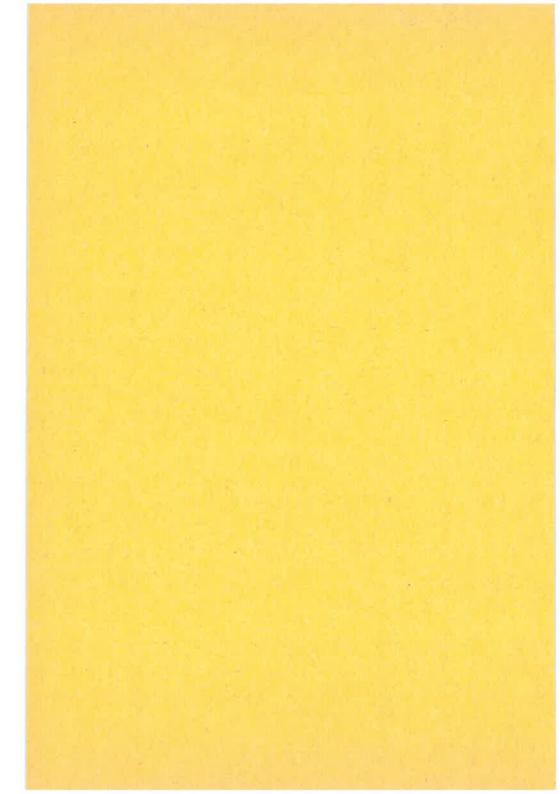


MITTEILUNG 1

THAMM, B.

1974

BERECHNUNG DER ANFANGSSETZUNGEN UND DER ANFANGS-PORENWASSERDRÜCKE EINES WASSERGESÄTTIGTEN NORMALVERDICHTETEN





Das Baugrundinstitut ist unter der Bezeichnung " INSTITUT FÜR GRUNDBAU UND BODENMECHANIK " eine Einrichtung der Universität Stuttgart

BAUGRUNDINSTITUT STUTTGART

PROF. DR.-ING. U. SMOLTCZYK

MITTEILUNG 1

Berechnung der Anfangssetzungen und der Anfangsporenwasserüberdrücke eines wassergesättigten normalverdichteten Tones

von

Dr.-ing. Bernd R. Thamm, M.Sc.

Gegen Vervielfältigung und Übersetzung bestehen keine Einwände, es wird lediglich um Quellenangabe gebeten.

Herausgegeben 1974 im Eigenverlag des Baugrundinstituts

Druck: Winkler & Schräpler, Reprographische Arbeiten,

Stuttgart

Umschlagentwurf: Studio Fink oHG, Altdorf

Vorwort des Herausgebers

Erstbelastete, stark bindige Böden stellen wegen ihrer Neigung zu grossen Verformungen für den Bauingenieur ein sehr unangenehmes Hemmnis beim Entwurf und der Ausführung seiner Bauwerke dar. Gewöhnlich versucht man, es auf konstruktivem Weg zu umgehen, indem man Tiefgründungsverfahren anwendet, den Boden austauscht oder verbessert. Bei grossflächigen Bauvorhaben und dort, wo dieser Boden sehr tiefgründig ansteht, sind solche Auswege wirtschaftlich nicht mehr gangbar. Man muss die Konstruktion des Bauwerkes dann auf die unvermeidliche Tatsache grosser Bodenverformungen abstellen und damit kommt auf den Bodenmechaniker sofort die Frage zu, mit welchen Verformungsbeträgen man zu rechnen habe.

Ingenieure, die mit dieser Art von Boden sehr häufig zu tun haben, wie unsere englischen und skandinavischen Kollegen, haben die konventionelle Setzungsberechnung durch die Unterscheidung zwischen einer zeitlich fast sofort eintretenden Verdrängungssetzung, einer zeitlich nachlaufenden, aber abklingenden Konsolidationssetzung und einer langfristigen Kriechsetzung zu verfeinern versucht.

Das dabei verwendete Prinzip der effektiven Spannungen verlangt nach der Kenntnis der Porenwasserdruckverteilung im jeweiligen Einzelfall. Nur bei sehr einfachen Randbedingungen wie bei Dammprofilen hatte man bis vor kurzem eine durch Messungen einigermassen als zutreffend bestätigte Vorstellung von dieser Verteilung. Erst durch die Entwicklung der Methode der finiten Elemente war der analytische Apparat verfügbar, um auch andere Konfigurationen zu untersuchen.

Das Baugrundinstitut der Universität Stuttgart wurde 1970 zu einem Zeitpunkt gegründet, als die Anwendung der finiten Elemente zur Berechnung von Scherverformungen in Deutschland noch ganz in den Anfängen steckte. Es gab praktisch kaum Erfahrungen mit den im Ausland entwickelten analytischen Modellen, die auf einer Kombination der FEM mit den verfeinerten experimentellen Forschungsergebnissen der Bodenmechanik aufbauten. Wir begrüssten es daher, als die Deutsche Forschungsgemeinschaft

auf Anregung unserer Karlsruher Kollegen ein "Schwerpunktprogramm Bodenmechanik" ins Leben rief, dessen erklärtes Ziel die Verformungsberechnung im Boden war.

Über eine in diesem Rahmen geförderte Forschungsarbeit wird von dem damit betrauten wissenschaftlichen Mitarbeiter des Instituts, Herrn Dr.-Ing. Thamm, nachfolgend berichtet. Mit dieser Untersuchung gelang es, für eine in Südwestdeutschland häufige Bodenart ein funktionstüchtiges Rechenmodell einschliesslich der erforderlichen Materialgesetze aufzustellen, wobei interessante Abweichungen von der bekannten englischen "Cam-Clay"-Hypothese nachgewiesen werden konnten und einzuarbeiten waren.

Wir sind der Auffassung, dass die häufig immer noch geäusserten Zweifel an der Anwendbarkeit des Prinzips der effektiven Spannungen ("die Porenwasserdrücke lassen sich ja doch nicht vorhersagen") zu einem grossen Teil als ausgeräumt gelten können. Auch die Unsicherheit bei der Bestimmung der undrainiert ermittelten Elastizitätsmoduln ist keineswegs grösser, sondern eher kleiner als die bei der Ermittlung des in der Praxis ungebührlich beliebten und oft strapazierten cu-Wertes.

Die weiteren Forschungen werden zeigen, innerhalb welcher Grenzen unser Arbeitskonzept zuverlässige Prognosen liefern kann. Dabei legen wir das Gewicht auf die Bestimmung der für die numerischen Verfahren erforderlichen Eingangsparameter durch Feldversuche.

An dieser Stelle ist der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die grosse und unbürokratische finanzielle Förderung und vielen Kollegen für ihre hilfreiche Anteilnahme zu danken. Beides hoffen wir, uns auch in Zukunft zu erhalten.

Stuttgart-Vaihingen, im Dezember 1974

U.Smoltczyk

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1.	EINFÜHRUNG	1
1.1	Überblick über die herangezogene Literatur	2
	1.1.1 Analyse der Scherfestigkeiten von Böden	4
	1.1.2 Ermittlung der Spannungsverformungscha-	
	rakteristiken	5
	1.1.3 Porenwasserdruckansätze	7
	1.1.4 Dreiaxiale Versuchstechnik	9
	1.1.5 Numerische Lösungsverfahren fürProbleme im	Feld14
1.2	Das Ziel der Arbeit	19
2.	VERSUCHE UND VERSUCHSTECHNIK	21
2.1		22
2.2	Versuchstechnik und Versuchsdurchführung	22
	2.2.1 Probenvorbereitung	22
	2.2.2 Dreiaxialgerät und Messtechnik	23
	2.2.3 Versuchsabläufe	25
2.3	Versuchsergebnisse	32
	2.3.1 Konsolidationsergebnisse	32
	2.3.2 Ergebnisse der C _i U-Versuche	34
	2.3.3 Spannungsverformungscharakteristiken	41
	2.3.4 Effektive Spannungspfade	48
	2.3.5 Porenwasserdrücke	50
3.	MODELL FÜR DIE BERECHNUNG VON VERFORMUNGEN	
	UND PORENWASSERÜBERDRÜCKEN EINES ERSTBELASTETEN	
	WASSERGESÄTTIGTEN TONS	57
3.1	Die Berechnung der Anfangssetzungen s	57
3.2	Die Berechnung der Anfangsporenwasserüberdrücke	58
3.3	Die Anwendung der FE-Methode zur Lösung von	
	Randwertaufgaben	66
3.4	Ergebnisse der Nachrechnung von Randwertaufgaben	71
	3.4.1 Der Dreiaxialversuch	72
	3.4.2 Der Lastplattenversuch	80

		Seite
4.	ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSBETRACHTUNG	91
4.1	Zusammenfassung der experimentellen Ergebnisse	91
4.2	Zusammenfassung der theoretischen Ergebnisse	93
4.3	Weitere Entwicklung	95

LITERATUR

ANHANG

Tabellen

Anlagen

Seite

;	l Prinzip des Dreiaxialgerätes, Systemskizze eines Standes	26
:	Prinzip der elektronischen Messeinrichtung zum Dreiaxialgerät	27
	Druck-Porenzahl-Diagramm für alle C _i U-Ver- suche	33
,	<pre>Bruchgerade im(sa;ta)-Diagramm für alle CiU-Versuche</pre>	38
	Undrainierte Scherfestigkeit aus C _i U-Ver- suchen als Funktion der Tiefe z	40
	6 Scherzahl S als Funktion der Dehnung $\epsilon_{_1}$	43
	7 Dehnung ε_1 als Funktion von $(\sigma_1 - \sigma_3)/\sigma_{3C}$	44
	8 Dehnung ϵ_1 als Funktion von $(\sigma_1 - \sigma_3)/\sigma_{3C}$	45
	9 Dehnung ε_1 als Funktion von $\varepsilon_1/(\sigma_1-\sigma_3)$	47
1	O Vergleich normierter effektiver Spannungs- pfade mit "Cam-clay"-Hypothesen	49
11	Porenwasserdruckparameter A als Funktion der axialen Stauchung $\hat{\epsilon}_1$	51
12	Porenwasserüberdruck Δu als Funktion der Scherzahl S	54
13	Porenwasserdruckparameter α als Funktion der Scherzahl S	55
14	Bestimmung der Konstanten $K_{\underline{M}}$	60
15	Bestimmung der Konstanten M*	61
16	Effektiver Spannungspfad von Versuch CU 26	62
17	Beziehung zwischen Δu und τ_{QC}	65
1.8	Darstellung geeigneter Elementtypen für Randwertaufgaben des Grundbaus	68
19	Geometrie und Randbedingungen des Dreiaxial- versuchs	73

Abbildung	Seite

20	Vergleich des Spannungsverformungsverhal- tens - Scherzahl S als Funktion der axialen Stauchung	75
21	Vergleich des Porenwasserüberdruckverhal- tens - Porenwasserüberdruck Au über der Scherzahl S	77
22	Linien gleicher Scherzahlen S - Versuch CU 26, Laststufe 18	78
23	Linien gleicher Porenwasserüberdrücke Δu ; Versuch CU 26, Laststufe 18	79
24	Linien gleicher Vertikalverschiebungen; Versuch CU 26, Laststufe 18	81
25	Linien gleicher Horizontalverschiebungen; Versuch CU 26, Laststufe 18	82
26	Geometrie und Randbedingungen des Last- plattenversuchs	84
27	Kraftverschiebungsdiagramm des Lastplat- tenversuchs LAPLA 1	87
28	Linien gleicher Scherzahlen S; LAPLA 1, Laststufe 18	89
29	Darstellung der Linien gleicher normierter Porenwasserüberdrücke $\Delta u/q$; LAPLA 1, Laststufe 18	90
30	Nachrechnung eines Lastplattenversuchs mit Ent- und Wiederbelastungsästen	92

1. Einführung

Im Rahmen dieser Arbeit soll das Materialverhalten von einem wassergesättigten Ton untersucht werden, der sich bei konstantem Volumen verformt, um Scherspannungen aufnehmen zu können.

Der Teil der Verformungen, der als Setzung in Erscheinung tritt, wird Anfangssetzung oder Sofortsetzung bzw. Schersetzung genannt. Das Kennzeichen dieser Anfangssetzungen ist, dass während einer relativ kurzen Zeit - relativ kurz im Hinblick auf die Durchlässigkeit des Tones - keinerlei nennenswerte Dissipation der Anfangsporenwasserüberdrücke erfolgt.

Wichtig ist die Kenntnis der Anfangssetzung für die Praxis aus folgenden Gründen:

- 1. Anfangssetzungen können einen relativ grossen Teil der gesamten Endsetzungen ausmachen. Die Grösse des Anteils hängt z.B. von der Art des Bodens, den Belastungs- und Drainagerandbedingungen und von der Dicke der zusammendrückbaren Schicht ab. Sie treten innerhalb der Bauzeit auf und brauchen für den Betriebszustand des Bauwerks nicht mehr berücksichtigt zu werden.
- Grosse Anfangssetzungen können eine Warnung sein vor einem beginnenden Überschreiten der Standsicherheit einer Gründung.

So wünschenswert die genaue Kenntnis der Anfangssetzungen unter undrainierten Bedingungen für die Praxis auch ist, stehen dem im Feld unüberwindbare Schwierigkeiten gegenüber:

- Die Schwierigkeit, Bodenproben im Feld zu entnehmen, die nach der Entnahme noch das Materialverhalten des ungestörten gewachsenen Bodens repräsentieren sollen.
- 2. Wie soll man aus der Kenntnis des Verhaltens einer individuellen Bodenprobe auf das Verhalten des Baugrundes in situ rückschliessen?
- 3. Die Bodenproben sollten im Versuch möglichst mit den gleichen Spannungen belastet werden wie im Feld.

Am Beispiel eines wassergesättigten Tons des Bodenseeraumes soll untersucht werden, mit welchen Modellvorstellungen trotz der genannten Schwierigkeiten Lösungswege möglich sind, wobei sich die Arbeit auf die dominierenden Parameter beschränkt.

Bevor das Ziel der Arbeit im einzelnen erläutert wird, möge der Stand der Technik kurz beschrieben werden.

1.1 Überblick über die herangezogene Literatur

Vor 50 Jahren beschränkte man sich in der Bodenmechanik auf die Ansicht, dass Sand kohäsionslos ist und dass im Gegensatz dazu wassergesättigte Tone einen Reibungswinkel ϕ = 0 haben. Tone wurden in dem Sinne als kohäsiv angesehen, wie man es von den festen Stoffen her kannte. Sande und Tone wurden also als prinzipiell unterschiedliche Materialien behandelt.

Heute weiss man, dass der Hauptunterschied zwischen einem Sand und einem Ton in der Art der zwischen den Partikeln wirkenden Kräfte besteht: Während sich Sandkörner fast ausschliesslich nach dem Potential der Schwere anordnen, sind Tonteilchen von einem elektrischen Feld umgeben, dessen Kräfte die Schwerkraft mit abnehmendem Teilchendurchmesser rasch um Grössenordnungen überwiegen und Ursache eines beträchtlichen Wasserbindevermögens sind. Gleichzeitig nimmt die Durchlässigkeit ab, so dass die erstmals von TERZAGHI (1923) [8] erkannten Konsolidationsphänomene auftreten.

Nachdem man das Konsolidationsphänomen erkannt hatte, war es ein logischer Schritt, die Abhängigkeit der undrainiert gewonnenen Scherfestigkeit von der Vorbelastung zu untersuchen. Ein weiterer Durchbruch gelang mit der Erkenntnis, dass Porenwasserüberdrücke auch durch das Aufbringen einer Scherbeanspruchung, selbst bei unveränderter mittlerer Normalspannung, entstehen.

RENDULIC (1936) [9], der in Terzaghi's Labor in Wien arbeitete, entwickelte die ersten Versuchsanordnungen für die Messung der Porenwasserüberdrücke. Seine Messungen gaben eine erste Bestätigung für die Zweckmässigkeit der Hypothese der effektiven Spannungen.

Die folgenden Jahre brachten dann eine ständige Verbesserung der experimentellen Techniken, insbesondere was die Messung der Porenwasserdrücke betraf, und eine Fülle von Daten, die die Bestätigung und die Grenzen des effektiven Spannungskonzeptes aufzeigten.

HVORSLEV's (1937)[1] Arbeit war der erste Versuch, die Scherfestigkeit der Böden in einheitlicher Form in Abhängigkeit von der Spannungsgeschichte darzustellen.

TIEDEMANN (1936) [36] entwickelte einen Kreisring-Scherapparat zur Ermittlung der Schubfestigkeit weicher bindiger Böden mit grossen Verschiebungen.

KREY und TIEDEMANN (1937) stellten dann ein Verfahren auf, bei dem die Kohäsion nicht mehr eine Bodenkonstante wie beim Coulomb'schen Gesetz für die Schubfestigkeit des Bodens war, sondern proportional mit der Vorbelastung des Bodens zunahm.

Endlich haben SKEMPTON (1954) [10] und BJERRUM (1954) [5] durch ihre Bemühungen, theoretische Beziehungen zwischen Volumenänderungen drainierter Versuche und den Porenwasserüberdrücken undrainierter Versuche herzustellen, ein klareres Bild von der Wichtigkeit des Prinzips der effektiven Spannungen geschaffen.

ROSCOE et. al. (1958) [22] gebührt das Verdienst, ein klares Konzept für die Darstellung der Ergebnisse von Dreiaxialversuchen entwickelt zu haben.

Nach diesem kurzen Überblick soll nun im einzelnen der Stand der Technik bei den für diese Arbeit relevanten Einzelthemen behandelt werden, das sind:

- 1. Analyse der Scherfestigkeit von Böden;
- 2. Ermittlung der Spannungsverformungscharakteristiken;
- Porenwasserdruckansätze;
- 4. Technik des dreiaxialen Versuchs;
- 5. Numerische Lösungsverfahren für Probleme im Feld.

Wegen der grossen Anzahl der Veröffentlichungen zu jedem der genannten Themen kann im folgenden nur auf die wichtigsten Arbeiten eingegangen werden.

1.1.1 Analyse der Scherfestigkeit von Böden

HVORSLEV (1937, 1960) [1] schlug eine Scherfestigkeitsbeziehung vor, die vom Wassergehalt beim Bruch abhängt und die für gestörte Böden ohne Berücksichtigung der vorherigen Spannungsgeschichte erhalten werden kann.

Der Ausdruck für die normierte Scherfestigkeit lautet nach Hvorslev:

$$\frac{\tau_{ff}}{\sigma_{e}^{i}} = \frac{c_{e}^{i}}{\sigma_{e}^{i}} + \frac{\sigma_{ff}^{i}}{\sigma_{e}^{i}} \cdot \tan \phi_{e}^{i} \tag{1}$$

wobei $\tau_{\rm ff}$ die Scherspannung und $\sigma_{\rm ff}^i$ die effektive Normalspannung beim Bruch in der Bruchebene sind. $\sigma_{\rm e}^i$ ist Hvorslev's "äquivalente Konsolidationsspannung" (Konsolidationsspannung einer normalkonsolidierten Probe bei gleichem Wassergehalt). Schliesslich sind $\sigma_{\rm e}^i$ die "wahre" Kohäsion und $\phi_{\rm e}^i$ der "wahre" Reibungswinkel.

Die Hvorslev-Parameter werden heute bei der praktischen Auswertung von Scherversuchen kaum verwendet, weil es schwierig ist, Versuche so zu fahren, dass alle Proben beim Bruch denselben Wassergehalt haben, sich jedoch in $\sigma_{\rm e}^{\rm t}$ unterscheiden. Die Parameter unterteilen die Scherfestigkeit einfach in wassergehaltsabhängige und solche, die von den effektiven Spannungen abhängig sind.

In der ursprünglichen Hvorslev-Hypothese ist ϕ_e^* unabhängig vom Wassergehalt und damit eine Konstante für einen bestimmten Boden. Die Gültigkeit dieser Annahme konnte jedoch für gestörte Tone nicht generell bestätigt werden, und eine Arbeit von GIBSON (1953) [2] zeigt, dass z.B. die Werte ϕ_e^* für Londoner Ton über einen weiten Variationsbereich von Wassergehalten beim Bruch (25 - 58 %) um 3 - 4 schwanken können.

BISHOP und HENKEL (1962) [3] haben die Gültigkeit der ursprünglich für den direkten (Kasten-) Scherversuch entwickelten Hypothese von Hvorslev auf die Ergebnisse von Dreiaxialversuchen ausgedehnt. Der Wert, der nun für die äquivalente Konsolidationsspannung $\sigma_{\rm e}'$ angesetzt werden muss, ist ein wichtiger Diskussionsgegenstand in den folgenden Arbeiten.

Hvorslev (1937) entnahm die äquivalente Konsolidationsspannung aus dem Druck-Porenzahl-Diagramm des eindimensionalen Druckversuchs im Oedometer. Bishop und Henkel benutzten dagegen einen Wert für $\sigma_{\rm g}$, der aus einem dreiaxialen Konsolidationsversuch stammt.

HVORSLEV (1960) wies aber darauf hin, dass die Werte c_e^i und ϕ_e^i sich nicht ändern, so lange die äquivalente Konsolidationsspannung von einer parallelen Linie zur Druck-Porenzahllinie des eindimensionalen Druckversuchs entnommen wird. Tatsächlich hat sich die Parallelität der Druck-PorenzahlLinien bei ein- und dreidimensionaler Konsolidation bei den verschiedenen Böden bestätigen lassen, so dass man die Hypothese von Hvorslev auch auf Dreiaxialversuche anwenden kann. Neben der Konsolidationsspannung gibt es noch zahlreiche andere Parameter, die die Scherfestigkeit vor allem der bindigen Böden und die Entwicklung von einheitlichen Beziehungen zwischen den Variablen beeinflussen. Einige dieser Parameter werden noch im Zusammenhang mit der dreiaxialen Versuchstechnik und der Interpretation der Versuchsergebnisse behandelt werden.

1.1.2 Ermittlung der Spannungsverformungscharakteristiken Wegen der Teilchenstruktur der Böden ist deren Spannungsverformungsverhalten äusserst komplex. Die Verformungen eines endlichen Bodenelementes sind das summarische Ergebnis von Verformungen der Teilchen selbst und relativen Verschiebungen der Teilchen. Versuche, solche räumlichen Verschiebungsvorgänge aus dem Verhalten der Partikel statistisch abzuleiten, werden bereits für geometrisch definierte Kugelpackungen so umständlich, dass dieser Ansatz für die Quantifizierung des Verformungsverhaltens von Tonen kaum in Frage kommen dürfte. Im Gegensatz zum festen Körper hängen die Materialeigenschaften eines Bodens sehr stark vom vorausgegangenen Spannungszustand ab, und bei jeder neuen Änderung entsteht wegen der Umordnung der Teilchen ein bestimmtes Mass an Anisotropie. Ist der neue Spannungszustand grösser als jeder frühere, dann verhält sich der Boden "unvorbelastet", die neue Belastung

ist eine "Erstbelastung" und verursacht grössere plastische Verformungen.

In den letzten Jahren sind nun vermehrte Anstrengungen unternommen worden, um über die ebenen und axialsymmetrischen Sonderfälle hinaus allgemeingültige Spannungsverformungsbeziehungen zu entwickeln, aber bis heute ohne Erfolg. Es ist auch für die Zukunft nicht zu erwarten, dass das gelingt – genau so wenig wie es etwa möglich ist, für alle Metalle oder alle Kunststoffe einheitliche Stoffgesetze anzugeben.

In der Praxis erscheint es deshalb sinnvoll, Näherungsansätze zu entwickeln, die für bestimmte Teilbereiche geometrischer und statischer Randbedingungen und für bestimmte Bodenklassen gültig sind. Diese induktive Methode ist schon durch den experimentellen Aufwand bedingt, den die Verifizierung der Materialhypothesen erfordert; man wird daher schrittweise zu prüfen haben, ob die für einfachere Sachverhalte formulierten Ansätze sich auch auf komplexere erfolgreich anwenden lassen.

Bei der Beschreibung des Spannungsverformungsverhaltens einer Bodenart ist es in vielen Fällen möglich, einzelne Faktoren durch geeignete Auswahl der Bodenproben und durch Versuchsbedingungen zu berücksichtigen, die die entsprechende Feldsituation simulieren. Gesetzt den Fall, das könnte mit ausreichender Genauigkeit und ohne Störung der Proben getan werden, dann könnte man erwarten, dass die Verformungen der Bodenprobe durch im Labor aufgegebene Spannungsänderungen die Verformungen repräsentierten, die im Feld unter gleichen Spannungsänderungen erfolgen würden.

LAMBE (1967) [4] hat diese Art des Vorgehens beschrieben und gleichzeitig erklärt, wie man diese Methode dazu benutzen kann, Verformungen im Boden ohne die Entwicklung genereller Spannungsdehnungsbeziehungen für die entsprechende Bodenart vorherzusagen. Die vorgeschlagene Methode kann natürlich das Verformungsverhalten des Bodens nur grob vereinfachend wiedergeben. Angewendet auf praktische Fälle jedoch heisst das: Vermehrte Laborarbeiten mit allen Schwierigkeiten, angefangen

von den Probeentnahmen bis zu dem vermehrten Aufwand bei den erforderlichen Versuchsreihen.

Da man dann aber auch wiederum nur einen punktuellen Aufschluss über das mechanische Verhalten des Bodens als Baugrund erhält, geht die Entwicklung der letzten Zeit mehr und mehr in die Richtung verbesserter Feldversuche. (BJERRUM (1937) [5]). Die Auswertung und Interpretation solcher Feldversuche erfordert aber die Entwicklung von Spannungsverformungsbeziehungen mit Modellcharakter, deren Parameter für eine grössere Klasse von Böden mit relativ wenigen Laborversuchen ermittelt werden können.

Diesen Weg haben DUNCAN und CHANG (1970) [6] eingeschlagen. Es ist bekannt, dass das Verhalten von Böden über einen grossen Spannungsbereich hin nichtlinear, nichtelastisch und abhängig von der Dichte, also bei bindigen wassergesättigten Böden von der Grösse der Konsolidationsspannung, ist. Für die geometrischen und statischen Randbedingungen eines Dreiaxialversuches wird eine einfache praktikable Spannungsdehnungsbeziehung definiert, die die Nichtlinearität und die Abhängigkeit von der Grösse der Konsolidationsspannung des Bodens berücksichtigt. KONDNER(1963) [7] hat gezeigt, dass nichtlineare Spannungsdehnungslinien, gewonnen aus Dreiaxialversuchen an Sanden und Tonen, mit guter Genauigkeit durch Hyperbeln beschrieben werden können.

Obgleich die beschriebene Spannungsdehnungsbeziehung wegen ihrer Einfachheit nur beschränkt gültig ist, bringt sie zwei wesentliche Komponenten des Verformungsverhaltens von Böden zum Ausdruck, nämlich die Nichtlinearität und die Abhängigkeit von der Vorbelastung. Ausserdem bereitet sie die Ergebnisse von Dreiaxialversuchen in einer Form auf, die sehr einfach in ein numerisches Berechnungsverfahren eingebaut werden kann.

1.1.3 Porenwasserdruckansätze

Das Auftreten von Porenwasserüberdrücken in wassergesättigten Böden hat die Aufmerksamkeit aller Grundbauingenieure seit der Entdeckung des Prinzips der effektiven Spannungen durch TERZAGHI (1923) [8] geweckt.

Porenwasserüberdrücke bauen sich auf, wenn die Porenflüssigkeit bei Druckänderungen nicht sofort abfliessen kann. Dieser Zustand wird durch die Durchlässigkeit des Bodens und durch die zeitliche Aufbringung einer Belastung oder Verformung beeinflusst. Die ersten Messergebnisse von Porenwasserüberdrükken bei undrainierten dreiaxialen Druckversuchen veröffentlichte RENDULIC (1936) [9].

Die Entwicklung der Porenwasserdruckparameter A und B durch SKEMPTON (1954) [10] war dann der erste Versuch, den Porenwasserdruck quantitativ zu erfassen. Skempton schlug folgende Gleichung vor

$$\Delta u = B \cdot (\Delta \sigma_3 + A \cdot (\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3))$$
 (2)

wo $\Delta\sigma_1$ die Änderung der grössten Hauptspannung und $\Delta\sigma_3$ die Änderung der kleinsten Hauptspannung ist. Gleichung (2) ist nur unter den Bedingungen des axialsymmetrischen Verformungszustandes anwendbar.

Der Porenwasserdruckparameter B ist in erster Linie eine Funktion des Sättigungsgrades. Für voll wassergesättigte Böden ist B = 1,0. Der Porenwasserdruckparameter A, genauer gesagt sein Wert $\mathbf{A}_{\mathbf{f}}$ beim Bruch der Bodenprobe, ist abhängig von der jeweiligen Bodenart, der Spannungsverformungsgeschichte, dem Verformungszustand, den Dehnungen und von der Dehnungsgeschwindigkeit.

Er ist also keine Konstante, wie es zunächst vermutet wurde. HENKEL (1960) [11] wies darauf hin, dass Skempton's Gleichung (2) keine Variation der mittleren Hauptspannung zuliesse. Er führte daraufhin eine alternative Schreibweise für die Gleichung (2) ein unter der Voraussetzung, dass es sich um einen voll wassergesättigten Boden handelt:

$$\Delta u = \Delta \sigma_{QC} + \alpha \cdot \Delta \tau_{QC} \tag{3}$$

wo $\Delta\sigma_{\rm oc}$ die Änderung der Oktaedernormalspannung und $\Delta\tau_{\rm oc}$ die Änderung der Oktaederschubspannungen ist; α ist ein Porenwasserdruckparameter, der von 2,5 für sehr sensitive Tone bis etwa -1,8 für sehr stark vorbelastete Tone schwankt.

Anisotropie und nichtlineares Porenwasserdruckverhalten wurden vernachlässigt, ebenso andere Verformungszustände als axialsymmetrische; d.h. Gleichung (3) ist nur eine etwas allgemeinere Form von Gleichung (2) unter den gleichen vereinfachenden Annahmen.

BOUTWELL (1968) [12] schlug vor, die Beziehung zwischen dem Porenwasserdruck und dem Spannungszustand als totales Differential zu formulieren. Unter der Annahme, dass eine inkrementelle Änderung du im Porenwasserdruck nur durch eine Änderung in den Invarianten des aufgebrachten Spannungszustandes hervorgerufen wird, lautet die Differentialgleichung von Boutwell:

$$du = \frac{\partial u}{\partial \sigma_{oc}} \cdot d\sigma_{oc} + \frac{\partial u}{\partial \tau_{oc}} \cdot d\tau_{oc}$$
 (4)

Geht man weiter davon aus, dass sich jeder Zuwachs do in einen gleich grossen Zuwachs du umsetzt, wenn ein Boden voll wassergesättigt ist, dann zeigt ein Vergleich mit Gleichung (3) für endliche Inkremente, dass $\alpha = \partial u/\partial \tau_{\rm oc}$ ist, d.h. Gleichung (4) ist eine allgemeinere Form der Gleichung (3). Sie gilt nur für do > 0.

SCHOFIELD und WROTH (1968) [13] , sowie BURLAND (1971) [23] , gehen bei der von ihnen mitentwickelten "Critical State" - Theorie von der Existenz einer Fliessgrenze ("state boundary surface") aus, um die Grösse der effektiven Spannungen - und damit die Porenwasserüberdrücke, die beim Schervorgang voll wassergesättigter Tone entstehen, vorhersagen zu können.

1.1.4 Dreiaxiale Versuchstechnik

Die Kernfrage jeder Versuchstechnik im Labor lautet: Wie erhalte ich Proben, die die gleichen Materialeigenschaften haben, wie die des intakten Bodens im Feld? Jede Probe, auch eine noch so sorgfältig entnommene, erleidet Störungen, die die mechanischen Eigenschaften z.T. sehr verändern können. NOORANY und SEED (1963)[38] befassten sich z.B. mit den negativen Porenwasserdrücken, die in den Proben entstehen, wenn diese entnommen werden, und ihren Auswirkungen auf die Scherfestigkeit. Ungestörte Proben kann es im strengen Sinne überhaupt nicht geben, weil der Spannungszustand im Feld nicht erhalten bleiben kann.

LADD (1964) [14] und BJERRUM [5] schlugen daher vor, sich dem Ausgangszustand des Bodens dadurch anzunähern, dass man die Proben bis zu denjenigen Spannungen rekonsolidiert, die nach der bodenmechanischen Theorie im unbelasteten Boden herrschen; d.h. mit anderen Worten: Die in der Praxis in solchen Fällen meist üblichen UU-Versuche sollen weitgehend durch sogenannte C_4 U-Versuche bzw. C_{KO} U-Versuche ersetzt werden.

 ${\bf C_1}$ U-Versuche sind Versuche, bei denen die Proben isotrop rekonsolidiert werden bis zu einer effektiven mittleren Normalspannung, die derjenigen des Bodens in gleicher Entnahmetiefe entspricht.

 C_{KO} U-Versuche sind Versuche, bei denen die Proben anisotrop mit dem Ruhedruckverhältnis σ_3^i / σ_1^i = K_O < l rekonsolidiert werden, das nach der Theorie dem des Bodens in gleicher Entnahmetiefe entspricht. Beide Versuche liefern undrainierte Scherfestigkeiten, die grösser sind als die bei vergleichbaren UU-Versuchen gemessenen, was auf eine Kompensation der Entnahmestörungen durch die Rekonsolidation schliessen lässt.

Auch LADD [14] befasst sich mit dem Problem, möglichst wirklichkeitsgetreue Spannungsverformungsdaten aus undrainierten Dreiaxialversuchen an Proben wassergesättigten Tones zu erhalten. Zu diesem Zweck wurden von ihm Versuchsserien, u.a. auch mit gestörtem Bostoner Ton ($\mathbf{w_L}$ = 33 %; $\mathbf{I_p}$ = 15 %) durchgeführt. Die "ungestörten" Proben mit einem Durchmesser von 3,6 cm wurden aus einem grossen Probenkörper des gleichen Tones hergestellt, der bis zu einer Konsolidationsspannung σ_{vo}^{+} von 1,0 bis 1,5 kp/cm² in einem grossen Oedometer aus

einer Tonschlämme mit einem Wassergehalt gleich dem der zweifachen Attenberg'schen Fliessgrenze w_L konsolidiert wurde. Wegen des hohen Wassergehaltes der Schlämme und wegen der eindimensionalen Rekonsolidation entstehen Probenkörper guter Qualität, deren Materialverhalten man grob vereinfachend dem der ungestörten Proben gleichstellen kann.

Mit diesen "ungestörten" Proben wurden von LADD [14] verschiebungskontrollierte Dreiaxialversuche (UU und CU) durchgeführt mit dem Ziel, Aufschluss zu erhalten über den Einfluss:

- a) der Scherzahl S, d.i. das Verhältnis der vorhandenen zur maximal möglichen Scherspannung;
- b) des Überkonsolidierungsverhältnisses (O.C.R), d.i. das Verhältnis der grössten je im Boden wirksam gewordenen mittlere Normalspannung $\sigma_{\rm vm}$ zur Konsolidationsspannung $\sigma_{\rm 3G}$;
- c) der sekundären Konsolidation ("Alterung");
- d) der Belastungsgeschwindigkeit auf das Spannungsverformungsverhalten des Tones.

Es wurde eine starke Abhängigkeit des Tangentenmoduls E_t von der Scherzahl S festgestellt, wie es bei nichtlinearem Verhalten des Tones nicht anders zu erwarten war. Bei steigendem überkonsolidierungsverhältnis O.C.R steigt auch der Tangentenmodul E_t , wobei der Anstieg bei niedrigen Scherzahlen ausgeprägter ist. Eine sekundäre Konsolidation kann auftreten, wenn man die Probe vor dem eigentlichen Abschervorgang länger konsolidieren lässt, als es zum Abbau des Porenwasserüberdruckes erforderlich ist (primäre Konsolidation). Nach einer Zeit, die etwa der 60-fachen Zeit für primäre Konsolidation entsprach, verdoppelten sich die Werte für den Tangentenmodul. Eine Tatsache, die wichtig ist im Hinblick auf Vergleiche mit gemessenen E-Moduln im Feld, wo oft Tone zu finden sind, die Tausende von Jahren "altern" konnten.

Es gehört zu den bodenmechanischen Erfahrungstatsachen (BISHOP und HENKEL (1962) [3]), dass die Belastungsgeschwindigkeit, die während des undrainierten Abschervorganges angewendet wird, von

grossem Einfluss auf die Verformung des Bodens ist, und zwar unabhängig vom Überkonsolidierungsverhältnis. Der Effekt tritt im Labor nicht so stark in Erscheinung, zumal wegen der Porenwasserdruckmessungen einheitlich eine ziemlich niedrige Belastungsgeschwindigkeit gewählt wird, sondern vielmehr beim Vergleich von Versuchsergebnissen im Feld mit denen im Labor.

Der Einfluss der Endflächenreibung, das ist die Reibung zwischen Kopf- und Fussstück der Zelle und der eingebauten Bodenprobe, auf den E-Modul wird bei LADD [14] vernachlässigt, obwohl eine Arbeit von DUNCAN und DUNLOP (1968) [15] eine Zunahme der Scherfestigkeit in Höhe von 5 % durch Endflächenreibung zeigt. Die Daten wurden mit undrainierten Versuchen an normalkonsolidierten Tonproben ermittelt. Ein Einfluss der Endflächenreibung auf die am Kopf und Fuss der Probe gemessenen Porenwasserüberdrücke konnte dabei nicht festgestellt werden. Duncan und Dunlop empfehlen die Ausschaltung der Endflächenreibung in Fällen, wo es notwendig ist, die Volumenänderung während der Konsolidationsphase oder bei einem drainierten Abscheren der Probe genau zu messen.

Das anisotrope Verhalten von normal- bis leicht überkonsolidierten Kaolinproben wird in einer Arbeit von MITCHELL (1972) [16] untersucht. Aus eindimensional vorkonsolidierten Blöcken von Kaolin ($\sigma_{\rm VO}^{\circ} = 0.6$ - 2.5 kp/cm² wurden vertikal und horizontal geschnittene Proben von 5 cm Durchmesser gefertigt. Eine vertikal geschnittene Probe ist eine Probe, bei der die grösste Hauptspannung während des Abschervorganges in der Richtung der eindimensionalen Konsolidationsspannung aufgebracht wird. Alle Versuche wurden unter einem Sättigungsdruck ("back pressure") von 1.0 kp/cm² mit konstanter Belastungsgeschwindigkeit gefahren, wobei die Endflächenreibung durch geschmierte und polierte Endplatten an Kopf und Fuss ausgeschaltet war. Vorher waren alle Proben isotrop bis zu O.C.R-Werten zwischen 0,5 und 1,2 rekonsolidiert worden.

Die Ergebnisse fasst Mitchell wie folgt zusammen:

 a) eine geringe Anisotropie der undrainierten Scherfestigkeit wurde festgestellt;

- b) die effektiven Bruchgeraden weichen kaum voneinander ab;
 d.h. die geringe vorhandene Anisotropie hat kaum einen
 Einfluss auf die effektiven Scherfestigkeitsparameter;
- c) die Unterschiede in der undrainiert gemessenen Scherfestigkeit sind das Ergebnis unterschiedlicher Porenwasserüberdrücke während des Abscherens. Der Porenwasserdruckparameter A (nach Skempton) ist für horizontal geschnittene Proben am Anfang 0,40; für vertikal geschnittene Proben dagegen 0,25.
 - Da der theoretische Wert von A unter isotropen elastischen Bedingungen am Anfang O,33 beträgt und damit zwischen den beiden anderen Werten liegt, könnte er auch als Mass für die Anisotropie herangezogen werden;
- d) die Abweichungen von dem Wert für isotrope Bedingungen sinken mit steigender Vorkonsolidationsspannung σ_{vo}^{l} ;
- e) während des Abschervorganges entsteht bis zu einer Scherzahl von 0,6 bis 0,8 für normalkonsolidierte Tone
 (D'APPOLONIA u.a. (1971) [17]) ein nahezu linearer Porenwasserüberdruckanstieg, der erst für Scherzahlen über 0,8 in eine nichtlineare Porenwasserdruckfunktion übergeht.

Zusammenfassend stellt Mitchel dann fest, dass für normalkonsolidierte Tone mit starkem Kaolinanteil die Abweichungen von der Annahme der Isotropie für praktische Fälle gering sind.

In einem Diskussionsbeitrag zur Veröffentlichung von Mitchell verweist BHASKARAN (1973) [18] auf seine Erfahrung, dass vertikal geschnittene Proben sowohl grössere als auch kleinere Scherfestigkeiten im Vergleich zu horizontal geschnittenen Proben haben könnten. Als wichtigste Kriterien nennt er hierfür die Mineralzusammensetzung der Tone und den Grad der Überkonsolidation (für normal-konsolidierte Tone sei $c_{\rm uh}/c_{\rm uv} \leq 1$; für überkonsolidierte Tone $c_{\rm uh}/c_{\rm uv} > 1$).

LO (1965) [19] fand keine Abweichungen der Porenwasserüberdrücke bei Versuchen mit unterschiedlich geschnittenen Proben eines normalkonsolidierten wassergesättigten Tones. Zusammenfassend seien noch einmal die wichtigsten Erkenntnisse der Dreiaxialtechnik der vergangenen Jahre aufgezählt (vgl. BJERRUM [5]):

- a) Die Probenvorbereitung muss mit besonderer Sorgfalt erfolgen; die Versuche sind so anzusetzen, dass die Proben bis zu den Spannungen rekonsolidiert werden, die denjenigen in der Entnahmetiefe entsprechen.
- b) Die Einflüsse der Zeit: Geschwindigkeit, Dauer, Häufigkeit - auf das Spannungsverformungsverhalten und die Scherfestigkeit sind zu berücksichtigen, besonders im Hinblick auf Vergleiche zwischen Labormessungen und Feldmessungen.
- c) Die Anisotropie der Böden ist zwar vorhanden; ihr Einfluss erscheint jedoch nicht so gross zu sein, als dass in jedem Fall horizontal und vertikal geschnittene Proben parallel untersucht werden müssten. Insbesondere hängt der Einfluss der Anisotropie von der Art des Verformungszustandes (ebenoder axialsymmetrisch) und der Art der Lastaufbringung (Bruch durch Be- oder Entlastung) ab.

1.1.5 Numerische Lösungsverfahren für Probleme im Feld

Eine der wichtigsten Entwicklungen im modernen Grundbau ist die zunehmende Erfassung und Auswertung von Messungen an ausgeführten Bauwerken und das Studium dieser Auswertungen im Zusammenhang mit theoretischen Ansätzen und numerischen Lösungsverfahren.

Die Methode der finiten Elemente (FEM), über die es eine grosse Anzahl an Veröffentlichungen (z.B. [6],[20],[45] etc) gibt, hat in den vergangenen Jahren auch im Grundbau sehr an Bedeutung gegenüber den anderen numerischen Verfahren gewonnen. Die weitere Entwicklung und Anwendung der FE-Methode zur Spannungs- und Verformungsberechnung und die Möglichkeit, nichtlineare Spannungsverformungsansätze zu berücksichtigen, was dem wirklichen Materialverhalten näher kommt, ermöglichen es dem Ingenieur, auch bei komplexeren Vorgängen, für die bisher noch kaum Lösungen vorhanden waren, zu quantitativen Aussagen zu

kommen (SMOLTCZYK (1972) [35]).

Geschlossene Lösungen existieren nur für wenige Randwertprobleme, die zudem noch die lineare Elastizitätstheorie als Grundlage haben. Die Theorie des elastisch-isotropen Halbraums hat aber zwei wesentliche Einschränkungen bei der Anwendung im Grundbau:

- a) Lösungen für Randwertprobleme mit nichtlinearen, nichthomogenem und anisotropem Stoffansatz sind nicht verfügbar;
- Spannungsumlagerungen, die durch örtliche Fliessvorgänge entstehen, können nicht erfasst werden.

Vor allem lassen sich irreguläre geometrische und statische Randbedingungen nicht für die Praxis in geschlossener Form aufbereiten.

Durch die Möglichkeiten, die die FE-Methode dem Ingenieur bietet, kann sich dieser wieder seiner eigentlichen Aufgabe zuwenden, die richtigen geometrischen Randbedingungen eines Problems und die Materialeigenschaften des Bodens zu erfassen. Denn nicht die FE-Methode an sich bietet Schwierigkeiten, da sie für viele Fälle bereits anwendungsorientiert vorliegt, sondern die richtige Wahl der Materialwerte und die ingenieurmässige Interpretation der Ergebnisse.

Seit NEWMARK (1960) [21] werden generelle Spannungsdehnungsbeziehungen auf dem Gebiet des Grundbaus in Oktaederspannungen angegeben. Mit Einführung der numerischen Lösungsverfahren hat diese Art der Darstellung an Wert gewonnen.

HÖEG (1972) [24] untersuchte das Verhalten von Tonen nach dem Überschreiten der maximal erreichbaren Scherfestigkeit mit anschliessendem Abfall auf die sogenannte Restscherfestigkeit. Für normalkonsolidierte Tone mit geringem Tongehalt kann der Unterschied zwischen maximaler Scherfestigkeit und Restscherfestigkeit vernachlässigt werden, d.h. es kann eine monotone Verfestigung angenommen werden. Unter diesen Umständen kann ein einfaches Verformungsgesetz zur Nachahmung des nichtlinearen Materialverhaltens angewendet werden. Glücklicherweise

sind bei Belastung von wassergesättigtem Ton unter undrainierten Bedingungen die Festigkeit und auch die Verformungen unabhängig von den Oktaedernormalspannungen vor Beginn der Belastung. Dafür gibt es aber Schwierigkeiten bei der konventionellen Formulierung der Steifigkeitsmatrix in der FE-Methode, weil undrainiertes und inkompressibles Material eine Poissonzahl ν =10,5 hat. Die Lösung dieses Problems erfordert eine Abkehr vom Prinzip des Minimums der potentiellen Energie, der Grundlage für das Ritz'sche Verfahren, auf dem die konventionelle FE-Methode beruht. Die geometrischen und statischen Randbedingungen müssen dann auf der Grundlage des Hellinger-Reissner-Theorems (1950) [40] formuliert werden.

Der Nachteil des Hellinger-Reissner'schen Funktionals ist, dass es zur Zeit für eine numerische Näherungslösung zu aufwendig ist, da eine Reihe von Unbekannten mehr zu lösen sind, sowie Fragen der geeigneten Elementwahl, der Konvergenzkriterien etc. vorab zu klären sind.

Allgemein könnte man das Reissner'sche Funktional wie folgt anschreiben:

$$\begin{split} \overline{\mathbf{I}} \left| \mathbf{v}, \mathbf{u} \right| &= -\widehat{\mathbf{H}}_{\mathbf{I}} \left| \mathbf{u} \right| + \widehat{\mathbf{H}}_{\mathbf{I}}^{\mathbf{a}} \mathbf{v} \right| + \sum_{k=1}^{n} \int \mathbf{u}_{k} \cdot \mathbf{v}_{k}^{\prime} \cdot d\mathbf{V} - \mathbf{u}_{n} \cdot \widehat{\mathbf{v}}_{n}^{\prime} + \\ \mathbf{u}_{o} \cdot \widehat{\mathbf{v}}_{o} - \sum_{k=1}^{n-1} \left| \mathbf{u}_{k} \right| \cdot \langle \mathbf{v}_{k} \rangle \end{split} \tag{5}$$

Das Funktional ist frei in v und u; es existieren keine Nebenbedingungen. Es bedeuten

ī	Reissner'sches Funktional
ĨĬ	inneres Komplementärpotential
$\Pi^{\mathbf{a}}$	äusseres Potential
v(x, t)	Argumentfunktion der Verschiebung (stetig, diffe- renzierbar, den allgemeinen Randbedingungen ge- nügend)
u(x, t)	Argumentfunktion des PW-Überdruckes (stetig, differenzierbar, den allgemeinen Randbedingungen genügend
un. v uo. v	
uo· vo	Randterme des Funktionals (> bedeutet vorgegebene Grössen)

 $< v_{k} > = 0$

d.h. die Ritz-Ansätze müssen so beschaffen sein, dass bei Verwendung von \bar{I} das Verschiebungsfeld über die Elementgrenzen hinweg stetig verläuft.

Bei der Lösung eines allgemeinen Problems räumlicher Natur entstehen dabei die folgenden Schwierigkeiten:

- die Ritz-Ansätze müssen so beschaffen sein, dass das Verschiebungsfeld über die Elementgrenzen hinweig stetig verläuft. Diese Bedingung erfordert Elemente mit höherwertigen Verschiebungsansätzen;
- der Ansatz des inneren Komplementärpotentials muss so über alle Elementgrenzen hinweg stetig variiert werden, dass insgesamt gesehen ein Materialverhalten inkompressibler Art erfasst wird. Das erfordert die Berechnung zusätzlicher Unbekannten;
- bevor praktische Probleme mit Hilfe eines gemischten Randwertproblems und numerischer Lösungsverfahren berechnet werden, sollten vorab das Konvergenzverhalten verschiedener Elementarten, gegebenenfalls verschiedene Elementformen für den hydrostatischen Anteil bzw. den Spannungsdeviator, numerische und diskretisierende Problematiken etc. geklärt werden.

Für die praktische Berechnung ist es wichtig, auf möglichst wirtschaftliche Weise zu brauchbaren quantitativen Aussagen zu kommen. Nimmt man aber zusätzlich zur oben beschriebenen Problematik die beim Boden vorhandene – Dilatanzverhalten, Inhomogenität und geometrische Nichtlinearität – hinzu, so entsteht sehr schnell ein Problem, das die augenblickliche Kapazität der Rechenanlagen übersteigt. Der in der Praxis arbeitende Ingenieur muss daher abwägen, welche der Kriterien bei der Beschreibung des Materialverhaltens mit Vorrang zu behandeln sind.

Der Fehler, der bei der Anwendung einer Querkontraktionenzahl entsteht, die nur ein nahezu inkompressibles Verhalten beschreibt, dürfte, zumindest bei axial-symmetrischen Problemen, für praktische Anwendungen nicht so gross sein, wenn die numerische Stabilität der Gesamtsteifigkeitsmatrix sichergestellt ist.

HERRMANN (1965) [25] hat ein Variationstheorem nach Hellinger-Reissner aufgestellt, um linear-elastische inkompressible Materialien berechnen zu können. Der Aufwand bei der Umsetzung des Variationstheorems in ein nichtlineares FE-Rechenprogramm ist im Augenblick jedoch noch so gross, dass es für praktische Fälle sinnvoll erscheint, zunächst mit der konventionellen Steifigkeitsformulierung und einer Poissonzahl $\nu=0.48-0.49$, die nahezu inkompressibles Verhalten bedeutet, zu rechnen. Die meisten Autoren haben bisher diesen einfachen Weg eingeschlagen, doch ist Vorsicht geboten, da bei der Berechnung der Spannungen empfindliche numerische Irrtümer entstehen können.

SCHAD (1973) [26] hat nachgewiesen, dass trotz höherwertiger Elementformen erhebliche Abweichungen mit Werten kleiner gegen $\nu=0.5$ von der exakten theoretischen Lösung, besonders bei den horizontalen Spannungen auftreten können. Ausserdem ist die Poissonzahl bei ebenen Verformungszuständen von erheblichem Einfluss, während die Abweichungen bei axial-symmetrischen Spannungszuständen nicht so krass waren.

Ein weiterer Punkt, der Probleme bei der numerischen Berechnung aufwirft, ist ein E-Modul, der gegen Null geht oder sogar negative Werte annimmt. Gerade über dieses Problem ist in den letzten Jahren eine grosse Anzahl von Veröffentlichungen erschienen, u.a. auch HÖEG [24].

Für die Berechnung von normalkonsolidiertem Ton genügt es jedoch, einen positiven, endlichen Wert für E in dem letzten möglichen Lastinkrement anzunehmen, um diese numerische Schwierigkeit zu umgehen. Die Auswirkung dürfte eine geringfügige überschätzung der wirklichen Steifigkeit sein.

Die bisher berechneten Beispiele zeigen den Weg, wie man die FE-Methode praktisch nutzen kann: Indem man die Anwendungsgrenzen der sogenannten einfachen Berechnungsverfahren wissenschaftlich neu, also unter Einbeziehung der Schubverformungen, überprüft.

1.2 Das Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung des Materialverhaltens eines wassergesättigten holozänen Seetons aus dem Bodenseeraum. Insbesondere soll das Verhalten der volumentreuen Gestaltänderung, also bei reiner Scherbeanspruchung, untersucht werden. Damit soll die in der Praxis übliche Berechnung der Anfangssetzungen durch eine verfeinerte Erfassung der Porenwasserdruckverteilung verbessert werden.

Die verschiedenen Einflüsse, die das Spannungs-Verformungsverhalten dieser Böden bestimmen, sind auch von zahlreichen anderen Forschern an regional interessanten Bodenarten schon eingehend untersucht worden [14], [47]. Es hat sich aber gezeigt, dass die Schlussfolgerungen nicht ohne weiteres auf den Bodenseeton übernommen werden können, ganz abgesehen davon, dass zahlreiche immer noch vorhandene Widersprüche oder Unklarheiten in früheren Arbeiten nur durch möglichst breite, auf noch wenig erforschte Bodengruppen bezogenen Untersuchungen aufgelöst werden können.

Daher erschien es sinnvoll, zunächst für die ausgesuchte Bodenart geeignete Beziehungen aufzustellen, um ein Instrument zur Behandlung der ausserordentlich unangenehmen Setzungsprobleme im Bodenseeraum in die Hand zu bekommen. Dazu wurde ein umfangreiches wissenschaftliches Untersuchungsprogramm für Laboruntersuchungen am Seeton durchgeführt. Dreiaxiale Scherversuche unter konsolidierten undrainierten Bedingungen (CU) mit verschiebungsgesteuerter Belastung wurden benutzt, um analytische Beziehungen zwischen den Oktaederspannungen und den Porenwasserüberdrücken aufzustellen.

Mit dem so entwickelten Materialgesetz und dem Porenwasserdruckansatz wurden dann einige ausgewählte praktische Beispiele (z.B. die Lastplatte auf weichem Ton) mit Hilfe eines FE-Rechenprogrammes im Hinblick auf die entstehenden Sofortsetzungen und auf Porenwasserüberdrücke untersucht. Folgende Einzelfragen sind in diesem Zusammenhang zu lösen:

a) Wie erhält man Bodenproben, die das Materialverhalten des ungestörten Bodens im Feld repräsentieren können?

Durch Aufbereitung von gestörtem Boden zu einer Boden-WasserSchlämme mit einem Wassergehalt weit über der Atterberg'schen
Fliessgrenze und durch eindimensionale Vorkonsolidation dieser Schlämme in einem Grossoedometer erhält man eine Bodenprobe von grosser Homogenität, die das Verhalten des ungestörten Tones gleicher Entnahmetiefe gut simuliert. Auftretende
Störungen beim Ausbau der Probe aus dem Grossoedometer und
beim Herstellen der kleineren Proben für die Dreiaxialversuche
werden zum grössten Teil durch Rekonsolidierung bis zu den
Spannungen, wie sie im Feld bei vergleichbarer Tiefe herrschen,
wieder beseitigt. Trotzdem bleibt der Einfluss der "Alterung"
und einer eventuell vorhandenen Anisotropie beim Vergleich
von Labor- und Feldversuchen stets zu beachten.

b) Wie kann man von der Kenntnis des Materialverhaltens eines kleinen Bodenelementes auf das Verhalten einer ganzen Bodenschicht schliessen?

Durch die Berücksichtigung des nichthomogenen, nichtlinearelastischen, anisotropen Materialverhaltens und der wirklichen Randbedingungen mit der FE-Methode und durch Vergleich der gewonnenen Ergebnisse mit sorgfältigen Messungen im Feld, kann man der Lösung dieser Frage nahekommen (s.a. DUNCAN und CHANG[6], BURLAND [23], HÖEG [24])

c) Wie kann man eine Probe im Labor unter dem gleichen Spannungszustand (z.B. ebener oder axialsymmetrischer Verformungszustand, Drehung der Hauptspannungen, Be- oder Entlastung) abscheren, wie ein vergleichbares Bodenelement im Feld beansprucht wird?

Es wird kaum möglich werden, einen allgemeinen räumlichen Spannungszustand sowohl in situ zu messen, als auch im Versuch wirklichkeitsgetreu nachzuahmen. Deswegen bleibt man darauf angewiesen, durch Versuche mit eindeutig bestimmbaren Randbedingungen (siehe z.B. die Arbeiten von HAMBLY (1972) [28], MITCHELL [16], LO [19]) Kriterien zu erarbeiten, die den Aussagewert der konventionellen Dreiaxialversuche – etwa ihre Übertragbarkeit auf den ebenen Verformungszustand – zu beurteilen erlauben.

Das Vorhandensein solcher Kriterien wird in dieser Arbeit auf Grund der ausgewerteten Literatur unterstellt, da in unserem Institut keine experimentelle Möglichkeit bestand, andere Scherversuche als Dreiaxialversuche durchzuführen.

Die Arbeit befasst sich mit der Ingenieuraufgabe, die erforderlichen Untersuchungen und Lösungswege so auf ein wirtschaftlich vernünftiges Mass einzuschränken, dass noch für die Praxis vertretbare Ergebnisse erhalten werden können.

2. Versuche und Versuchstechnik

Zur Messung des Verformungsverhaltens und der bei der Verformung entstehenden Porenwasserüberdrücke wurden an einem jungen Seeton aus dem Bodenseeraum sowohl unkonsolidierte und undrainierte (CU) Scherversuche in einem konventionellen Dreiaxialgerät an Proben von 3,6 cm Durchmesser durchgeführt. Die axiale Verschiebung des Druckstempels wurde eingeprägt; die axiale Druckkraft im Sockelder Versuchszelle unter der Probe gemessen. Wegen der technischen Einzelheiten wird auf Abschnitt 2.2.3 hingewiesen.

Die Art des Seetons (geringe Plastizitätszahl) und die Art der Aufbereitung rechtfertigen die Annahme eines weitgehend isotropen Verhaltens des Bodens. Daher wird für die numerische Berechnung ein nichtlinear-elastisches isotropes Materialver-halten mit nichtlinearem Porenwasserdruckansatz angenommen. Eine gewisse Anisotropie im Scherverhalten soll durch zur Konsolidationsrichtung unterschiedlich geschnittene Proben untersucht werden.

Die Belastung soll monoton zunehmen, wobei der Seeton ein sich ständig bis zu einer maximalen Schubspannung verfestigendes Materialverhalten zeigt. Die geometrischen Randbedingungen entsprechen denen des rotationssymmetrischen Verformungszustandes mit endlichen Rändern.

Ein Einfluss der Drehung der Hauptspannungen sowie der Scherfestigkeit wird, abgesehen von der qualitativen Vergleichsuntersuchung an horizontal geschnittenen Proben, vernachlässigt.

2.1 Beschreibung des zu untersuchenden Seetons

In der Nähe von Konstanz wurden aus mehreren Bohrungen gestörte Proben von jungem Seeton entnommen. Für diesen Boden wurden die folgenden Mittelwerte der bodenmechanischen Kenngrössen ermittelt (in Klammer zum Vergleich Werte für den Lindauer Seeton; Smoltczyk und Thamm (1973) [39]):

Wichte der festen Bestandteile:	$\gamma_s = 2,72 \text{ Mp/m}^3$	(2,65)
Fliessgrenze:	$w_{r_1} = 37 \%$	(66)
Ausrollgrenze:	w _D = 20 %	(36)
Plastizitätszahl:	I _p = 17 %	(30)
Aktivitätszahl:	$I_{\lambda}^{P} = 0.5$	(0,85)

Im Sinne der Plastizitätskarte von Casagrande handelt es sich also bei dem vorliegenden Boden um einen anorganischen Ton geringer bis mittlerer Plastizität (CL). Die Aktivitätszahl ${\rm I_A}$ und auch die hohe Wichte lassen gewisse Rückschlüsse auf die Mineralbestandteile zu (LAMBE UND WHITMAN (1969 [34]), die danach zum grössten Teil aus Illiten und Kaoliniten bestehen dürften.

2.2 Versuchstechnik und -durchführung

2.2.1 Probenvorbereitung

Der Versuchsboden, der in gestörter Form vorlag, wurde zunächst unter Zugabe von destilliertem Wasser aufgeschlämmt und mit einem Rührwerk gut durchmischt. Dabei wurde so viel Wasser zugegeben, dass sich eine Schlämme mit einem Wassergehalt von etwa der doppelten Atterberg'schen Fliessgrenze ergab w ~ 74 %.

Zur eindimensionalen Vorkonsolidation wurde nun eine grosse

Dreiaxialzelle verwendet, in die ein Einbauzylinder von 10,38 cm Durchmesser und 27,5 cm Gesamthöhe gestellt wurde. Der Einbauzylinder entspricht in seinen Abmessungen etwa einem herkömmlichen Bohrstutzen. Nach der Entlüfung der oberen und unteren Filtersteine wurde der Einbaustutzen, dessen innere Wandung zur Reibungsminderung mit einer Teflonschicht versehen war, über den Sockelansatz der Grundplatte gestülpt. Zur schnelleren Konsolidierung wurden an den inneren Wandungen noch Filterstreifen angebracht. In das vorbereitete Gerät wurde der Bodenbrei eingebracht. Nach dem Aufsetzen des oberen Druckstücks und dem Anbringen des äusseren durchsichtigen Zellmantels wurde die Zelle unter Druckluft gesetzt.

Die Vorkonsolidationsspannung o' betrug dann je nach Versuch 0,6 bis 1,95 kp/cm², wobei die tatsächliche Konsolidationszeit im Mittel etwa der zwei- bis dreifachen bei beidseitiger Entwässerung erforderlichen Konsolidationszeit entsprach, um sicher zu gehen, dass alle entstandenen Porenwasserüberdrücke nahezu abgebaut waren.

Nach dem Ausbau des Zylinders und vorsichtigem Auspressen des Bodens erhielt man Probenkörper von gleichmässiger Beschaffenheit, die eine Rohwichte γ von im Mittel 1,9 Mp/m³ und je nach Vorkonsolidation Wassergehalte w zwischen 23 % und 38 % hatten, bei Porenzahlen e zwischen 0,65 und 1,05 und fast 100-prozentiger Wassersättigung.

Wassergehaltsprofile über die Länge und Breite der ausgebauten Proben zeigten an den Rändern z.T. geringere Wassergehalte als im Innern der Probe, was auf Ausbaustörungen und auf die trotz Teflonbeschichtung noch vorhandene Mantelreibung im Einbauzylinder zurückzuführen ist. So konnten etwa i.M. nur 3 bis 4 Drei-axialproben von 3,6 cm Durchmesser und 9,0 cm Höhe aus dem Innern der Grossproben hergestellt werden, um möglichst gleichmässige Wassergehalte in der einzelnen Probe zu erhalten.

2.2.2 Dreiaxialgerät und Messtechnik

Alle Versuche wurden in einem Versuchsstand mit verschiebungsgesteuerten Druckstempeln gefahren, der für 3 Zellen und für Proben von 3,6 cm Durchmesser eingerichtet war. Der Stand und die Zellen wurden von der Firma Paul Stenzel, Hamburg, hergestellt. Die Zellen wurden nach einer Idee von Prof. Smoltczyk gegenüber der Standardausführung durch den Einbau einer Druckmessdose der Firma Hottinger Baldwin Messtechnik, Darmstadt, (C2M für 0,5 Mp Nennlast;) in die Sockelplatten der Dreiaxialzellen modifiziert, um die Axialkräfte zu messen.

Die Genauigkeit der Druckmessdose beträgt \pm 3 digits bei der angegebenen Nennlast von 0,5 Mp, d.s. bei einer Empfindlichkeit von 2 mV/V ungefähr \pm 0,3 kp.

Für die Messung der Porenwasserüberdrücke wurde ebenfalls ein Druckmessgeber von Hottinger (P3M für 20 kp/cm 2 Nenndruck) verwendet. Die Messgenauigkeit betrug hier bei dem angegebenen Nenndruck von 20 kp/cm 2 und einer Empfindlichkeit von 2 mV/V \pm 0,015 kp/cm 2 .

Die Druckgeber für Kraft und Porenwasserdruck arbeiten nach dem Prinzip der Dehnungsmessstreifen (DMS). Der verwendete Weggeber von Hottinger (WTK 10 mit Nennweg ± 10 mm;) arbeitet dagegen als induktiver Geber; seine Genauigkeit im Vergleich mit einer konventionellen Messuhr beträgt nach einer Eichung noch etwa ± 0,1 mm.

Zwei verschiedene Arten von Drucksystemen wurden während der Versuche angewendet. Das eine System verwendete Druckluft mit einem maximalen Nenndruck von 15 - 20 kp/cm². Für die Regelung der Druckluft wurden Präzisionsdruckluftminderer der Firma Fairchield Hiller, Wiston Salem, North Carolina, USA (Genauigkeit: 12 mm Wassersäule) verwendet. Das andere Drucksystem arbeitete mechanisch, wobei ein entweder weg- oder kraftgesteuerter Belastungsrahmen axial auf den Druckstempel der Dreiaxialzelle wirkte.

Mit den Präzisionsdruckluftminderern wurden über einen Ausgleichsbehälter der Seitendruck, der bei einem Stand zusätzlich mit einem Druckmessgeber (P3M; 20 kp/cm²) gemessen wurde,
und der Sättigungsdruck ("back pressure"), der über einen Volumenmessblock im Innern der Probe aufgebracht wurde, geregelt.

Für die Regelung des Zuflusses von destilliertem Wasser wurde ein einfacher Druckluftregler verwendet.

Bei den konventionellen Dreiaxialzellen wird die axiale Druckkraft ausserhalb der Zelle am Kopf des Druckstempels gemessen. Dadurch ist man bei genauen Messungen gezwungen, die Reibung des Stempels in der Führung durch aufwendige Massnahmen möglichst weit auszuschalten.

Bei den hier verwendeten Zellen wurde das Problem dadurch vermieden, dass die Kraft innerhalb der Zelle in der Sockelplatte gemessen wurde. Der kurze Stempel zur Kraftübertragung im Sokkel legt keinen nennenswerten Weg zurück. Deshalb muss die Druckdose auch mit einer gewissen Vorspannkraft gegen den kurzen Stempel gepresst werden.

Eine Systemdarstellung des Dreiaxialgerätes zeigt die Abb. 1, wobei sich die Darstellung auf einen Versuchsplatz beschränkt.

Die elektrischen Messgrössen werden von den einzelnen Gebern über Kabelverbindungen zu einem Messschrank der Firma Hottinger geleitet und dort in mechanische Grössen umgesetzt. Das Schema der elektronischen Messeinrichtung zeigt Abb. 2, wobei die Ausgabe der Daten wahlweise auf einem Kienzle-Drucker oder auf Lochstreifen erfolgen kann. Im vorliegenden Fall wurden die Messdaten über Lochstreifen ausgewertet und in einem Rechenprogramm verarbeitet.

2.2.3 Versuchsabläufe

Es wurden insgesamt 39 undrainierte Versuche und ein drainierter Kontrollversuch durchgeführt.

Vor Beginn des Einbaus einer Probe in die Dreiaxialzelle wurde das Porenwasserdruckmessystem sorgfältig entlüftet: Destilliertes Wasser wurde durch sämtliche Leitungen gedrückt, um eventuell eingeschlossene Luftblasen zu entfernen. Die Filtersteine wurden in destilliertem Wasser abgekocht und gelagert. Zwischen Filtersteine und Bodenproben wurde noch nasses Filterpapier eingelegt. Damit war die Dreiaxialzelle für den Einbau der Proben vorbereitet, die wie in [3] beschrieben mit Seitenfilterstreifen

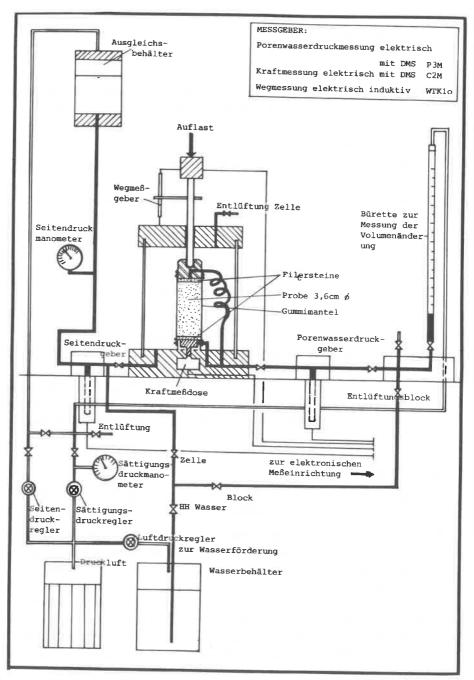


ABB.1: PRINZIP DES DREIAXIALGERATES, Systemskizze eines Standes

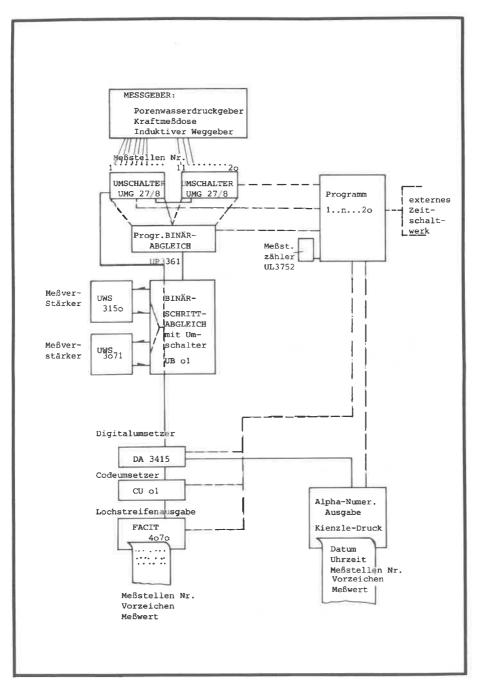


ABB.2: PRINZIP DER EĻEKTRONISCHEN MESSEINRICHTUNG ZUM DREIAXIALGERÄT

(60 % der Gesamtmantelfläche) versehen wurden. Zum Studium der unterschiedlichen Drainagebedingungen der Mantelfläche wurden auch Proben ohne Seitenfilterstreifen und Proben mit der halben Anzahl von Seitenfilterstreifen wie in [3] (30 % der Gesamtmantelfläche) in das Dreiaxialgerät eingebaut.

Nach sorgfältigem Einbau der Proben, dem Überstülpen der Gummimembran über Kopf- und Fussstück und dem Sichern der Gummimembran durch je 2 O-Ringe, wurde der Zellmantel aufgesetzt
und festgeschraubt und die Zelle mit destilliertem Wasser gefüllt und entlüftet. Die Nullmessung der elektronischen Messgeber wurde nun durchgeführt und aufgezeichnet.

Trotz sorgfältigem Einbau kann meist jedoch nicht sichergestellt werden, dass keinerlei Luft zwischen Gummimembran und Probe, sowie zwischen Fuss- bzw. Kopfstück und Probe eingeschlossen ist. Deshalb wurde nun ein gleich grosser Seitenund Sättigungsdruck (1,0 bzw. 2,0 kp/cm²) auf die Zelle und auf die Probe gebracht, der zwei Vorteile hat. Zunächst wird durch den geringen Druckunterschied, der sich zwischen dem Wasserspiegel der Volumenänderungsbürette einstellt (Grössenordnung 0,0035 kp/cm²), die Gummihaut leicht an die Probe gedrückt, und dann wird durch den Sättigungsdruck ein Lösen eventuell vorhandener Luftblasen im Wasser und in der Probe (LOWE und JOHN-SON, (1960) [30] erreicht.

Durch die Art der Herstellung der Proben war bereits eine nahezu vollständige Wassersättigung für die meisten Proben erreicht (Sättigungszahl $S_r=98\div 100$ %).

In diesen Fällen diente eine Anwendung des Sättigungsdruckverfahrens zusätzlich nur zur Stabilisierung des Porenwasserdruckmessystems. Eine Kontrolle der Wassersättigung wurde auch mit
einem sogenannten B-Test (B ist einer der beiden Skempton'schen
Porenwasserdruckparameter) durchgeführt. Bei voller Wassersättigung muss eine Erhöhung des Seitendruckes bei geschlossenem
System eine gleichgrosse sofortige Erhöhung des Porenwasserdruckes zur Folge haben, d.h. es muss B = 1 sein.

Nach der Durchführung des sogenannten B-Tests konnten die Proben mit der ersten Konsolidationsstufe belastet werden.

Die isotrope Konsolidationsphase erfordert die gleichzeitige Erhöhung von axialem und seitlichem Druck $\Delta\sigma_1=\Delta\sigma_3$, was durch die Ausbildung des Druckstückes am Kopf der Probe erleichtert wurde. Die erste Konsolidationsstufe betrug zwischen 0,5 und 1,0 kp/cm², die folgenden Laststufen wurden in geometrischer Progression gesteigert von 1,0 auf 2,0; von 2,0 auf 4,0 kp/cm² etc.

Jede neue Laststufe wurde bei geschlossener Drainage aufgebracht. Nach einer gewissen Zeit zum Ausgleich der entstehenden Porenwasserüberdruckspannungen wurde der Drainagehahn geöffnet und die Volumenänderung manuell an der Bürette als Funktion der Zeit abgelesen. Die Last blieb dann auf der Probestehen, bis etwa 100 % der primären Konsolidation erreicht war.

Bei Konsolidationsbeiwerten c_v von 5,0 bis 12,7 \cdot 10⁻⁴ cm²/sec erhält man für eine 90prozentige Konsolidation entsprechende Konsolidationszeiten von 365 bis 145 min je nach Laststufe.

Um den Abbau der Porenwasserüberdrücke aus einer Laststufe messen zu können, müssen die Proben einseitig entwässert werden. Die Proben wurden dann meistens oben entwässert, während am Fuss der Porenwasserüberdruck gemessen wurde. Der Nachteil dieser Entwässerungsart war die nun längere Konsolidationszeit je Stufe (2270 bis 900 min je nach Laststufe), der Vorteil die genauere Bestimmung des Konsolidationsgrades $\rm U_z$.

Als Richtwert wurde für alle Proben je Laststufe eine Konsolidationszeit von etwa $24^{\rm h}$ (d.s. 1440 min) angenommen. Wenn nach dieser Zeit ein Konsolidationsgrad U $_{\rm Z}$ zwischen 0,95 und 1,0 erreicht war, wurde eine neue Laststufe aufgebracht.

Die letzte Laststufe vor dem Abschervorgang wurde solange auf der Probe gelassen, bis keine nennenswerte Änderung des Konsolidationsgrades $\mathbf{U}_{\mathbf{Z}}$ mehr zu registrieren war. Damit waren die CU-Versuche für den Abschervorgang vorbereitet.

Der aus der letzten Konsolidationsstufe berechnete Konsolidie-

rungsbeiwert c_v kann zur Berechnung der Abscherzeiten t_f bei undrainierten Bedingungen herangezogen werden. BLIGHT (1963) [31] hat für diesen Fall folgende Formel angegeben:

$$t_{f} = \eta \cdot \frac{H^{2}}{c_{y}}$$
 (6)

 η ist ein dimensionsloser Faktor, der die Drainagerandbedingungen berücksichtigt. Bei Proben ohne Seitenfilter ist $\eta=1,6$; mit Seitenfilter $\eta=0,07$.

Generell kann gesagt werden, dass ein Abscheren ohne Drainage etwa 10 mal schneller erfolgen kann, als ein Abscheren mit Drainage.

Aus der Abscherzeit und der Tatsache, dass erstverdichtete Proben etwa bis zu einer Bruchstauchung von 20 % untersucht werden können, kann man sich die zulässigen Abschergeschwindigkeiten v berechnen. Die berechneten Abscherzeiten lagen dabei zwischen 450 und 20 min je nach Laststufe. Die maximale Abschergeschwindigkeit betrug 0,04 bis 0,05 mm/min, die in einer Versuchsserie jedoch unterschritten wurde (0,01 und 0,02 mm/min), um ein sorgfältiges Messen der entstehenden Porenwasserüberdrücke gewährleisten zu können. Dabei ergaben sich Abscherzeiten von 6 bis 30 je Versuch.

Vor Beginn des Abscherens wurden die bodenmechanischen Kennwerte (Wassergehalt, Porenzahl, Seitendruck etc.) ermittelt (siehe Tabellen im Anhang).

Bei konstantem Seitendruck σ_{3c}^{\prime} (für isotrope Konsolidation gleich σ_{occ}^{\prime}) wurde nun unter undrainierten Bedingungen eine konstante Verschiebungsgeschwindigkeit v auf die Proben aufgebracht. Nach dem Einstellen von Endausschaltern (bei Erreichen von 20 % Bruchstauchung der Probe) und von Messzyklen mit Hilfe einer Zeitschaltuhr, konnten 3 Proben gleichzeitig vollautomatisch abgeschert werden. Die Messdaten wurden dabei auf Lochstreifen, zur Auswertung mit einem Rechenprogramm, und mit einem Kienzle-Drucker zur Kontrolle auf Papierstreifen gespeichert.

Das Rechenprogramm SPADR (siehe Anlage A) enthält eine Korrekturberechnung der Spannungen im mittleren Drittel der Probe, durch die die Änderung der Probenfläche während des Versuches berücksichtigt wird. Dabei wird angenommen, dass die Probe während des Versuches kreisrund bleibt. Die Gültigkeit dieser Annahme hängt sehr stark von der Endflächenreibung am Kopf bzw. Fuss der Probe und von der Art der Änderung der Versuchsrichtung im Verhältnis zur Konsolidationsrichtung ab. BHASKARAN [18] stellte z.B. eine elliptische Fläche für horizontal vorgeschnittene Proben fest).

Mögliche experimentelle Fehler können drei Hauptursachen haben:

 a) Volumen- und Gewichtsmessungen, einschliesslich der Bestimmung der Probenabmessungen, des Gewichtes der Probe, des Wassergehaltes, etc.

Die Gewichtsmessungen wurden mit einer elektrischen Waage (200 g Nenngewicht) mit einer Genauigkeit von ± 0,01 g durchgeführt. Die Bestimmung der Probenabmessungen erfolgte mit Hilfe einer Schablone, die aus zwei Halbschalen besteht. Die Abmessungen wurden anschliessend noch mit einer gewöhnlichen Schublehre auf 1/10 mm Genauigkeit kontrolliert. Die erreichbare Genauigkeit bei der Volumenbestimmung beträgt etwa rund 1 % vom Gesamtvolumen.

Mögliche Störungen können vor allem durch den Einbau der Proben in die Dreiaxialzelle entstehen: Kleinere Stauchungen, vor allem bei sehr weichen Proben, und unterschiedliche Wassergehalte am Rand undim Innern der Probe.

b) Kraftmessungen zur Berechnung der aufgebrachten Spannungen und Druckmessungen, z.B. Porenwasserüberdrücke.

Die Genauigkeit der Porenwasserdruckgeber wurde bei geringen Drücken (bis 0,25 kp/cm²) in einem Standzylinder voll Wasser überprüft. Dabei entsprach die gemessene Spannung genau der aus der Höhe des Wasserspiegels berechneten Spannung (1 m Wassersäule entsprach 25 digits). Bei höheren Drücken wurde die Eichung mit Wiko-Manometern Kl. 6 (bis 16 kp/cm²) und

einer Ablesegenauigkeit von O,1 kp/cm² überprüft. Es konnten keine nennenswerten Abweichungen festgestellt werden, was den Schluss zulässt, dass die verwendeten Porenwasserdruckgeber zufriedenstellend arbeiten.

Die Kraftmessdose wurde schliesslich nach dem Einbau in die Sok-kelplatte durch aufgelegte Gewichte geprüft und ausserdem mit Hilfe der mit Wasser gefüllten Dreiaxialzelle geeicht. Dabei ergaben Be- und Entlastungszyklen eine maximale Nullpunktverschiebung von \pm 0,3 kp.

c) Verformungsmessungen während der Konsolidationsphase und während des Abschervorganges.

Die Volumenänderungen wurden mit Hilfe einer Bürette von $10~{\rm cm}^3$ Inhalt gemessen, wobei die Messskala in 0,1 cm 3 Teilstriche unterteilt war. Die Ablesegenauigkeit beträgt etwa 0,02 cm 3 .

Die elektrischen Weggeber wurden mechanisch mit einer normalen Wegmessuhr geeicht. Dabei ergaben gegenläufige Verschiebungsmessungen eine maximale Abweichung von \pm 0,1 mm. Da man nicht unmittelbar beobachten kann, ob der Stempel tatsächlich im Kopfstück satt anliegt, liegt hier die grösste Gefahr für experimentelle Fehler. Um diesen Fehler auszuschalten, wird eine kleine Axialkraft auf die Probe gebracht. Wenn die Kraftmessdose diese Kraft unmittelbar anzeigt, ist gewährleistet, dass der Stempel im Kopfstück anliegt.

Die angedeuteten Fehlerquellen wirken sich vor allem bei klei-neren Konsolidationsspannungen σ_{3c} aus, da dann ihr prozentualer Anteil 10 % übersteigen kann.

2.3 Versuchsergebnisse

2.3.1 Konsolidationsergebnisse

Die Volumenänderungsdaten der einzelnen Konsolidationsstufen jedes Versuches wurden zur Ermittlung der Druckporenzahldiagramme herangezogen. Die Porenzahl e, aufgetragen über der effektiven Oktaedernormalspannung σ'_{oc} für alle $C_{\dot{1}}$ U-Versuche, zeigt Abb. 3.

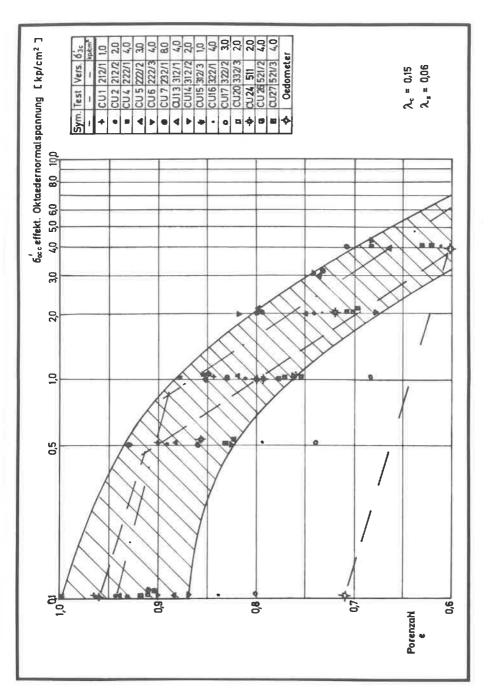


ABB.3: DRUCK-PORENZAHL-DIAGRAMM FÜR ALLE C₁U-VERSUCHE

Die Daten für alle Versuche fielen mit Ausnahme von 2 Versuchen in den schraffiert begrenzten Bereich der Abbildung. - Der Kompressionsbeiwert C_{c} , der repräsentativ für alle Versuchsdaten ist, betrug 0,35, das entspricht einem Beiwert λ_c = 0,15 im natürlich-logarithmischen Massstab. Zum Vergleich sei der Kompressionsbeiwert $C_c = 0,44$ des Lindauer Seetones genannt [39]. Der höhere Wert von C_c zeigt, dass der Lindauer Seeton, verglichen mit dem Konstanzer Seeton, eine höhere Zusammendrückbarkeit hat, was wegen der höheren Plastizität zu erwarten war. In Abb. 3 sind ausser den C, U-Versuchen die Ergebnisse eines Oedometerversuches mit dem gleichen Material eingetragen. Man sieht, dass der Oedometerversuch nahezu denselben Kompressionsbeiwert $C_{_{\mathbf{C}}}$ liefert wie die isotrop konsolidierten Dreiaxialproben. Aus den Ent- und Wiederbelastungskurven des Oedometerversuches wird daher auf den Schwellbeiwert C des Seetons rückgeschlossen. C wurde dabei zu 0,14 ermittelt, das entspricht einem Beiwert λ_s = 0,06 im natürlich-logarithmischen Massstab.

2.3.2 Ergebnisse von C_i U-Versuchen

Um den Verlauf der effektiven Spannungen in der Spannungsebene, den "Spannungspfad", unter undrainierter Belastung untersuchen zu können und um die Grösse der totalen Scherfestigkeit genau zu verfolgen, wurde eine Reihe von C_iU-Versuchen (isotrop konsolidiert – undrainiert) mit Porenwasserdruckmessungen durchgeführt.

Die bodenmechanischen Kennwerte und die massgebenden Werte vor dem Beginn des Abscherens sind für alle Versuche in Tabelle I (s. Anhang) enthalten. Die Versuche wurden unter verschiedenen effektiven Spannungen $\sigma'_{1c} = \sigma'_{3c}$ isotrop konsolidiert, das bedeutete, dass die Wassergehalte unmittelbar vor dem Abscheren je nach Konsolidationsspannung zwischen 19,4 und 32,6 % variierten.

Das Verhältnis O.C.R. von Vorbelastung zur isotropen Konsolidationsspannung $\sigma'_{vm}/\sigma'_{3c}$ bewegte sich dabei mit Ausnahme von 2 Versuchen, die O.C.R.-Werte von 1,9 bzw. sogar 5,9 hatten, um Werte zwischen O,17 und 1,22. Fast alle Versuchsproben waren

daher als nicht- oder nur leicht vorbelastete Böden anzusprechen.

Unterschiedlich grosse Sättigungsdrücke (1,0 bis 4,0 kp/cm²) sollten die Frage klären helfen, ob diese zu Abweichungen bei der Ermittlung der Scherfestigkeit führen, und unterschiedlich grosse Verschiebungsgeschwindigkeiten (0,01 bis 0,05 mm/min) sollten diesen Einfluss auf die Messung der Porenwasserüberdrücke deutlich machen.

Zu diesen letzteren Fragen lässt sich vorweg folgendes feststellen:

a) Unterschiedlich grosse Sättigungsdrücke können unter sonst gleichen Bedingungen einen Einfluss auf die Grösse der Scherfestigkeit haben. Dieser Einfluss ist nach SANKARAN (1973) [44] besonders stark bei sensitiven, normal konsolidierten Tonböden.

Es konnten hier jedoch nur Vergleiche zwischen Sättigungsdrücken von 1,0 und 2,0 kp/cm² herangezogen werden, da die Versuche mit Sättigungsdrücken von 4,0 kp/cm² überkonsolidierungsverhältnisse von ungefähr 2 bzw. 6 aufwiesen. Ein Vergleich (z.B. von Versuch CU 19 mit CU 23) zeigte eine Abnahme der Scherfestigkeit bei gleicher Porenzahl um 5 bis 10 % bei Zunahme des Sättigungsdruckes auf 2,0 kp/cm². Auch bei anderen vergleichbaren Versuchen konnte eine ähnliche Abnahme festgestellt werden. Die relativ geringe Abnahme der Scherfestigkeit lässt den Schluss zu, dass der vorliegende Boden ein schwach sensitiver Ton im Sinne von [44] ist.

Vor einer Anwendung von zu hohen Sättigungsdrücken ist wegen der dabei zu erwartenden interpartikulären Störungen daher abzuraten. Für die weiteren Versuche wurde deswegen einheitlich aus den in Abschnitt 2.2.3 genannten Gründen ein Sättigungsdruck von maximal 1,0 kp/cm² angewendet.

b) Die gewählten Abschergeschwindigkeiten entsprechen den berechneten Minimalgeschwindigkeiten in Abschnitt 2.2.3. Bei der Variation dieser Abschergeschwindigkeiten zwischen 0,01 und 0,05 mm/min konnte so gut wie kein Einfluss auf die Grösse der Scherfestigkeit festgestellt werden. Ein Vergleich der effektiven Spannungspfade (z.B. Versuch CU 4 mit CU 26) zeigte jedoch, dass bei geringerer Abschergeschwindigkeit am Anfang etwas grössere Porenwasserüberdrücke gemessen wurden.

Um die Reproduzierbarkeit der Versuche und damit eventuelle gerätebedingte Einflüsse feststellen zu können, wurden Versuchsabläufe unter gleichen Bedingungen auf anderen Versuchsplätzen wiederholt. Die Abweichungen der Ergebnisse voneinander (z.B. CU 7 mit CU 8, sowie CU 26 mit CU 27) sind so gering, dass sie vernachlässigt werden können.

Eine Zusammenfassung aller Ergebnisse der $C_1^{U-Versuche}$ enthält Tabelle II(s. Anhang).

Trägt man die effektiven Spannungspfade in einem $(s_a^i; t_a)$ -Diagramm auf, wobei

$$\mathbf{s}_{\mathbf{a}}^{\bullet} = \frac{\sigma_{1}^{\bullet} + \sigma_{3}^{\bullet}}{2} \tag{7}$$

und

$$t_a = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \tag{8}$$

(Index "a" bedeutet dabei "Abscheren in Kompression"), dann erhält man einander mehr oder weniger ähnliche Linien konstanten Wassergehaltes.

Die Verbindungen der Bruchpunkte liefert die sogenannte Bruchgerade mit dem Neigungswinkel $_{\beta}$ und einem konstanten Abschnitt b auf der Deviatorachse t $_{a}$. Durch Umrechnung erhält man die effektiven Scherparameter c'und $_{\varphi}$ ' der Mohr-Coulomb'schen Bruchbedingung

$$sin\phi'=tan\beta$$
 (9)

und

$$c' = \frac{b}{\cos \phi'} \tag{10}$$

Mit Hilfe des effektiven Reibungswinkels ϕ' kann man nun noch die von Roscoe [22] eingeführte Materialkonstante M berechnen:

$$M = \frac{6 \cdot \sin \phi'}{3 - \sin \phi'} \tag{11}$$

Die Auswertung aller Versuche (Abb. 4) ergab die folgenden Scherparameter (in Klammern vergleichbare Werte des Lindauer Seetones [39]):

$$c' = 0.024 \pm 0.006 \text{ kp/cm}^2$$
 (0)
 $\phi' = 27^0 \pm 2^0$ (29,5)
 $M = 1.065 \pm 0.04$ (1,18)

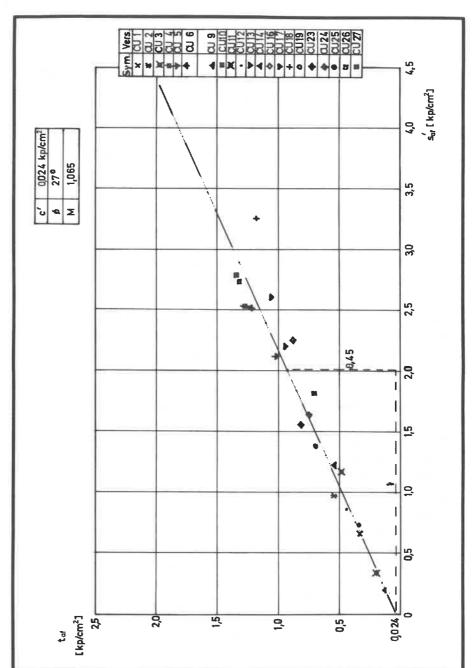
Die Ergebnisse wurden mit einem linearen Korrelationsprogramm ermittelt. Der Korrelationsfaktor betrug 0,95.

Um anisotropes Verhalten des Bodens und mögliche Auswirkungen auf die Scherfestigkeit zu untersuchen, wurden auch quer zur Hauptkonsolidationsachse geschnittene Proben (z.B. CU 15 und CU 20) verwendet. Ein Vergleich mit längs zur Hauptkonsolidationsachse geschnittenen Proben unter vergleichbaren Bedingungen (CU 12 mit CU 15, sowie CU 19 mit CU 20) zeigte kaum nennenswerte Abweichungen. Der effektive Reibungswinkel der quer zur Hauptkonsolidationsachse geschnittenen Proben ist etwa um 0,5° grösser, dafür ist die effektive Kohäsion etwas geringer als bei längs zur Hauptkonsolidationsrichtung geschnittenen Proben.

Natürlich müsste dieser Vergleich durch Reihenuntersuchungen erhärtet werden. Doch in der Tendenz zeigt sich eine Übereinstimmung mit den Ergebnissen von MITCHELL [16], der an normalverdichteten Kaolinproben nur geringfügige Abweichungen vom Isotropieverhalten feststellte. Die Annahme eines isotropen Verhaltens des jungen Seetones erscheint daher vorbehaltlich weiterer Untersuchungen zunächst berechtigt.

Ein wichtiger Aspekt der C_i^U -Versuche war die Ermittlung der Scherfestigkeit des undrainierten Bodens c_i .





BJERRUM [5] schlug z.B. vor, aus C_i U-Versuchen mit Konsolidationsspannungen σ_{3c}^i , die denen in der Natur in vergleichbarer Entnahmetiefe entsprechen, den cu-Wert zu bestimmen.

LAMBE [34] wählte ein Verhältnis $\sigma'_{vm}/\sigma'_{3c}$ von 0,5, um den c_{u} -Wert zu ermitteln. Bei kleiner werdendem Verhältnis soll c_{v} nach neueren Untersuchungen [5] jedoch wieder abnehmen.

Trägt man die ermittelte totale Scherfestigkeit c_u in Abhängigkeit von der Vorbelastung σ_v auf, mit der aus gestörtem Seeton Proben hergestellt wurden, dann erhält man eine Zunahme von c_u mit σ_v . Über die effektive Wichte γ' kann man sich die zu dieser Vorbelastung gehörende Tiefe z errechnen. Trägt man die ermittelte totale Scherfestigkeit über dieser Tiefe z auf (Abb. 5), so zeichnet sich eine Tendenz mit der Tiefe zunehmender Scherfestigkeit ab, die man in Abhängigkeit von der Vorbelastung durch die lineare Gleichung

$$c_{\mathbf{u}} = c_{\mathbf{u}_0} + c_{\mathbf{p}} \cdot \sigma_{\mathbf{v}}^{t} \tag{12}$$

beschreiben kann.

Die mit Hilfe einer linearen Korrelationsrechnung gefundenen Konstanten sind:

$$c_{u_0} = 0.04 \pm 0.005 \text{ kp/cm}^2$$
 $c_p = 0.18 \pm 0.04$
 $\gamma' = 0.90 \text{ Mp/m}^3$

Der Gültigkeitsbereich für die Gleichung 12 erstreckt sich über eine Tiefe von 7,0 bis 22,0 m. Für Tiefen bis zu 7,0 m kann ein konstanter c_u -Wert von etwa 0,17 kp/cm² angesetzt werden.

Der Anfangstangentenmodul E ist nach Ansicht vieler Autoren ([5] , [17] , [24]) linear abhängig von der totalen Scherfestigkeit c_n :

$$\mathbf{E}_{\mathbf{n},\mathbf{i}} = \mathbf{C} \cdot \mathbf{c}_{\mathbf{n}} \tag{13}$$

Der Faktor C aus Gleichung 13 hat auf Grund von Versuch CU 25 einen Wert von 380. Dieser errechnete Wert erscheint deshalb

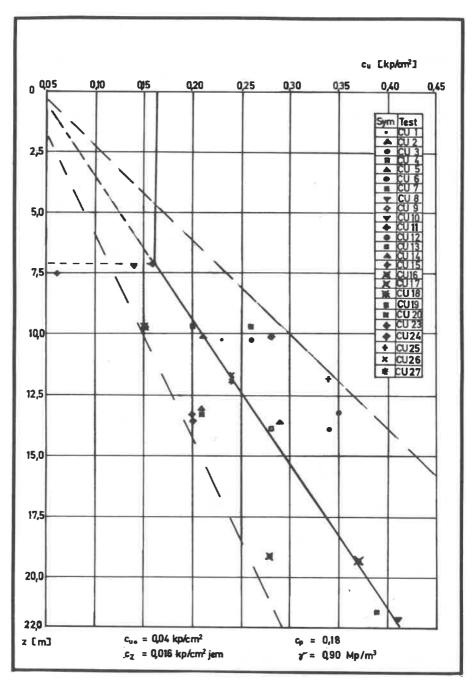


ABB.5: UNDRAINIERTE SCHERFESTIGKEIT AUS C $_{\mathtt{i}}$ U-VERSUCHEN ALS FUNKTION DER TIEFE z

repräsentativ für den untersuchten Seeton zu sein, weil in Versuch CU 25 die Vorkonsolidationsspannung in etwa gleich der isotropen Konsolidationsspannung ist.

Für die Berechnung der totalen Scherfestigkeit und der Anfangstangentenmoduli \mathbf{E}_{ui} werden daher folgende Materialwerte herangezogen:

$$c_{u_0} = 0.05 \text{ kp/cm}^2$$
 $c_p = 0.18$
 $c = 380$
 $\gamma' = 0.90 \text{ Mp/m}^3$
 $c_a = 7.0 \text{ m}$

Diese Werte werden vereinfachend für die Beschreibung der gesamten nichthomogenen Tonschicht angesetzt, d.h. ihre Scherfestigkeit nimmt mit der Tiefe z gleichmässig zu.

2.3.3 Spannungsverformungscharakteristiken

Die Kenntnis des undrainierten Spannungsverformungsverhaltens ist die Voraussetzung für die Ermittlung der Anfangssetzungen.

Bei Wahl eines hyperbolischen Ansatzes für das Spannungsverformungsverhalten kann man den zu jedem Spannungszustand zugehörigen Tangentenmodul \mathbf{E}_{ut} (nach DUNCAN und CHANG [6]) wie folgt berechnen:

$$E_{ij} = (1 - R_f \cdot S)^2 \cdot E_{ij}$$
 (14)

wobei

$$S = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2 \cdot c_n} \tag{15}$$

die Scherzahl ist. $R_{
m f}$ ist ein konstantes Verhältnis zwischen der Scherfestigkeit und dem Asymptotenwert an die Spannungshyperbel. Damit kann dann der Anfangszustand bei der Belastung eines wassergesättigten Bodens berechnet werden.

Trägt man die aus den C_1 U-Versuchen ermittelten Scherzahlen S über den axialen Dehnungen ε_1 auf,erhält man Abb.6. Der schräffierte Bereich umschließt mit Ausnahme von drei Versuchen (CU 11,CU 13,CU 25) alle Versuchskurven. Diese Kurven zeigen eine Abhängigkeit von der Konsolidationsspannung σ_{3C}^{\prime} , die näher untersucht werden soll. Dazu wird die durch die isotrope Konsolidationsspannung σ_{3C}^{\prime} dividierte Scherspannung $\sigma_{1}^{-}\sigma_{3}^{-}$ über der axialen Dehnung ε_{1}^{-} aufgetragen. Zum Vergleich wurde die Auftragung eines Versuches von LADD |14| mit "Boston blue clay" (B.B.C.) herangezogen (Abb.7).

Der "Boston Ton" wurde ebenso aufbereitet wie der hier untersuchte Seeton und hat in etwa die gleiche Plastizitätszahl I p (I p=15%; w =33%). Der Vergleich ergab eine relativ gute Übereinstimmung mit den Versuchen CU 7 und CU 26, wobei der Brucheinstimmung mit den Versuchen C

wert für $(\sigma_1 - \sigma_3)_f / \sigma_3^*$ bei 0,6 lag.

Der Versuch CU 16 zeigte im übrigen aber ein gänzlich anderes Verhalten, das näher untersucht werden muß. Die Scherfestigkeit im Versuch CU 16 war gegenüber der vergleichbaren Scherfestigkeit aus Versuch CU 26 um 30% geringer, und der Bruchwert lag nur etwa bei 0,45. Der Grund für dieses abweichende Verhalten dürfte in dem Spannungszustand liegen, der vor dem Abscheren in der Probe vorhanden war. Ein Blick in Tabelle I zeigt,daß für Versuch CU 16 die axiale Hauptspannung vor dem Beginn des Abscherens geringer als der Seitendruck ist,d.h. die Probe konsolidierte unter einem geringeren mittleren Normalspannungszustand. Dieser Umstand allein dürfte jedoch nicht ausreichen,um den Unterschied in den Scherfestigkeiten zu erklären. So kam bei Versuch CU 16 noch die Tatsache hinzu, daß ein Sättigungsdruck von 2,0 kp/cm² verwendet wurde,der zu den bereits erwähnten interpartikularen Störungen führen kann, die dann ebenfalls eine Reduzierung der Scherfestigkeit verursachen können.

Aus Abb.8 ist für die Versuche CU 11, CU 14 und CU 18 ein ähnliches Verhalten wie bei Versuch CU 16 festzustellen. Bei diesen Versuchen ist ebenfalls die axiale Hauptspannung vor dem Beginn des Abscherens stets kleiner als der Seitendruck. Die Anfangstangenten an die Versuchskurven der Abb.8 werden

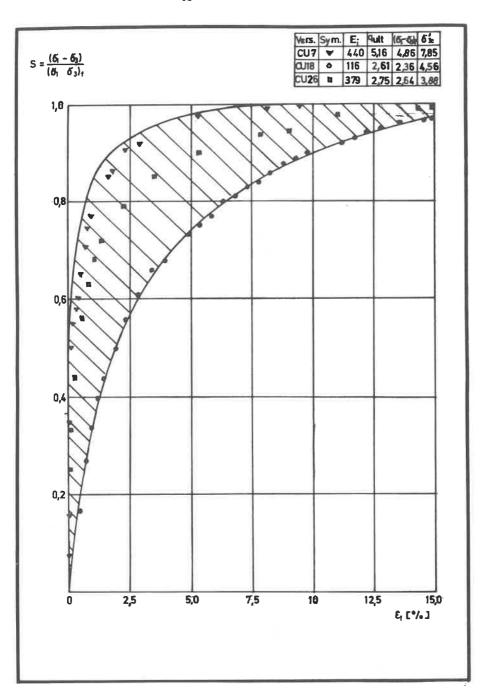


ABB.6: SCHERZAHL S ALS FUNKTION DER DEHNUNG ϵ_1

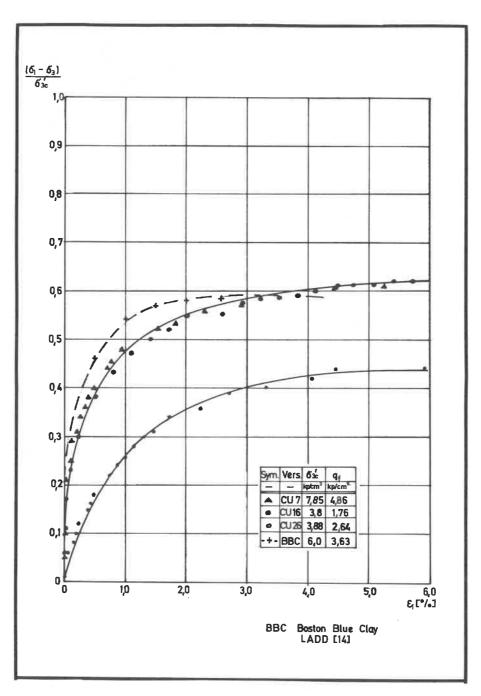


ABB.7: DEHNUNG $\epsilon_{_{1}}$ ALS FUNKTION VON $(\sigma_{_{1}}\text{--}\sigma_{_{3}})/\sigma_{_{3}}^{*}c$

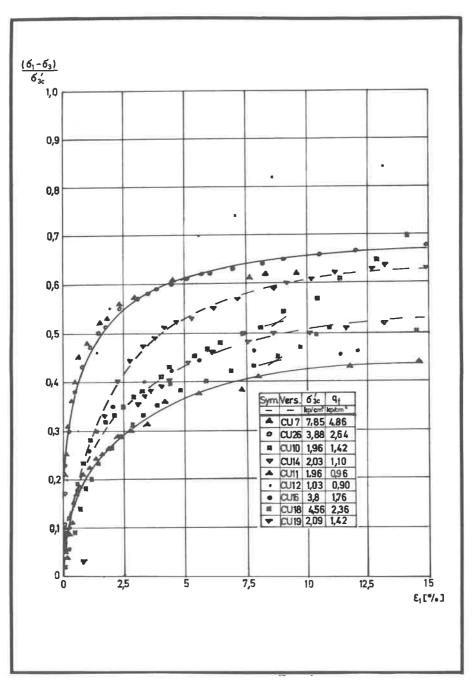


ABB.8: DEHNUNG $\epsilon_{_{1}}$ ALS FUNKTION VON $(\sigma_{_{1}}^{}-\sigma_{_{3}}^{})/\sigma_{_{3}C}^{\dagger}$.

sehr stark von der Tatsache beeinflußt,ob der Stempel vor dem Beginn des Abschervorganges in dem oberen Druckstück eng anliegt oder nicht.Das ist bei der Messung der axialen Verschiebungen von Bedeutung. Die Versuchskurve für den Versuch CU19 zeigt deutlich,daß am Anfang der Stempel nicht im oberen Druckstück anlag. Die Versuchskurven der Versuche CU 10 und auch CU 18 zeigen am Ende der Versuche eine zunehmend ansteigende Tendenz,die aus einem Aufsitzen der Wegklemme am Kopf der Dreiaxialzelle resultiert.

Schwierig ist die sorgfältige Messung von Versuchen mit geringem Konsolidationsdruck. Hier wirken sich eventuell auftretende Fehler prozentual stärker auf die Endergebnisse aus. Für die numerische Berechnungen werden Spannungsverformungsdaten in analytischer Form benötigt. Für die mögliche Beschreibung der Spannungsdehnungskurven von Dreiaxialversuchen wird hier der hyperbolische Ansatz von Kondner [7] benutzt:

$$\frac{\varepsilon_1}{\sigma_1 - \sigma_3} = \frac{1}{E_i} + \frac{\varepsilon_1}{q_{ult}}$$
 (16)

Wenn man die axiale Dehnung ε_1 , dividiert durch die Spannungsdifferenz $(\sigma_1-\sigma_3)$, über der axialen Dehnung ε_1 aufträgt, erhält man nach Gleichung (16) eine Gerade mit den Konstanten $1/E_i$ und $1/q_{ult}$. Ein Mass für die Brauchbarkeit des hyperbolischen Ansatzes zur Darstellung der Testergebnisse ist der Korrelationsfaktor R und das Verhältnis zwischen der tatsächlichen Scherfestigkeit $(\sigma_1-\sigma_3)_f/p$ und dem Asymptotenwert q_{ult} der Hyperbel.

Die Ergebnisse der meisten hier herausgezogenen Versuche lassen sich denn auch sehr gut in dieser Form beschreiben (Abb. 9). Abweichungen von der Geraden in der gewählten Darstellungsform der Abbildungen sind nur am Anfang nach unten und am Ende des Versuches nach oben festzustellen; d.h. für die meisten Versuche kann man zwischen den Dehnungen ε_1 für Scherzahlen S von 0,5 bis 0,95 ziemlich genau eine Gerade einpassen.

Dem Auswerteprogramm SPADR (s. Anhang) ist ein Unterprogramm angeschlossen, das mit Hilfe einer linearen Korrelationsrechnung die Konstanten $1/E_1$ und $1/q_{\rm ult}$ bestimmt. Die errechneten Werte für E_1 und $q_{\rm ult}$, sowie das Verhältnis $R_{\rm f}$, sind in Tabelle II enthalten.

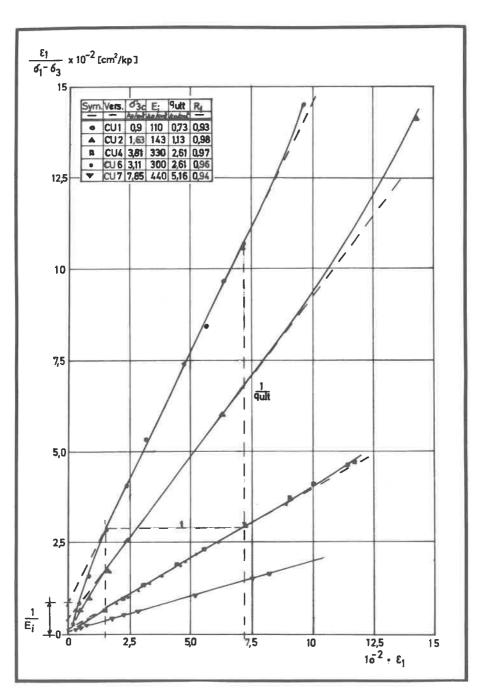


ABB.9: DEHNUNG $\epsilon_{_1}$ ALS FUNKTION VON $\epsilon_{_1}/(\sigma_{_1}-\sigma_{_3})$

2.3.4 Effektive Spannungspfade

Die effektiven Spannungspfade, manchmal auch Linien konstanten Wassergehaltes genannt,haben einen sehr ähnlichen Verlauf. Trägt man die normierten Spannungskoordinaten τ_{oc}/σ'_{occ} und $\sigma'_{oc}/\sigma'_{occ}$ in einem Diagramm auf, dann stellt man fest, dass die Kurven fast identisch sind. Der Wert σ'_{occ} , der zur Normierung benutzt wurde, entspricht dem Wert der Oktaedernormalspannung am Ende der Konsolidation.

Am Anfang der effektiven Spannungspfade zeigen fast alle Versuche einen leichten Anstieg in der effektiven Oktaedernormalspannung. Bei Versuchen, wo diese Erscheinung nicht auftritt, sind offenbar Störungen des Anfangszustandes vorhanden (CU 14, 17, 19).

Die Ergebnisse in Abb. 10 repräsentieren trotz der auftretenden Abweichungen einen einheitlichen normierten effektiven Spannungspfad für isotrope normalkonsolidierte Tonbäden der untersuchten Art. Diese einheitliche Beschreibung der effektiven Spannungspfade ähnelt der von HENKEL [11] für "Weald Clay" angegebenen. Wenn für die effektiven Spannungspfade eine einheitliche Form unterstellt werden kann, dann ergibt ein einzelner undrainierter Versuch den effektiven Spannungspfad für beliebige totale Spannungspfade – vorausgesetzt, die Spannungsvorgeschichte war bei allen Proben die gleiche.

Interessant ist num der Vergleich der vorliegenden Ergebnisse mit den Hypothesen von ROSCOE [22] und BURLAND [23] für isotropen wassergesättigten Ton.

Die Darstellung der berechneten normierten effektiven Spannungspfade der "Cam-clay"-Hypothese, sowie der "modifizierten Cam-clay"-Hypothese mit den ermittelten Materialkonstanten für Seeton M, $\lambda_{_{\rm C}}$, $\lambda_{_{\rm S}}$ und den Vergleich mit den Ergebnissen der Untersuchungen des Seetons zeigt ebenfalls Abb. 10.

Die Kurven entsprechend den beiden genannten Hypothesen erhält man, wenn man in die auf Oktaederspannungen umgerechneten Gleichungen für die "Cam-clay"-Hypothese

$$\ln \left[\frac{\sigma_{\text{OCC}}^{\dagger}}{\sigma_{\text{OC}}^{\dagger}} \right] = \frac{(1 - \lambda s / \lambda c) \cdot \sqrt{3}}{2 \cdot M} \cdot \left[\frac{\tau_{\text{OCC}}}{\sigma_{\text{OCC}}^{\dagger}} \right]$$
(17)

und für die modifizierte "Cam-clay" Hypothese

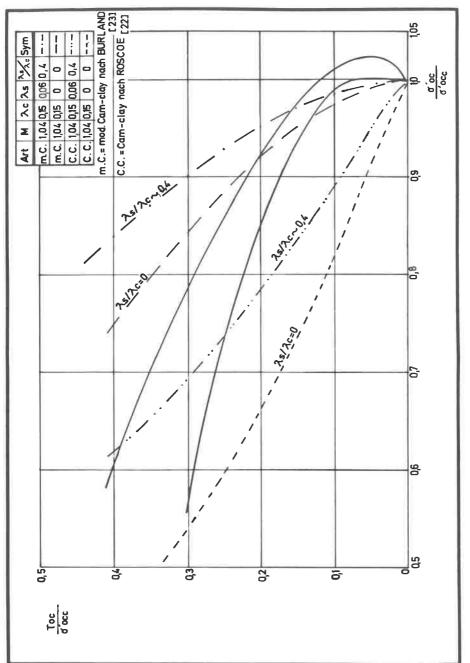


ABB.10: VERGLEICH NORMIERTER EFFEKTIVER SPANNUNGSPFADE MIT "Cam-clay"-HYPOTHESEN

$$\frac{\sigma_{\text{oc}}^{\dagger}}{\sigma_{\text{occ}}^{\dagger}} = \left[\frac{M^{2}}{M^{2} + \frac{9}{4} \cdot (\frac{\tau_{\text{oc}}}{\sigma_{\text{occ}}^{\dagger}})^{2}}\right]^{(1 - \lambda_{\text{S}}/\lambda_{\text{C}})}$$
(18)

die ermittelten Materialwerte:

$$M = 1,04$$

$$\lambda_{c} = 0,15$$

$$\lambda_{s} = 0,06 \text{ bzw. } 0$$

einsetzt.

Der Vergleich zeigt, dass keine der beiden Hypothesen die gemessenen Versuchskurven auch nur annähernd beschreiben kann. Die gemessenen Versuchskurven nehmen vielmehr eine elliptische Form an, für die in Abschnitt 3 eine entsprechende Gleichung aufgestellt werden wird.

2.3.5 Porenwasserdrücke

Der wichtigste Parameter, der bei undrainierten Versuchen gemessen wird, ist der Porenwasserdruck.

Über ihn kann dann der effektive Spannungspfad der Probe bestimmt werden.

Über den Porenwasserüberdruck Δu_f beim Bruch wurde der Porenwasserdruckparameter A_f beim Bruch nach Skempton berechnet.

Die gefundenen Werte für ${\bf A_f}$ variierten zwischen 0,75 und 1,21, wobei die Mehrzahl sehr dicht um 1,0 lag.

Wenn man die gemessenen Porenwasserüberdrücke auf die Spannungsdifferenz $\sigma_{\overline{1}}$ σ_{3} bezieht, erhält man ein Mass für die Variation des Porenwasserdruckparameters A in Abhängigkeit von der axialen Stauchung (Abb. 11). Bei isotropen Verhältnissen müsste sich bei Versuchsbeginn ein theoretischer Wert von 0,33 für A ergeben; die Anfangswerte für A schwanken jedoch um 0,2, was nach MITCHELL [16] auf eine geringe Anisotropie schliessen lässt.

Die Form der erhaltenen Kurven könnte z.B., mit Ausnahme des abfallenden Teils kurz vor dem Bruch, durch eine Hyperbel - ähnlich der von KONDNER [7] - beschrieben werden. Dieser Weg einer Modifizierung der Skempton'schen Gleichung (s. Abschn. 1) wird jedoch nicht eingeschlagen; statt dessen wird auf die all-

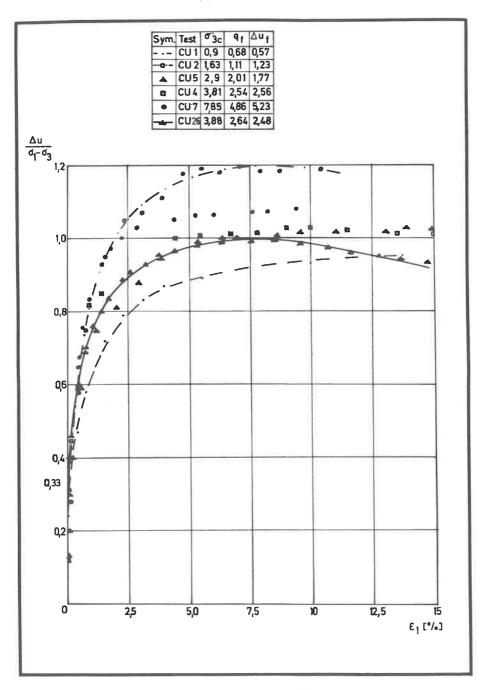


ABB.11: PORENWASSERDRUCKPARAMETER A ALS FUNKTION DER AXIALEN STAUCHUNG $\boldsymbol{\epsilon}_{_1}$

gemeinere Gleichung von HENKEL [1] (s. Abschnitt 1 Gl.(3)) zurückgegriffen.

Die Anwendung der Gleichung von Henkel erfordert eine Trennung des Porenwasserüberdrucks in einen Anteil, der durch eine Änderung des hydrostatischen Spannungszustandes hervorgerufen wird, und in einen zweiten, der durch eine Änderung der Scherspannungen entsteht.

Trägt man die Änderung des Porenwasserüberdrucks Δu bzw. die Änderung der totalen Oktaedernormalspannung $\Delta \sigma_{\rm oc}$ über der Scherzahl S auf, z.B. die Abb. 12 für den Versuch CU 26, dann wird aus dem dargestellten Diagramm folgendes deutlich:

- 1. die Porenwasserüberdrücke Δu sind bis zu einer bestimmten Scherzahl S $_{O}$ etwas geringer als die Änderung der totalen Oktaedernormalspannung $\Delta \sigma_{OC}$.
- 2. Nach Überschreiten der Scherzahl S_0 nehmen die Porenwasser- Überdrücke Δu ausgeprägt und rasch bis zur Erreichung eines Maximums bei einer Scherzahl S_e zu.
- 3. Normalerweise erfolgt nach Erreichung des Maximums ein leichter Abfall auf den Porenwasserüberdruck Δu_f beim Bruch für eine Scherzahl S = 1.

Die totale Änderung der Oktaedernormalspannung

$$\Delta \sigma_{\text{oc}} = \sigma_{\text{oc}} - \sigma_{\text{occ}}^{\dagger} \tag{19}$$

nimmt linear mit steigender Scherzahl S bis zum Bruch zu. Da der untersuchte Boden wassergesättigt ist, müsste bei linear elastischem Materialverhalten der Porenwasserüberdruck Δu in gleicher Weise zunehmen. Das ist aber nicht der Fall.

Eine weitere mögliche Annahme wäre ein linear elastisches Materialverhalten bis zur Erreichung einer Proportionalitätsgrenze, ausgedrückt etwa durch die Scherzahl $S_{\rm O}$; d.h. für Werte S < $S_{\rm O}$ wäre dann $\Delta u = \Delta \sigma_{\rm OC}$. Tatsächlich weicht diese Annahme von den gemessenen Daten nicht so ausgeprägt ab wie der Porenwasserüberdruck nach überschreiten der Scherzahl S_.

Das Verhalten des Porenwasserüberdrucks Δu könnte demnach durch zwei Bereiche analytisch beschrieben werden.

$$\Delta u = \Delta \sigma_{OC}$$
 für den Bereich O < S < S_O (20)

und

$$\Delta u = \Delta \sigma_{oc} + \alpha \cdot \Delta \tau_{oc}$$
 für den Bereich $S_o < S < S_e$ (21)

Hierbei wird die Änderung der Oktaedernormalspannung

$$\Delta\sigma_{\text{OC}} = \frac{1}{3} \cdot (\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2 + \Delta\sigma_3) \tag{22}$$

und die Änderung der Oktaederschubspannung zu

$$\Delta \tau_{\text{oc}} = \frac{(\sigma_1 - \sigma_{\text{oc}}) \cdot \Delta \sigma_1 + (\sigma_2 - \sigma_{\text{oc}}) \Delta \sigma_2 + (\sigma_3 - \sigma_{\text{oc}}) \Delta \sigma_3}{2 \cdot \sigma_{\text{oc}}}$$
(23)

angesetzt.

Der neue Porenwasserdruckparameter α beschreibt den Anteil, den die Änderung der Gktaederschubspannung an dem gesamten Porenwasserüberdruck hat. In der Abb. 12 ist das die Differenz zwischen der linear zunehmenden Oktaedernormalspannungsänderung und der nicht linearen Porenwasserüberdrucklinie. Eine Auftragung in halblogarithmischer Darstellung von α über der Scherzahl S ergibt dann Abb. 13. Aus diesen Diagrammen wird eine weitere Konstante für die analytische Beschreibung des Porenwasserüberdruckes gewonnen: $\alpha_{\rm f}$, der Porenwasserdruckparameter beim Bruch.

Die Werte für $\alpha_{\rm f}$ schwanken zwischen 0,90 und 2,24, mit Mittelwerten um 1,4 bis 1,6 (siehe auch Tabelle III im Anhang), bei einem Korrelationsfaktor von etwa 0,80.

Mit Hilfe der ermittelten Konstanten S_{o} , S_{e} und α_{f} könnte nun eine analytische Beziehung aufgestellt werden, die sich leicht in ein numerisches Rechenverfahren einbauen lässt.

In dem folgenden Abschnitt wird dieser Lösungsweg jedoch nicht mehr weiter verfolgt, sondern eine analytische Beziehung für den Porenwasserüberdruck auf der Basis eines einheitlichen normierten effektiven Spannungspfades für isotrope normalkonsolidierte bindige Böden entwickelt (siehe Abschnitt 3.2), da die bilineare Beziehung eine zu starke Vereinfachung des Porenwasserüberdruckverhaltens wiedergibt.

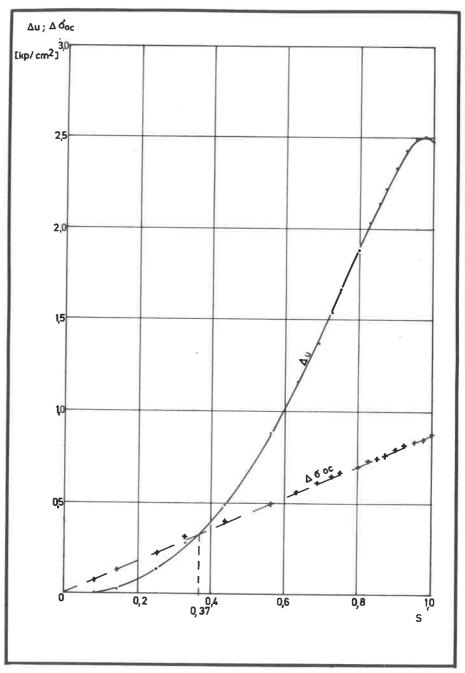


ABB:12: PORENWASSERÜBERDRUCK Δu ALS FUNKTION DER SCHERZAHL S CU 26 $\sigma_{3\,C}^{-3,88~kp/cm^2}$

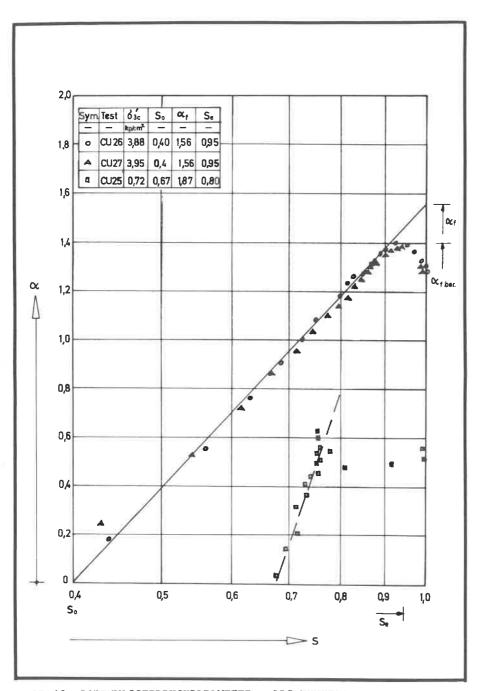


ABB.13: PORENWASSERDRUCKPARAMETER α ALS FUNKTION DER SCHERZAHL S

l. die totale Scherfestigkeit $c_{\rm u}$ nimmt linear mit der Vorbelastung $\sigma_{\rm u}^{\rm s}$ zu (Gl. 12).

Die Materialkonstanten c_{uo} und c_p werden z.B. durch geeignete Flügelsondenversuche im Feld oder durch die sorgfältige Messung der undrainierten Scherfestigkeit mittels CU-Versuche im Labor mit Spannungspfaden, die denen im Feld gleichen, bestimmt.

- 2. Der undrainiert ermittelte Anfangstangentenmodul E_{ui} ist proportional zur totalen Scherfestigkeit c_u (Gl. 13). Der dimensionslose Proportionalitätsfaktor C kann durch geeignete Feldversuche, z.B. Lastplattenversuche, oder durch sorgfältige Laborversuche bestimmt werden.
- 3. Der undrainiert ermittelte Tangentenmodul ${\rm E_{ut}}$ ist eine Funktion der Scherzahl S, wobei ein Stoffansatz in hyperbolischer Form nach Kondner gewählt wird (Gl. 14).

Zur Lösung eines Randwertproblems sind also die vier Konstanten c $_{\rm uo}$, c $_{\rm p}$, C und R $_{\rm f}$ erforderlich, die durch Feldversuche oder geeignete Laborversuche ermittelt werden können.

Die bisherige Berechnung der Anfangssetzungen in der Praxis geht von der linear-elastischen Theorie aus. So hat man z.B. für eine rotationssymmetrische Last die Anfangssetzung:

$$s_0 = \frac{3}{4} \cdot \frac{q \cdot D}{E_{ij}} \cdot I_s \tag{24}$$

hierin bedeuten:

s - Anfangssetzung in der Mitte der Kreisplatte;

q - gleichmässig verteilte Belastung der Kreisplatte;

D - Durchmesser der Kreisplatte;

E ,, - undrainiert ermittelter Anfangstangentenmodul;

Is - Einflussfaktor, der abhängig von der Fundamentform und der Tiefe der Bodenschicht ist.

3. Modell für die Berechnung von Verformungen und Porenwasserüberdrücken eines erstbelasteten wassergesättigten Tones

An dem gewählten Ton des Bodenseeraumes soll untersucht werden, mit welchen Modellvorstellungen Lösungswege für die Ermittlung der Anfangssetzungen und der Porenwasserüberdrücke eines erstbelasteten gesättigten Tones möglich sind. Darin müssen die wichtigsten Einflüsse, d.s. die deviatorische Nichtlinearität, die Spannungsvorgeschichte und das nichtlineare Porenwasserdruckverhalten in diesen Modellvorstellungen berücksichtigt werden.

3.1 Die Berechnung der Anfangssetzungen s

Für die Berechnung der Anfangssetzungen s $_{\rm O}$ werden folgende vereinfachenden Annahmen getroffen:

- Es handelt sich um eine monoton zunehmende Belastung eines voll wassergesättigten, erstbelasteten Bodens, der innerhalb des Belastungszeitraumes nicht drainieren kann.
- Das Materialverhalten des angenommenen Bodens ist isotrop, nichtlinear-elastisch und nichthomogen in dem Sinne, dass die totale Scherfestigkeit c, mit der Vorbelastung zunimmt.
- 3. Der mit dem beschriebenen Boden gefüllte Halbraum hat endliche Ränder; die statischen Randbedingungen werden in diskreten Punkten dieses Halbraumes erfüllt.
- 4. Die für die Berechnung notwendigen Materialkonstanten wurden an axialsymmetrischen Proben eines gestörten Tones unter rotationssymmetrischer Belastung und undrainierten Bedingungen ermittelt.

Trotz dieser vereinfachenden Annahmen enthält das vorgeschlagene Berechnungsmodell zwei wesentliche Merkmale für das Verhalten eines bindigen Bodens: Die Nichtlinearität der Spannungsverformungsbeziehungen und die Abhängigkeit von der Vorbelastung, was einem Materialverhalten mit Verfestigung entspricht. Im einzelnen erfordert die Lösung eines Randwertproblems mit dem beschriebenen Boden folgende Schritte:

Die Gleichung (24) berücksichtigt nicht die auftretenden Schubverformungen und die mit der Tiefe zunehmende Festigkeit.Ausserdem wird bei relativ geringen Standsicherheitsfaktoren, d.h.
hoher Scherzahl S, direkt unter dem Fundament oder einer Kreisplatte eine Umverteilung der Spannungen erfolgen, die ebenfalls nicht durch Gleichung (24) berücksichtigt werden kann.
Die Anfangssetzungen können daher bei Anwendung dieser Gleichung grob unterschätzt werden.

Die Lösung von Randwertaufgaben mit unregelmässigen geometrischen und statischen Randbedingungen und einem Materialverhalten wie dem des beschriebenen Tones erfordert ein numerisches Verfahren hoher Leistungsfähigkeit. Die "Methode der finiten Elemente" (FE) ist ein solches numerisches Verfahren, das hier angewendet werden soll.

Es ist hier nicht erforderlich, die FE-Methode ausführlich darzulegen, da auf die entsprechende Literatur (z.B. [20], [24], [45]) verwiesen werden kann.

Die über einen Verschiebungsansatz formulierte Steifigkeitsmatrix enthält das gewählte Stoffgesetz und erlaubt die Berechnung der Verformungen und damit auch der Setzungen aus den Randbedingungen.

Das Rechenprogramm SANE (siehe Flussdiagramm im Anhang) enthält die einzelnen Schritte. Die Ergebnisse von Berechnungsbeispielen werden in den folgenden Abschnitten diskutiert.

3.2 Die Berechnung der Anfangsporenwasserüberdrücke

Für die Berechnung der Anfangsporenwasserüberdrücke Δu ist eine analytische Erfassung und Beschreibung der effektiven Spannungspfade erforderlich. Wie bereits aus der Abb. 10 ersichtlich, bietet sich dafür ein elliptischer Ansatz an.

Für die Aufstellung einer Ellipsengleichung sind zwei Konstanten erforderlich. Dafür werden hier die Koordinaten K_M und $M^* \cdot K_M$ des Bruchpunktes gewählt.

 $\mathbf{K}_{\mathbf{M}}$ ist das Verhältnis der Oktaedernormalspannung beim Bruch

zur Oktaedernormalspannung beim Beginn des Abscherens und wurde z.B. aus Abb. 14 ermittelt

$$\kappa_{\mathbf{M}} = \frac{\sigma_{\mathbf{ocf}}^{\dagger}}{\sigma_{\mathbf{occ}}^{\dagger}} \tag{25}$$

Die Konstante M^* wird aus einem Diagramm (Abb. 15) als Steigung der Bruchgeraden ermittelt:

$$\tau_{\text{ocf}} = M^{\text{K}} \sigma_{\text{ocf}}^{\text{f}}$$
wobei $M = \frac{\sqrt{2}}{3} M$ gesetzt werden kann. (26)

Die zweite Koordinate des Bruchpunktes wird nun aus den Gleichungen (25) und (26) bestimmt:

$$\frac{\frac{\tau_{\text{ocf}}}{\sigma^{t}} = M^{t} K_{M}}{\sigma^{c}_{\text{occ}}}$$
 Nach der Bestimmung der zwei Konstanten lautet die Gleichung

Nach der Bestimmung der zwei Konstanten lautet die Gleichung der effektiven Spannungspfade:

$$\left[\frac{\tau_{\text{oc}}}{\sigma_{\text{occ}}^{\dagger}}\right]^{2} = \frac{\left(M^{\dagger} \cdot K_{\text{M}}\right)^{2}}{1 - K_{\text{M}}^{2}} \cdot \left[1 - \left[\frac{\sigma_{\text{oc}}^{\dagger}}{\sigma_{\text{occ}}^{\dagger}}\right]^{2}\right]$$
(28)

mit den Gültigkeitsbereichen

und 1> $\frac{\sigma_{oc}^{t}}{\sigma_{occ}^{t}}$ >K_M.Für die Konstanten ergaben sich hier Mittel-

werte von $M^* = 0,515$ und $K_m = 0,625$.

Am Beispiel des Versuches CU 26 sollen die Verwendbarkeit von Gleichung (28) und mögliche Abweichungen diskutiert werden (Abb. 16). Wenn man die individuell für den Versuch CU 26 ermittelten Konstanten K_{m} und M^{*} und die damit berechnete Ellipse betrachtet, kann daraus eine relativ gute Übereinstimmung zwischen Versuchskurve und Ellipse abgeleitet werden.

Die Übereinstimmung ist allerdings beim Beginn des Abscherens nicht mehr, so gut, da bei den Versuchen ein geringer Anstieg der Oktaedernormalspannung beobachtet wurde, der nicht durch die Ellipsengleichung beschrieben werden kann. Die Kurve für die mittleren Werte der Konstanten K_m und M^* liegt deutlich

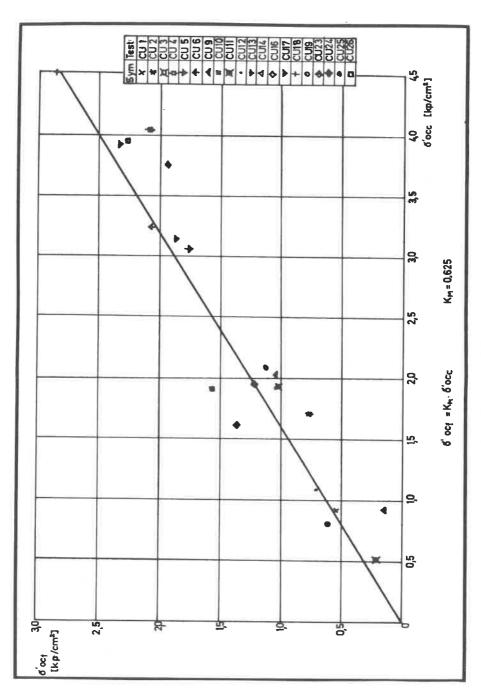


ABB.14: BESTIMMUNG DER KONSTANTEN κ_{M}

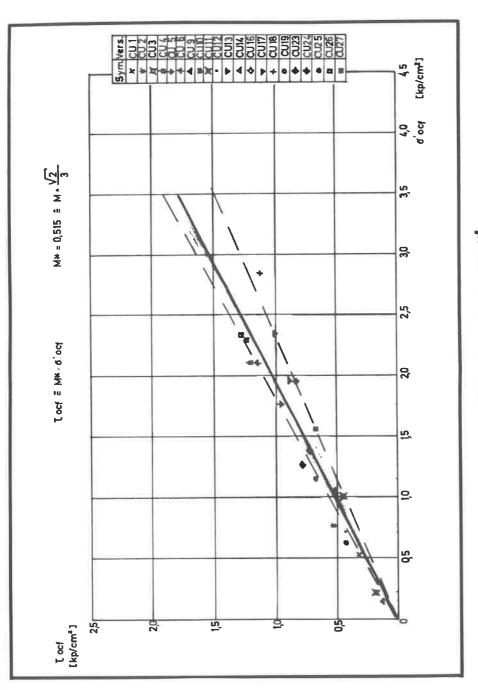


ABB.15: BESTIMMUNG DER KONSTANTEN M*

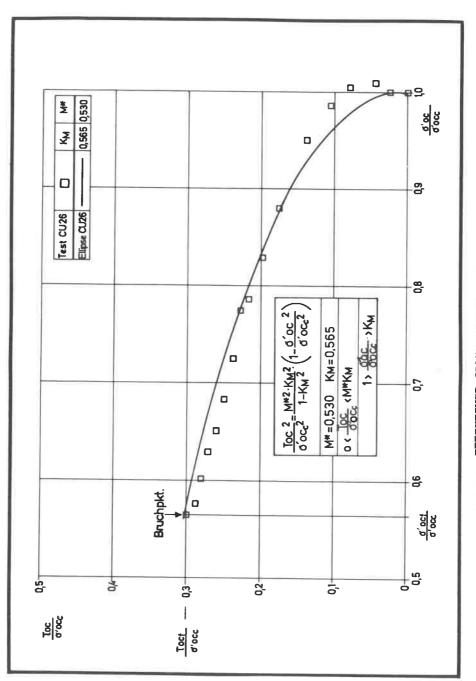


ABB.16: EFFEKTIVER SPANNUNGSPFAD VON VERSUCH CU 26

über der Kurve aus Versuch CU 26. Die Scherfestigkeit wird dadurch aber nur um etwa 5 % überschätzt; dagegen werden die Porenwasserüberdrücke unterschätzt. Die weiteren Untersuchungen sollen zeigen, wie gross dieser Fehler ist.

Ausgangspunkt für die Berechnung der Porenwasserüberdrücke ist das totale Differential von BOUTWELL [12] .

$$du = \frac{\partial u}{\partial \sigma_{OC}} \cdot d\sigma_{OC} + \frac{\partial u}{\partial \tau_{OC}} \cdot d|\tau_{OC}|$$
 (29)

Für wassergesättigte bindige Böden kann man die Gleichung vereinfachend in der Form

$$du = d\sigma_{oc} + \frac{\partial u}{\partial \tau_{oc}} \cdot d|\tau_{oc}|$$
 (30)

schreiben und erhält daraus durch Umformen

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial \tau_{\rm OC}} = \frac{\mathbf{d} \left[\mathbf{u} - \sigma_{\rm OC} \right]}{\mathbf{d} \left| \tau_{\rm OC} \right|} \tag{31}$$

Ersetzt man in Gleichung (31) d(u- σ_{oc}) nach dem Prinzip der effektiven Spannungen, dann erhält man

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial \tau_{\rm OC}} = -\frac{\mathbf{d}\sigma_{\rm OC}^{\dagger}}{\mathbf{d}|\tau_{\rm OC}|} \tag{32}$$

Durch Umformen der Gleichung (28) folgt

$$\left[\frac{\tau_{\text{oc}}}{\sigma_{\text{oc}}^{\prime}}\right]^{2} = \frac{(M^{\text{K}} K_{\text{M}})^{2}}{1 - K_{\text{M}}^{2}} \cdot \left[\frac{\sigma_{\text{occ}}^{\prime}}{\sigma_{\text{oc}}^{\prime}}\right]^{2} - 1$$
Die erste Ableitung für $\sigma_{\text{occ}}^{\prime}$ = const lautet

$$\frac{d\tau_{OC}}{d\sigma_{OC}^{1}} = -\frac{(M^{4} \cdot K_{M})^{2}}{1 - K_{M}^{2}} \cdot \frac{\sigma_{OC}^{1}}{\tau_{OC}}$$
(34)

Setzt man nun die gefundene Gleichung (34) in Gleichung (32) ein, so ergibt sich

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial \tau_{\text{QC}}} = \frac{1 - K_{\text{M}}^2}{\left(M^{\text{f.}}K_{\text{M}}\right)^2} \cdot \frac{\sigma_{\text{QC}}^{\text{f}}}{\tau_{\text{QC}}}$$
(35)

Ein Vergleich mit Gleichung (30) zeigt, dass Gleichung (35) unter der Voraussetzung, dass do > 0 ist, einen spannungsabhängigen Porenwasserdruckparameter beschreibt. Dieser Porenwasserdruckparameter steigt mit zunehmender Oktaederschubspannung an und nimmt mit zunehmender effektiver Oktaedernormalspannung ab.

Die effektive Oktaedernormalspannung kann man bei undrainiertem, voll wassergesättigtem Boden wiederum durch Umformen von Gleichung (33) ausdrücken:

$$\sigma_{\text{OC}}^{12} = \sigma_{\text{OCC}}^{12} - \frac{1 - K_{\text{M}}^{2}}{(M^{\text{K}}_{\text{M}})^{2}} \cdot \tau_{\text{OC}}^{2}$$
(36)

und Einsetzen der Gleichung (36) in Gleichung (35) ergibt

$$\frac{\partial u}{\partial \tau_{OC}} = \frac{1 - K_{M}^{2}}{(M^{*} K_{M}^{*})^{2}} \cdot \sqrt{\frac{\tau_{OC}}{\sigma_{OC}^{*2} - \frac{1 - K_{M}^{2}}{(M^{*} K_{M}^{*})^{2}} \cdot \tau_{OC}^{2}}}$$
(37)

Wenn man die Materialkonstante

$$M_{K} = \frac{1 - K_{M}^{2}}{(M^{k} K_{M})^{2}}$$
 (38)

in Gleichung (37) einführt, vereinfacht sich die Schreibweise zu

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial \tau_{\text{OC}}} = \frac{\mathbf{M}_{\mathbf{K}} \cdot \mathbf{\tau}_{\text{OC}}}{\sqrt{\sigma_{\text{OC}}^{1 \cdot 2} - \mathbf{M}_{\mathbf{K}} \cdot \mathbf{\tau}_{\text{OC}}^{2}}}$$
(39)

Gleichung (39) wird nun in Gleichung (30) eingesetzt. Integriert man Gleichung (30), dann erhält man eine unmittelbare Beziehung zwischen den Porenwasserüberdrücken und den Oktaederspannungen, wobei $\sigma_{\rm OCC}^{\prime}$ konstant bleibt:

$$\frac{u-u_0}{\sigma_{\text{occ}}^{1}} = \frac{\sigma_{\text{occ}} - \sigma_{\text{occ}}^{1}}{\sigma_{\text{occ}}^{1}} + \left[1 - \sqrt{1 - M_{\text{K}} \cdot (\frac{\tau_{\text{oc}}}{\sigma_{\text{occ}}^{1}})^{2}}\right] (40)$$

Die Abb. 17 zeigt die Beziehung der Porenwasserüberdrücke zu den Oktaederschubspannungen von 6 C_1 U-Versuchen. Gleichung (40) ist eine befriedigende Näherung für diese Beziehung.

Es zeigt sich, dass bei Wahl dieses Ansatzes eine Unterschätzung des Porenwasserüberdruckes beim Bruch um maximal 10 % möglich ist.

Der Nachteil von Gleichung (40) ist, dass aus ihr nicht unmittelbar der Porenwasserdruckparameter α ersichtlich ist, der

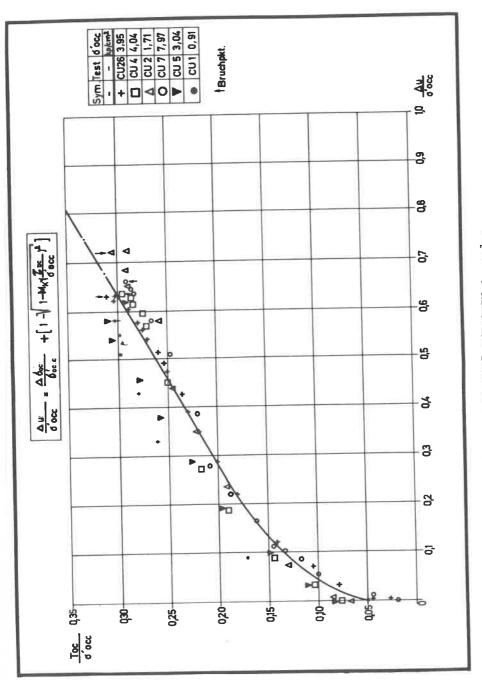


ABB.17: BEZIEHUNG ZWISCHEN Au und Toc

sich aus der Änderung der Oktaederschubspannungen ergibt. Um diesen Anteil deutlich zu machen, könnte man auf die bereits erwähnte Gleichung von HENKEL [11] zurückgreifen (G1. 3).

Mit Hilfe der Gleichung (40) werden die Porenwasserüberdrücke des Anfangszustandes berechnet; dazu sind die Materialkonstanten M* und K $_{\rm m}$ erforderlich. Für den untersuchten Boden sind das die Werte M* = 0,515 und K $_{\rm m}$ = 0,625.

Die entwickelte Gleichung ist in einfacher Weise in ein bereits vorhandenes FE-Rechenprogramm einzubauen (Programm SANE, siehe Anhang), siehe die Beispiele im folgenden Abschnitt.

3.3 Die Anwendung der FE-Methode zur Lösung von Randwertaufgaben

Auf dem Gebiet des Grundbaus gibt es bereits eine Vielzahl von Veröffentlichungen (z.B. [6],[24],[20],[26]), die sich mit der Anwendung der FE-Methode auf bodenmechanische Probleme befassen.

Die Möglichkeit, differenziertere Materialgleichungen in die Rechnung einzuführen, erlaubt es, das Verhalten des Baugrunds besser zu simulieren als mit den bisher bekannten Verfahren. Auch wenn man die bodenphysikalischen Probleme ausklammert, bringt die Anwendung eines solchen Verfahrens stets auch numerische Probleme mit sich, die geklärt sein müssen, ehe Schlussfolgerungen für die Anwendung in der Praxis gezogen werden dürfen.

Die Anwendung eines bereits entwickelten FE-Systems befreit den konstruierenden Ingenieur zwar von einem grösseren Arbeitsauf-wand, und das würde z.B. mehr Zeit für die eigentliche Ingenieur-aufgabe des Entwickelns bedeuten, aber nicht von der Verantwortung für die Richtigkeit seiner Berechnungsergebnisse. Die FE-Methode lediglich als einen etwas grösseren Rechenschieber anzusehen, ist nicht nur falsch, sondern auch gefährlich, da die Diskretisierung eines Randwertproblems stets ingenieurmässige Entscheidungen mit der Wahl des geeigneten numerischen Vorgehens koppelt. Hierzu die Zusammenstellung der zu lösenden Probleme von SMOLTCZYK u.a. (1972) [27]:

a. numerische Probleme

- 1. Wahl der zweckmässigen Elementform
- 2. Wahl der problemgemässen Elementgrösse
- 3. Wahl der Randabstände

- b. rechenorganisatorische Probleme
 - 1. Organisation und Rationalisierung der Eingabedaten
 - Speicherplatzsparende Lösungsmethoden linearer Gleichungssysteme
 - 3. Organisation der Ausgabedaten
- c. bodenphysikalische Probleme
 - Erfassung des elasto-plastischen Verhaltens des Bodens vor dem Bruch durch einen nichtlinearen Ansatz;
 - Berücksichtigung der Forderung, dass die Volumenelemente keine oder nur begrenzte Zugspannungen aufnehmen können;
 - Berücksichtigung der Tatsache, dass vorbelasteter Boden nach Überschreiten der maximalen Bruchscherspannung eine Abnahme der Scherfestigkeit zeigt;
 - Berücksichtigung der positiven oder negativen Volumenänderung im Boden
 - Formulierung von Spezialelementen für den Übergang von Bauwerk zum Boden
 - 6. Erfassung des Porenwasserdrucks
 - 7. Erfassung von Kriecherscheinungen

Die FE-Methode ist notwendig geworden, um:

- a) die konventionellen Methoden auf mögliche grosse
 Fehleinschätzungen überprüfen zu können;
- b) mehr Informationen bei der Begründung einer Konstruktionsidee zu erhalten;
- c) punktuell gewonnene Messdaten im Feld auf einen grösseren Bereich extrapolieren zu können;
- d) diejenige Lösung eines praktischen Problems zu finden, die ein Minimum an Verformungen mit sich bringt;
- e) vorhersagen zu können, ob und wo sich eventuell grössere Verformungen entwickeln könnten;
- f) wirtschaftlicher zu konstruieren, indem z.B. nicht mehr stark voneinander abweichende Lastannahmen zur Eingrenzung eines Problems angesetzt werden.

Die für die Randwertaufgaben des Grundbaus geeigneten Elementtypen sind auf Abb. 18 dargestellt. Dabei wird unterschieden zwischen Elementen mit linearem, bzw. quadratischem Verschiebungsansatz und zwischen Elementtypen mit ein-, zwei-, bzw. dreidimensionalem Spannungs- und Verformungszustand. Alle axialsymmetrischen Elemente entstehen dabei durch einfache Rotation von zweidimensionalen Elementen um eine Rotationsachse. Für die in dieser Arbeit behandelten Randwertaufgaben mit rotationssymmetrischen Randbedingungen werden ein sogenanntes CST-Element (constant strain triangle) mit linearem Verschiebungsansatz, TRIAX 3, sowie ein quadrilaterales Element mit quadratischem Verschiebungsansatz QUAXC 9, verwendet.

Das vorliegende Rechenprogramm SANE (Spannungsverformungsanalyse nichtlinear elastisch) benutzt das TRIAX 3-Element zur Berechnung von axialsymmetrischen und ebenen Verformungszuständen. Durch sinnvolle Durchnumerierung der Knoten kommt man zu gut konditionierten bandförmigen Gleichungssystemen minimaler Bandbreite. Die Lösung der Gleichungssysteme erfolgt nach der Triangularisierung des Gesamtsteifigkeitsmatrix mit Hilfe der Choleski-Methode.

Versch.	Eindim. Zustand	Zweidim. Zustand	Axialsym. Zustand	Dreidimensionaler Zustand
Ansatz	Stab	Dreieck , Viereck		Tetraëder , Hexaëder
linear Dehnung Konstant im Element	V ₁ V ₂	2.8. CST	z.B. TRIAX 3	3
		12 2	alle axialsym. Elemente entstehen durch Rotation der zweidimensionalen Elemente	200
quadratisch Dehnung linear variabel	V ₁ V ₂ V ₃	z.B. LST		
	2 3	2 6 7	z.B. QUAX C9	

ABB.18: DARSTELLUNG GEEIGNETER ELEMENTTYPEN FÜR RANDWERTAUFGABEN DES GRUNDBAUS

Das Programm SANE entstand aus einem linear elastischen FEProgramm SALE (Thamm (1970) [41]), das durch Vergleich mit
vorhandenen exakten Lösungen der linearen Elastizitätstheorie ausgetestet wurde. Das Programm SALE wurde unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit - minimaler Speicherplatzbedarf und minimale Rechenzeit - aufgestellt, da bei einer
Erweiterung dieses Programms zu einem nichtlinear elastischem
Rechenprogramm dieser Punkt als besonders wichtig erachtet
wurde.

Der Vergleich von Speicherplatzbedarf und Rechenzeit zwischen SALE und einem Programm ASKA-TRIAX des Instituts für Statik und Dynamik der Luft- und Raumfahrtkonstruktion der Universität Stuttgart zeigte die ausserordentliche Wirtschaftlichkeit des SALE-Programms:

Art	SALE-AX	ASKA-TRIAX 160 000 CM 27,29 sec
Speicherplätze	60 000 CM	
Rechenzeiten: CP (Kernzeit)	11,54 sec	
IO (Zugriffzeit)	11,0 sec	107,70 sec
Systemzeit (Kosten)	13,6 sec	65,0 sec

Als Vergleichsbasis diente dabei ein schlaffes kreisförmiges Testfundament auf einem Halbraum mit linear elastischem Material bei Ansatz von jeweils 77 Unbekannten.

Das ausgetestete SALE-Programm wurde zu einem nichtlinearen Programm SANE nach der inkrementellen Methode der tangentialen Steifigkeiten erweitert. Da für den undrainierten Zustand der Porenwasserüberdruck in erster Linie eine Funktion der aufgebrachten totalen Spannungen ist, für die Gleichgewicht herr-

schen muss, wurden aus der totalen Spannungsanalyse der Porenwasserüberdruck Δu je Lastinkrement ermittelt und nach dem Prinzip der effektiven Spannungen die effektiven Spannungen berechnet, für die die Randbedingungen erfüllt werden müssen.

Für die Berechnung der Randwertaufgaben wurde eine inkrementelle variable Methode angewendet, ähnlich der von CLOUGH (1965) [20], die Vorteile für Materialien mit flach auslaufenden Spannungsverformungsdiagrammen bietet. Um eine grössere Genauigkeit zu erreichen, können innerhalb jedes Lastinkrementes zusätzliche Iterationsvorgänge eingeschaltet werden.

Im einzelnen müssen folgende Schritte bei der numerischen Lösung der behandelten Randwertaufgaben ausgeführt werden:

- a) Idealisierung des Problems;
- b) Wahl eines geeigneten Stoffansatzes;
- c) Wahl der geeigneten Bodenkennwerte und Materialkonstanten;
- d) Annahme des Anfangsspannungszustandes;
- e) Annahme der Anzahl der Lastinkremente;
- f) Zeichnung des FE-Netzes und Wahl eines geeigneten Elementtyps;
- g) Durchführung der Berechnung und Auswertung der Ergebnisse.

Aus den etwa 40 Unterprogrammen wurden 2 Rechenprogramme SANE-TRIAX und SANE-LAPLA für den Dreiaxialversuch bzw. Lastplattenversuch zusammengestellt. Die Flussdiagramme und eine Beschreibung der Unterprogramme sowie die erforderlichen Eingabedaten enthält der Anhang.

Das vorgeschlagene Berechnungsmodell enthält folgende Schritte:

- l. Der Anfangsspannungszustand wird mit der effektiven Wichte γ' des Bodens und dem Ruhedruckbeiwert K $_{0}$ berechnet, der aus Versuchen ermittelt oder geschätzt wird.
- 2. Der Anfangstangentenmodul E_i wird für jedes Element mit Hilfe der Gleichungen (12) und (13) berechnet und die Poissonzahl ν zu 0,49 angenommen.

- 3. Das erste Lastinkrement wird aufgebracht und die Spannungen und Dehnungen werden auf der Grundlage der Anfangs-werte berechnet.
- Mit den neuen Spannungen aus Schritt 3 werden neue Tangentenmoduln E, nach Gleichung (14) berechnet.
- 5. Wenn nötig, werden die Schritte 3 und 4 wiederholt, bis eine Konvergenz der Spannungen erreicht ist.
- Der Porenwasserüberdruck wird mit Hilfe der Gleichung (40) berechnet.
- Die endgültigen Spannungen jedes Lastinkrementes werden berechnet und aufsummiert.
- Die nächste Laststufe wird aufgebracht und die Schritte
 bis 7 werden wiederholt.
- 9. Zum Schluss werden alle resultierenden Spannungen und Verformungen ausgedruckt bzw. zum Plotten in normierten Diagrammen vorbereitet (das Plotten erfolgte mit dem Programmsystem RSYST, siehe Anhang).

Mit diesem Berechnungsmodell wurden zwei praktische Beispiele aus dem Gebiet des Grundbaus und der Bodenmechanik berechnet.

3.4 Ergebnisse der Nachrechnung von Randwertaufgaben

Als praktische Randwertaufgabe des Grundbaus und der Bodenmechanik wurden der Dreiaxialversuch und der Lastplattenversuch
ausgewählt. Die experimentellen Dreiaxialversuche wurden im
Labor des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik der Universität Stuttgart durchgeführt; die experimentellen Lastplattenversuche dagegen im Rahmen eines DFG-Forschungsvorhabens veranlasst und in Konstanz unter der Leitung von Dipl.-Ing. G. Ulrich begonnen.

Für die theoretische Berechnung der gewählten Randwertprobleme standen die Programme SANE-TRIAX und SANE-LAPLA mit dem in Abschnitt 3.3 vorgeschlagenen Berechnungsmodell zur Verfügung. Die Berechnungen wurden auf einer CDC 6600 des Instituts für Statik und Dynamik der Luft- und Raumfahrtkonstruktion der Universität Stuttgart durchgeführt.

3.4.1 Der Dreiaxialversuch

Wegen der Doppelsymmetrie einer Dreiaxialprobe kann das zu untersuchende Gebiet auf ein Viertel der Querschnittsfläche reduziert werden. Dadurch ergeben sich die äusseren Abmessungen des Gebietes, für das eine Unterteilung in Elemente vorgenommen wird, zu R = 1,8 cm und H/2 = 4,5 cm. Die Einleitung der Kräfte erfolgte über eine starre Platte von 0,36 cm Dicke. Da in den Symmetrieachsen die Schubkräfte gleich Null sind, kann die Randbedingung durch Rollenlager simuliert werden (Abb. 19).

Das so festgelegte Gebiet wurde nun in Elemente unterteilt, wobei 2 Elementtypen zur Anwendung kamen.

Das Programm SANE benutzt ein TRIAX 3-Element mit linearem Verschiebungsansatz. Die Unterteilung des Gebietes erfolgte hier mit 342 TRIAX 3-Elementen, d.s. 370 Unbekannte, wobei eine Unterteilung von 10 Knoten in R-Richtung und eine solche von 20 Knoten in Z-Richtung vorgenommen wurde. Die geometrische Unterteilung erfolgte in unregelmässigen Abständen, wobei sich das Netz zum Rand und zur starren Platte hin verdichtete.

Das Programm ASKA-QUAXC 9 benutzt ein quadrilaterales Element mit quadratischem Verschiebungsansatz. Die Unterteilung erfolgte hierbei mit nur 24 QUAXC 9-Elementen, aber 212 Unbekannten, wobei die R-Richtung in 9 Knoten und die Z-Richtung in 13 Knoten unterteilt war.

Nach der Festlegung von Topologie und Geometrie des Problems wurde für beide Fälle der Anfangsspannungszustand berechnet, wobei die Spannungen am Ende der letzten Konsolidationsstufe als äussere Belastung aufgebracht wurden.

Entsprechend dem gewählten Berechnungsmodell aus Abschnitt 3.1 bzw. 3.2 und mit den in Abschnitt 2 ermittelten Bodenkennwerten und Materialkonstanten wurde dann die erste Laststufe (beim Programm SANE) bzw. die erste konstante Verschiebungsgrösse (beim

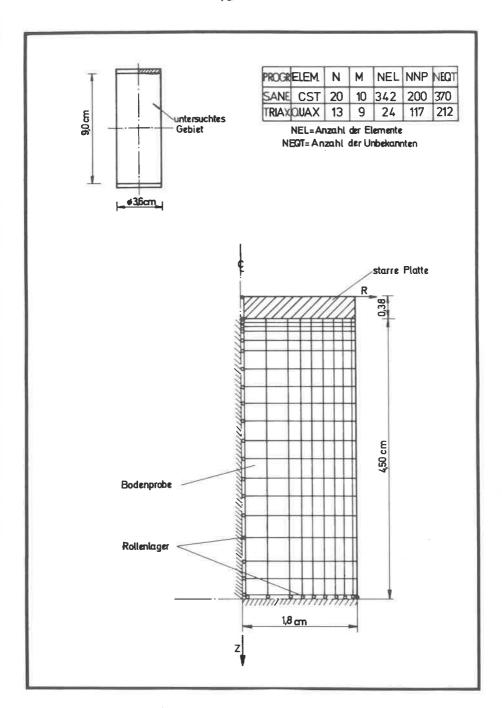


ABB.19: GEOMETRIE UND RANDBEDINGUNGEN DES DREIAXIALVERSUCHS

Programm SANE) bzw. die erste konstante Verschiebungsgrösse (beim Programm ASKA-QUAXC 9) aufgebracht.

Der Ablauf der Berechnung erfolgte wie in Abschnitt 3.3 beschrieben und aus dem Flussdiagramm (Anhang) ersichtlich mit 20 Last- bzw. Verschiebungsstufen, wobei konstante Laststufen und variable, zunehmende Verschiebungsstufen angewendet wurden. Im Programm SANE wurde zusätzlich nach jeder Laststufe die Geometrie des Elementennetzes entsprechend den vorher ermittelten Verschiebungsgrössen neu berechnet. Diese Massnahme ist bei einer zu erwartenden Bruchstauchung der Probe von 20 % erforderlich.

Die Ergebnisse der Berechnungen wurden für die Darstellung des Spannungsverformungsverhaltens und des Porenwasserüber-druckverhaltens Stufe für Stufe aufbereitet. Ausserdem wurde für eine Laststufe kurz vor dem Bruch der Spannungs- und Verformungszustand innerhalb der Probe durch Auftragen von Schichtflächen dargestellt.

Insgesamt wurden 4 CU-Versuche (CU1, CU7, CU20 und CU26) mit den unterschiedlichen Konsolidationsspannungen 1,0; 2,0; 4,0; und $8,0~{\rm kp/cm}^2$ nachgerechnet.

Für den Versuch CU 26 mit einer Konsolidationsspannung = 3,88 kp/cm² wurde die Scherzahl S über der axialen Stauchung ϵ , der Probe in Abb. 20 dargestellt. Der Vergleich der für das innerste Element ermittelten Scherzahlen mit denen des Versuchs zeigt eine gute Übereinstimmung, wobei für Scherzahlen kleiner 0,5 die Scherspannungen etwas unterschätzt werden. Die Abweichung gegenüber der mit dem Programm SANE ermittelten Scherspannungen ist aber nirgends grösser als 3 % der Scherfestigkeit; eine Abweichung, die im Vergleich zu den Schwankungsbreiten der Versuche gering ist. Die Ergebnisse der Berechnung der Scherzahlen mit dem Programm ASKA-QUAXC 9 überschätzen die Scherspannungen um etwa 5 % gegenüber den experimentell ermittelten Ergebnissen, was z.T. auf die geringe Zahl an Unbekannten und auch auf die konstant gehaltene Geometrie des Problems während der Laststeigerung zurückzuführen ist.

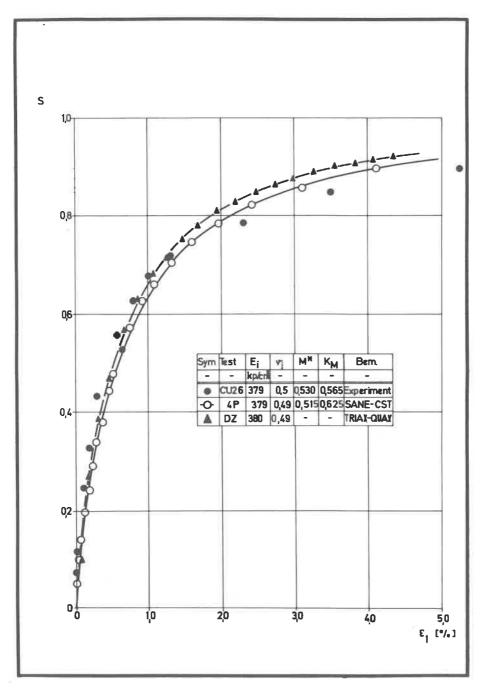


ABB-20: VERGLEICH DES SPANNUNGSVERFORMUNGSVERHALTENS; SCHERZAHL S ALS FUNKTION DER AXIALEN STAUCHUNG $\boldsymbol{\epsilon}_{_{1}}$

Der Vergleich der effektiven Spannungspfade für den Versuch CU 26 zeigt eine ähnlich gute Übereinstimmung. Für Verhältnisse $\tau_{\rm oc}/\sigma_{\rm occ}^{\rm i}$ > 0,2 bis zum Bruch wird der effektive Spannungspfad erstaunlich gut mit dem gewählten Ansatz vorhergesagt. Kleinere Verhältnisse führen dagegen zu einer Überschätzung der Scherspannungen. Die experimentell ermittelten Scherspannungen können dabei aber aus den Störungen beim Beginn des Abschervorganges im Labor zu klein erhalten worden sein. Die geringe Zunahme der mittleren Normalspannungsänderung erklärt sich aus der Tatsache, dass auf Grund der Annahme $\nu=0,49$ geringe Volumenänderungen möglich sind. Für praktische Belange sind diese Abweichungen aber von untergeordneter Bedeutung.

In Abb. 21 wurden schliesslich die gemessenen und berechneten Porenwasserüberdrücke des Versuches CU 26 miteinander verglichen. Die Ergebnisse wurden über der Scherzahl S (Kehrwert des Sicherheitsfaktors) aufgetragen. Für Scherzahlen grösser 0,5 ist dabei ein starker Anstieg des Porenwasserüberdruckes bis zum Bruch festzustellen, was eine starke Abnahme der effektiven Scherfestigkeit zur Folge hat.

Die vorhergesagten Porenwasserüberdrücke sind dabei für Scherzahlen grösser 0,6 etwas geringer als die im Versuch gemessenen. Die Abweichung beträgt jedoch nur maximal 6 %.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das mit dem vorgeschlagenen Berechnungsmodell vorhergesagte Spannungsverformungsverhalten und das Porenwasserüberdruckverhalten einer Dreiaxialprobe gut mit den experimentell ermittelten Ergebnissen übereinstimmen. Die Auswertung der Ergebnisse der Versuche CU1, CU7 und CU2O zeigte eine ähnlich gute Übereinstimmung.

Um die Spannungsverteilung innerhalb einer Dreiaxialprobe darzustellen und um den Einfluss der Endflächenreibung deutlich zu machen, wurden für die Laststufe mit der Scherzahl S=0,85 des Versuchs CU 26 Schichtflächen für die Verteilung der Scherzahl S (Abb. 22) und für die Verteilung des Porenwasserüberdrucks Au (Abb. 23) aufgetragen. Bei allen Diagrammen

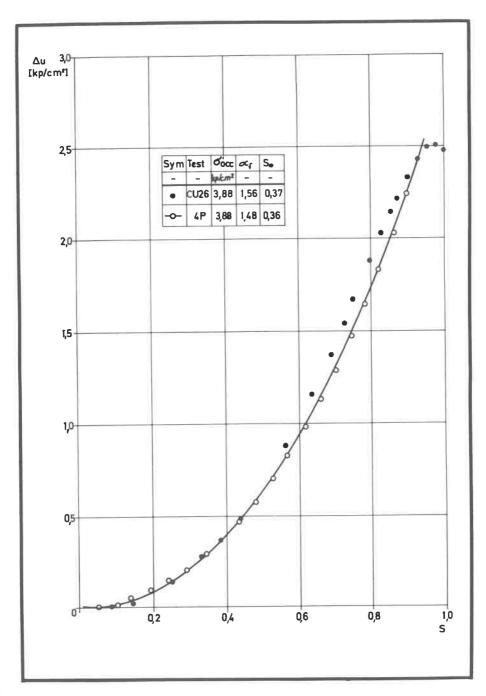


ABB.21: VERGLEICH DES PORENWASSERÜBERDRUCKVERHALTENS;
PORENWASSERÜBERDRUCK Δu ÜBER DER SCHERZAHL S

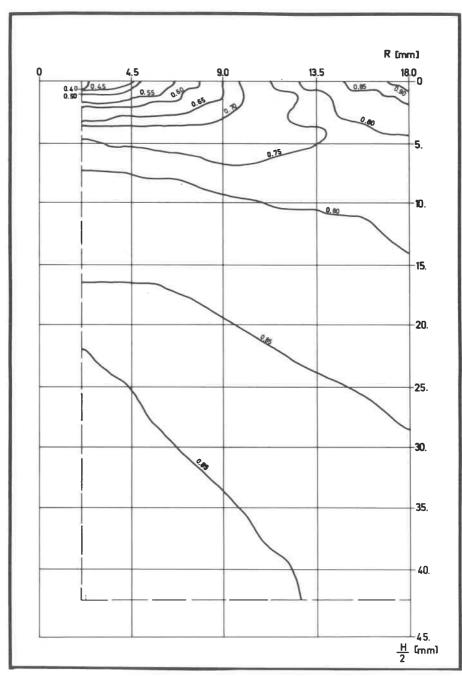


ABB.22: LINIEN GLEICHER SCHERZAHLEN S; VERSUCH CU 26, LASTSTUFE 18

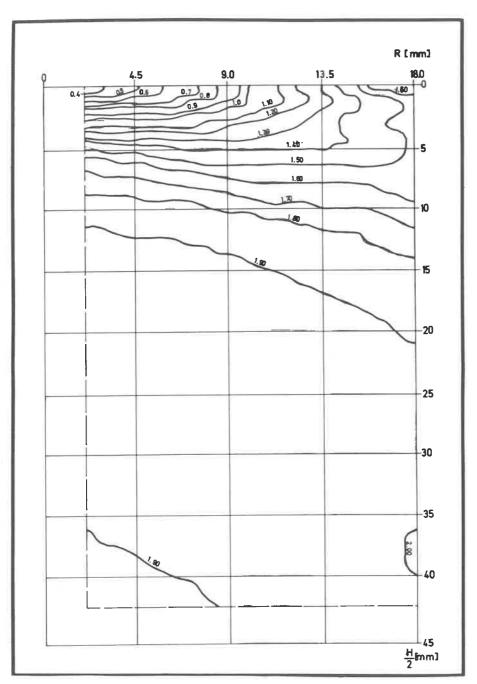


ABB.23: LINIEN GLEICHER PORENWASSERÜBERDRÜCKE Δu ; VERSUCH CU 26, LASTSTUFE 18

wird dabei ersichtlich, dass die mittlere Hälfte der Probe eine durchaus gleichmässige Verteilung aufweist. Störungen des Randes sind nur in den oberen Probenvierteln so gross, dass sie nicht mehr vernachlässigt werden können. Auch eine Kerbwirkung des äusseren Randes der starren Platte zeigt sich in der Darstellung.

Die Abb. 24 und 25 zeigen Linien gleicher Vertikal- bzw. gleicher Horizontalverschiebungen für die gleiche Laststufe. Besonders in Abb. 25 tritt dabei der Einfluss der Endflächenreibung unter der starren Platte hervor, die verhindert, dass die Probe sich dort horizontal verschiebt. Leider konnte wegen der Versuchsanordnung während des Abschervorganges nicht die horizontale Ausdehnung in der Mitte der Probe gemessen werden. Auch den Endwert des Versuchs kann man nicht mit der berechneten Horizontalverschiebung der Probe vergleichen, da durch Ausbaustörungen, Schrumpfung etc., die in der Grössenordnung der Messergebnisse liegen, zu grosse Ungenauigkeiten eingebracht werden.

Abschliessend kann festgestellt werden, dass der Vergleich der gemessenen Versuchswerte mit den vorausberechneten Ergebnissen zufriedenstellend ausfällt. Damit kann man mit Aussicht auf Erfolg das vorgeschlagene Berechnungsmodell auch für die Nachrechnung von Feldversuchen verwenden.

3.4.2 Der Lastplattenversuch

Ein Lastplattenversuch wurde bereits im Rahmen eines Forschungsvorhabens [39] auf Konstanzer Seeton durchgeführt. Er soll nun mit dem vorgeschlagenen Berechnungsmodell nachgerechnet werden.

Wegen der Symmetrieachse der starren Lastplatte kann das zu untersuchende Gebiet auf die Hälfte der Querschnittfläche reduziert werden. Die kreisförmige Lastplatte hat einen Radius von RR = 30 cm. Auf dieser Grundlage wurde die Geometrie von 6 verschiedenen Netzen aufgebaut.

Aus der Bedingung "Breite zur Tiefe des untersuchten Gebietes B/T > 2" und der Wahl "T = 4 bzw. 6 mal dem Radius der Last-

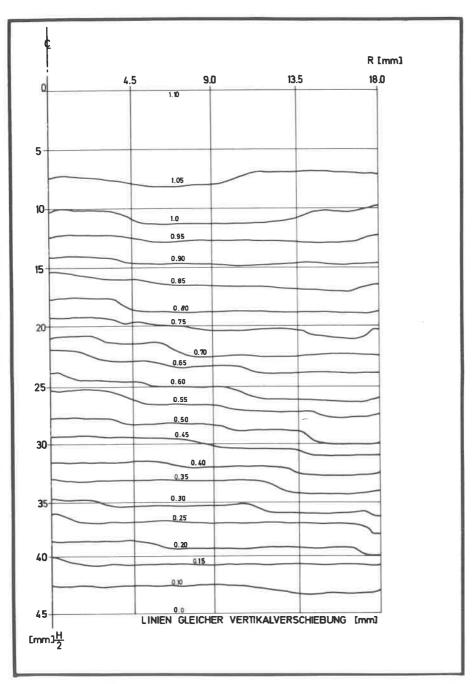


ABB.24: LINIEN GLEICHER VERTIKALVERSCHIEBUNGEN; VERSUCH CU 26, LASTSTUFE 18

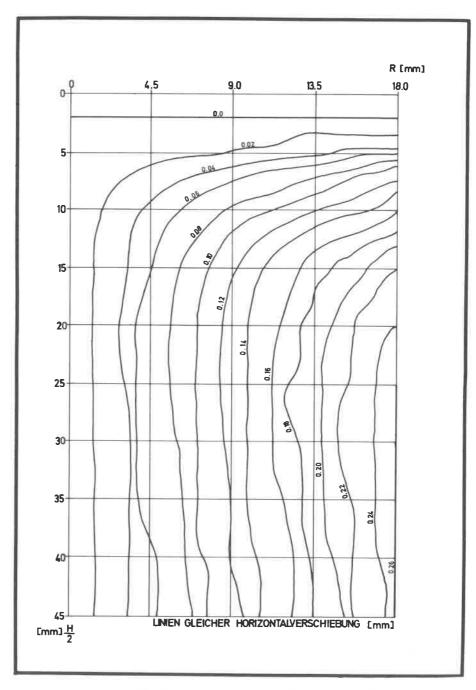


ABB.25: LINIEN GLEICHER HORIZONTALVERSCHIEBUNGEN; VERSUCH CU 26, LASTSTUFE 18

platte" für die Tiefe ergab sich die Geometrie des Lastplattenproblems.

Die Netze wurden aus 338 TRIAX 3 Elementen mit insgesamt 350 Unbekannten aufgebaut (Abb. 26).

Der Vorteil der zweckmässigen Durchnumerierung der Knoten und der einfachen Maschengeneration, d.h. die Erstellung eines qut konditionierten bandförmigen Gleichungssystems minimaler Bandbreite (hohe Wirtschaftlichkeit), wird durch den Nachteil der Entstehung relativ langgestreckter, schmaler Elemente, und damit unsicherer Spannungsermittlung in diesen Elementen, erkauft. Der spitze Winkel eines Dreieckelementes soll im allgemeinen 15° nicht unterschreiten [41]. Die Diskretisierung wurde daher so vorgenommen, dass in einem Teilbereich unmittelbar unter dem Fundament die spitzen Winkel in den Dreieckselementen 20° nicht unterschreiten. Innerhalb des Teilbereiches für Z/RR = 2,0 und R/RR = 1,6 werden die vertikalen Normalspannungen nach der linear-elastischen Theorie bis auf 80 %, die horizontalen bis auf 100 % abgebaut, so dass angenommen werden kann, dass die weiter aussen liegenden langgestreckten Elemente keinen sonderlichen Einfluss mehr auf die Spannungsermittlung haben.

Die Knotenabstände untereinander nehmen zum äusseren und unteren Rand der starren Lastplatte hin in geometrischer Progression ab, um dann zu den Seitenrändern hin wieder stark zuzunehmen.

Nach der Festlegung der Topologie und der Geometrie des Lastplattenversuches wurde der Anfangsspannungszustand in den einzelnen Elementen auf der Grundlage der gegebenen effektiven Wichte $\gamma'=0.90~\mathrm{Mp/m}^3$ und des Ruhedruckbeiwertes $\mathrm{K}_\mathrm{O}=0.5$ bestimmt.

Bei dem gewählten Ansatz sollen Spannungsumlagerungen und eventuell entstehende Entlastungs- und Wiederbelastungsvorgänge in einzelnen Elementen mitberücksichtigt werden. Bei Entlastungsvorgängen wird der Tangentenmodul $\mathbf{E}_{\mathbf{t}}$ gleich dem jeweiligen Anfangstangentenmodul $\mathbf{E}_{\mathbf{i}}$ gesetzt, bei Wiederbelastungsvorgängen wird abgefragt, ob der Erstbelastungszustand wieder erreicht

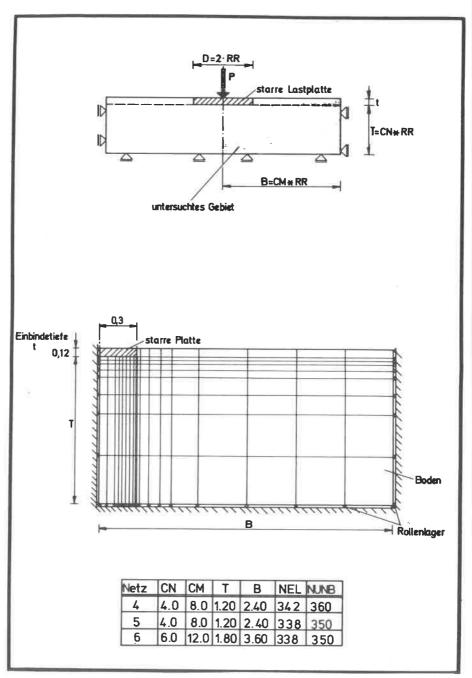


ABB.26: GEOMETRIE UND RANDBEDINGUNGEN DES LASTPLATTENVERSUCHS

worden ist oder nicht. Ist der Erstbelastungszustand noch nicht wieder erreicht worden, so wird wieder mit dem Anfangstangentenmodul $\mathbf{E_i}$ gerechnet. Andernfalls wird die Berechnung des neuen Tangentenmoduls mit dem gewählten Stoffansatz fortgesetzt.

Die Auswertung des Lastplattenversuchs ergab einen Anfangstangentenmodul $\rm E_1=240~Mp/m^2$ und eine mittlere Scherfestigkeit des undrainierten Bodens $\rm c_u=1.2~Mp/m^2$ [39].

Aus den Laborversuchen war die Verteilung der Scherfestigkeit des undrainierten Bodens c_u mit der Tiefe bekannt (Abb. 5). Wenn man die Krustenbildung im oberen Teil des Bodens vernachlässigt, erhält man eine Variation von $c_u=0.4-1.6$ Mp/m², d.h. also einen mittleren Wert für c_u von 1,0 Mp/m². Rechnet man jedoch "mit Kruste", so könnte man einen konstanten c_u -Wert von 1,6 Mp/m² ansetzen.

Aus CU-Versuchen (CU3, CU11) mit geringen Vorkonsolidationsspannungen (0,5 bzw. 0,9 Kp/cm 2) ist die Materialkonstante C zu etwa 200-250 ermittelt worden, und damit kann der mittlere theoretische Anfangstangentenmodul E $_1$ zu 200-250 Mp/m 2 angesetzt werden.

Für die Nachrechnung des Lastplattenversuchs wurden folgende Materialkonstanten angesetzt:

$$c_{u_0} = 0.4 \text{ Mp/m}^2$$
 $C = 250$
 $c_p = 0.18$ $v = 0.49$
 $\alpha_f = 1.4$ $M^* = 0.515$
 $S_0 = 0.5$ $K_M = 0.625$

Die Berechnung wurde mit dem Programm SANE-LAPLA zunächst für eine monoton zunehmende Belastung in 20 Laststufen durchgeführt. Der Ablauf der Berechnung erfolgte dabei wie in Abschnitt 3.3 beschrieben und aus dem Flussdiagramm (im Anhang) ersichtlich.

Die Geometrie wurde ebenfalls wie beim SANE-TRIAX-Programm nach jeder Laststufe neu berechnet.

Die Ergebnisse der Berechnung wurden für die Darstellung des Kraftverschiebungsdiagramms und der Porenwasserüberdruckverteilung Stufe für Stufe aufbereitet. Zusätzlich wurde für die 18. Stufe der Spannungszustand innerhalb des untersuchten Gebietes durch Auftragen von Schichtflächen deutlich gemacht.

Die Analyse des nachzurechnenden Lastplattenversuchs setzte sich aus 3 Rechenläufen zusammen: Netz 5 und 6 ohne Ansatz einer "Krustenbildung" und zusätzlich Netz 5 mit "Kruste".

Das Kraftverschiebungsdiagramm – gesamte Kraft P auf der Lastplatte über der Setzung so in der Mitte der Platte – ist in Abb. 27 dargestellt. Die Übereinstimmung der Nachrechnung mit im Labor ermittelten Bodenkonstanten mit dem Versuch im Feld ist gut, wobei im Anfang die Setzungen etwas überschätzt werden und im Endzustand zu klein ausfallen.

Diese Diskrepanz ist zum Teil auf den Ansatz des mit der Tiefe zunehmenden Anfangstangentenmoduls ${\rm E}_{\rm i}$ gemäss der Zunahme von ${\rm c}_{\rm u}$ zurückzuführen (keine Krustenbildung). In der Natur liegt aber offensichtlich eine Krustenbildung mit einem grösseren mittleren ${\rm c}_{\rm u}$ -Wert vor. Legt man z.B eine aufgrund der im Labor für Tiefen von 7-20 m ermittelte konstante Scherfestigkeit des undrainierten Bodens fest, dann kommt man zu einer ziemlichen Unterschätzung der Setzung. Da man aber den genauen Einfluss der Kruste an Ort und Stelle nicht kennt, ist eine weitere Variation reine Spekulation.

Die Ergebnisse der Abb. 27 zeigen aber trotzdem eindeutig, dass die Setzungen bei Benutzung einer rein linear-elastischen Theorie drastisch unterschätzt werden können. Selbst bei Einhaltung eines Sicherheitsfaktors von 2,0 können diese Anfangssetzungen um bis zu 50 % zu gering vorausgesagt werden.

Im Bruchzustand sind die tatsächlichen Setzungen sogar um 400% grösser als die nach linear-elastischer Theorie berechneten. Erstes Fliessen tritt hierbei in einem Element am Rand der Lastplatte in 25 cm Tiefe bei einer Last von etwa 1,6 Mp auf.

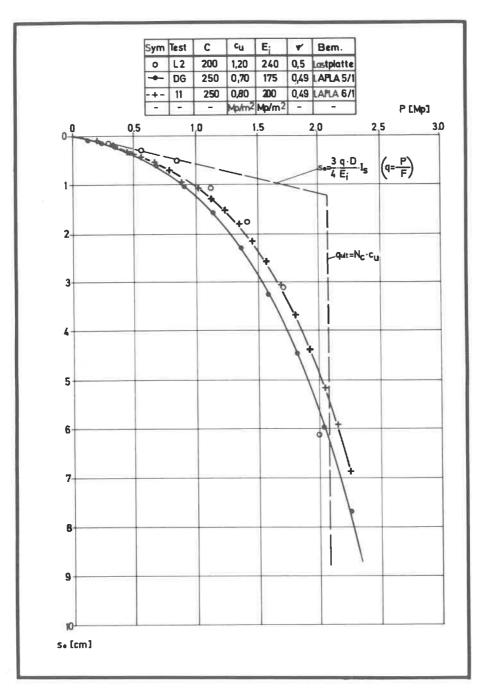


ABB.27: KRAFTVERSCHIEBUNGSDIAGRAMM DES LASTPLATTENVERSUCHS; LAPLA 1

Für die Laststufe Nr. 17 (90 % der Gesamtlast) sind Diagramme für die Linien gleicher, auf die Belastung bezogener Porenwasserüberdrücke Δu (Abb. 29), und Linien gleicher Scherzahlen S (Abb. 28) aufgetragen worden.

In den Diagrammen treten insbesondere die Spannungsspitzen unmittelbar unter dem Rand der starren Lastplatte deutlich hervor. Der Bereich, für den die Scherzahlen S grösser als 0,5 sind, erstreckt sich bis zu einer Tiefe von maximal 2,5 mal dem Radius, der Lastplatte bei einer Ausdehnungsbreite von 1 mal dem Radius, die asymmetrisch zu einer senkrechten Linie durch den Lastplattenrand nach aussen zum Seitenrand hin verschoben ist.

Unter der vereinfachenden Annahme, dass unterhalb des Lastplattenrandes keinerlei Drehung des Hauptspannungstensors
stattgefunden hat und die dreiaxialen Verhältnisse des Versuchs im Labor auf die Feldsituation übertragen werden können, hat man damit auch das Gebiet umfasst, in dem infolge
Schubverformungen grosse Porenwasserüberdruckerhöhungen entstehen können, die gegenüber der linear-elastischen Theorie
um 100 % grösser ausfallen.

Die Darstellung des normierten Porenwasserüberdrucks bestätigt darüber hinaus eine Ausdehnung der Porenwasserüberdruckverteilung vom Rand der Lastplatte in Richtung zum Seitenrand hin. Die 50 %-Linie kennzeichnet dabei den Bereich, bei dem trotz 2-facher Grundbruchsicherheit die Reserven der effektiven Scherfestigkeit voll erschöpft sind und der Bruch beginnt. Diese Tatsache ist in der Praxis bei zu schnellen Dammschüttungen oft beobachtet worden: Ein "Weichwerden" der Dammfüsse mit anschliessendem Bruch.

Mit der Tiefe nehmen die entstehenden Porenwasserüberdrücke relativ rasch ab. Bei Tiefen von 2-fachem Lastplattendurchmesser ist schon kein nennenswerter Porenwasserüberdruck mehr vorhanden.

Um die Auswirkung der im Ansatz enthaltenen Entlastungsund Wiederbelastungsmoduln besser zu zeigen, wurden Rechen-

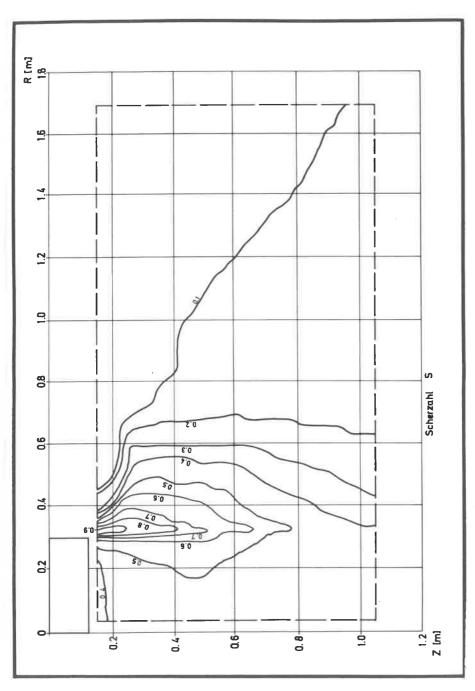


ABB.28: LINIEN GLEICHER SCHERZAHLEN S; LAPLA 1, LASTSTUFE 18

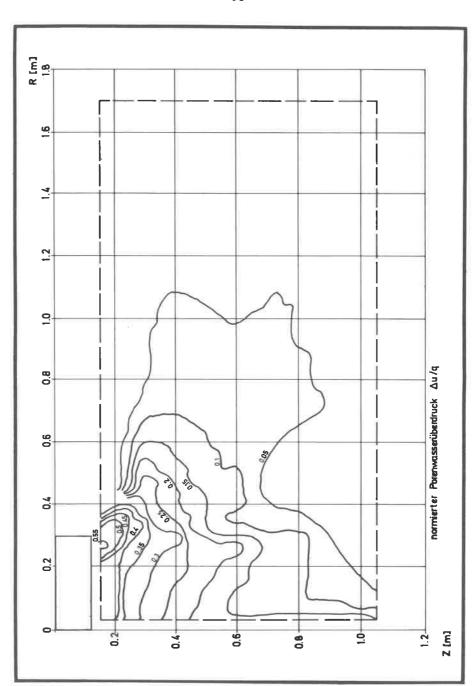


ABB. 29: DARSTELLUNG DER LINIEN GLEICHER NORMIERTER

läufe mit der Geometrie des Lastplattenversuchs (Netz 6) und den aus den Dreiaxialversuchen ermittelten Materialkonstanten durchgeführt, wobei der mittlere Wert C = 250 angesetzt und der Lastinkrementwert Δq auf das Doppelte O,8 Mp/m² bei gleicher Inkrementzahl von 20 erhöht wurde. In der Entlastungsund Wiederbelastungsphase wurde dagegen mit Lastinkrementwerten Δq von 3,6 Mp/m² bzw. 2,40 Mp/m² gerechnet.

Alle anderen Materialwerte entsprachen denen der vorhergegangenen Untersuchungen.

Das Ergebnis der Untersuchung von Ent- und Wiederbelastung zeigt die Abb. 30, in der die Kraft P über der Setzung des mittleren Punktes der starren Lastplatte aufgetragen wurde. Die Darstellung zeigt deutlich, dass die Linien der Entlastungsäste nahezu parallel zu der Neigung der Entlastungslinie des Versuchs verlaufen und damit das Materialverhalten mit dem getroffenen Ansatz sinnvoll simuliert werden kann.

Ein genauer Vergleich mit Entlastungs- und Wiederbelastungsvorgängen aus mehreren Felduntersuchungen kann im Rahmen dieser Arbeit nicht mehr erfolgen, da dazu eine genaue Kenntnis der bereits erwähnten Krustenbildung an Ort und Stelle erforderlich ist. Die erforderlichen Untersuchungen sollen aber im Rahmen eines Forschungsvorhabens [39] erfolgen.

Ebenso konnte ein Vergleich mit gemessenen Porenwasserüberdrükken noch nicht erfolgen, da die notwendigen Einrichtungen zu dieser Zeit noch nicht installiert werden konnten.

Zusammenfassend kann man sagen, dass das vorgeschlagene Berechnungsmodell im Zusammenhang mit einem FE-Rechenprogramm SANE in der Lage ist, nichtlineares Porenwasserüberdruckverhalten, sowie die Art der Belastung (Erstbelastung, Ent- oder Wiederbelastung), einer kreisförmigen Lastplatte nachzuahmen.

4. Zusammenfassung und Schlussbetrachtung

4.1 Zusammenfassung der experimentellen Ergebnisse

An 40 gestört vorbereiteten Dreiaxialproben von normalverdich-

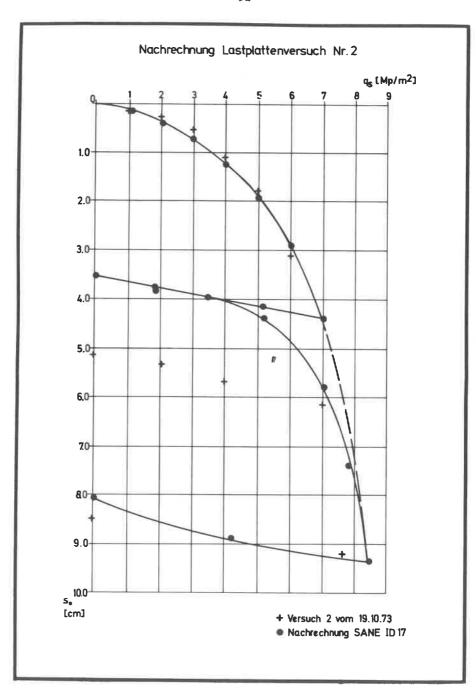


ABB.30: NACHRECHNUNG EINES LASTPLATTENVERSUCHS,MIT 'ENT- UND WIEDERBELASTUNGSÄSTEN

tetem wassergesättigtem Seeton aus dem Konstanzer Bodenseegebiet wurden im Rahmen dieser Arbeit Versuche im Labor des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik der Universität Stuttgart unter undrainierten Bedingungen durchgeführt.

Die Versuche zeigen, dass die Scherfestigkeit des undrainierten Bodens $\mathbf{c}_{\mathbf{u}}$ mit der Tiefe z der Schicht zunimmt und dass bei vielen oberen Schichten die Annahme einer Krustenbildung mit einem grösseren mittleren $\mathbf{c}_{\mathbf{u}}$ -Wert gerechtfertigt erscheint.

Die Meinung, dass eine lineare Abhängigkeit des Anfangstangentenmoduls $E_{\bf i}$ von der Scherfestigkeit des undrainierten Bodens besteht, wird von sehr vielen Autoren ([5], [14], [17], [24]) vertreten. Das bedeutet dann: Auch der Anfangstangentenmodul $\dot{E}_{\bf i}$ nimmt mit der Tiefe z zu. Die Versuche bestätigen diese Tendenz.

Die aus den undrainierten Dreiaxialversuchen gewonnenen Spannungsverformungsdaten lassen sich relativ gut mit Hyperbeln
nach KONDNER [7] beschreiben und aus der Ähnlichkeit der effektiven Spannungspfade der konsolidierten undrainierten Dreiaxialversuche lässt sich das nichtlineare Porenwasserüberdruckverhalten gut ableiten. Dabei zeigt sich deutlich, dass mit
zunehmenden Scherzahlen S der Porenwasserüberdruckanteil aus
der Oktaederschubspannung stark zunimmt, was zu einer erheblichen Reduzierung der effektiven Scherfestigkeit führt.

Mit Hilfe der 6 Materialkonstanten c_{u_0} , c_p , C,R_f , M,K_M , die in Standard-Dreiaxialversuchen bzw. aus Feldversuchen ermittelt werden können, als Eingangsgrössen in ein FE-Rechenprogramm kann das Materialverhalten des untersuchten Seetons gut beschrieben werden.

4.2 Zusammenfassung der theoretischen Ergebnisse

Es wurden theoretische Untersuchungen für 4 Dreiaxialversuche (CU1, CU7, CU2O, CU26) und für einen Lastplattenversuch mit einem FE-Rechenprogramm durchgeführt.

Die Auswertung der Ergebnisse zeigte, dass für die Dreiaxialversuche das Spannungsverformungsverhalten und das Porenwasserüberdruckverhalten gut vorhergesagt werden kann. Auftretende Abweichungen sind beim Vergleich mit experimentellen Schwankungsbreiten, die 10 % betragen können, vernachlässigbar klein. Weiter ist es bei der Auswertung eines FE-Programms ein Vorteil, einen Überblick über die Spannungsverteilung innerhalb einer Probe erhalten zu können, womit man mögliche Randeinflüsse besser abschätzen kann. Leider konnten die berechneten Horizontalverschiebungen wegen der vereinfachten Versuchsdurchführung (Standard-Versuche) nicht mit gemessenen Daten verglichen werden.

Für den Lastplattenversuch in Konstanz ergab die Auswertung der experimentell ermittelten Kraftverschiebungslinie eine Scherfestigkeit, die rund 20 % grösser war als der mit Drei-axialversuchen an Konstanzer Seeton ermittelte Wert, was - da sich die obere Schicht bis zu einer Tiefe von maximal einfachem Durchmesser der Kreisplatte erstreckt - auf eine Krustenbildung, wie es bei solchen weichen Tonen häufig ist, zurückgeführt werden könnte.

Die Nachrechnung des Lastplattenversuchs mit den Materialwerten aus den Dreiaxialversuchen ergab daher im geringeren Lastbereich grössere Setzungen als die gemessenen, um bei grösseren Lastbereichen nahe dem Bruchzustand geringere Setzungen vorherzusagen.

Die Ergebnisse der theoretisch ermittelten Kraftverschiebungslinie zeigen aber deutlich, dass die Setzungen bei Benutzung einer rein linear-elastischen Theorie erheblich unterschätzt werden könne, selbst bei Einhaltung eines Sicherheitsfaktors von 2,0.

Die Darstellung von Linien gleichen Porenwasserüberdrucks zeigt die für die Praxis interessante Verteilung unterhalb der Fundamentkante (oder eines Dammfusses), die im Bereich der grössten Schubspannungen eine erhebliche Abnahme der effektiven Scherfestigkeit zur Folge hat.

Schliesslich wurden in das bestehende Programm SANE auch Entund Wiederbelastungsvorgänge eingebaut. Ein genauer Vergleich mit experimentell gemessenen Ent- und Wiederbelastungskurven konnte jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht mehr vorgenommen werden, da dazu noch genauere Untersuchungen an Ort und Stelle erfolgen müssen.

Die Kenntnis der Anfangssetzungen ist für die Praxis wichtig, da sie einen relativ grossen Teil der Gesamtsetzungen ausmachen können. Mit den bisher bekannten konventionellen Ansätzen ist eine Erfassung der Schubverformungen kaum möglich gewesen. Mit der Anwendung eines numerischen Lösungsverfahrens von Randwertaufgaben des Grundbaus ist es jedoch heute möglich, komplexere Vorgänge als bisher nachrechnen zu können.

Wenn auch die Ermittlung der Anfangssetzungen eine Rolle bei der Konstruktion eines Bauwerks auf weichem Untergrund spielt, entscheidender noch ist die möglichst genaue Kenntnis der Porenwasserüberdruckverteilung, da hier die Sicherheiten gegen Bruch oft sehr schnell erschöpft sind.

4.3 Weitere Entwicklung

Diese Arbeit befasste sich mit der Ingenieuraufgabe, erforderliche Untersuchungen und Lösungswege so auf ein wirtschaftlich vernünftiges Mass einzuschränken, dass bei der Beantwortung praktischer Fragen der erforderliche Rechenaufwand vertretbar bleibt. Diese Aufgabenstellung hat notwendigerweise als Konsequenz die Entwicklung von Modellvorstellungen zur Folge, die die Wirklichkeit nur annähernd beschreiben. Die als vorrangig erachteten Parameter, nämlich die Nichtlinearität der Spannungsdehnungsbeziehungen, sowie die Spannungsabhängigkeit des Anfangstangentenmoduls wurden neben dem nichtlinearen Porenwasserüberdruckverhalten bei der Berechnung der Spannungen und Verformungen berücksichtigt, wobei stets nur der stationäre Ausgangszustand, d.h. also keinerlei Zeiteinflüsse, betrachtet wurden.

Die zukünftige Entwicklung muss in die Richtung des zeitabhängigen Materialverhaltens gehen, d.h. der Einbau der Konsoli-

dationstheorie in ein FE-Programm. Dazu wird es notwendig sein, höherwertige Elemente zu entwickeln, die die geforderten zusätzlichen Aufgaben übernehmen können.

Auf dem Gebiet der experimentellen Bodenmechanik wird insbesondere den Feldversuchen in der Zukunft mehr Gewicht beigemessen werden als einer noch ausgefeilteren Labortechnik. Lastplatten und Sonden werden deshalb in verstärktem Masse in der Praxis angewendet werden, um an Ort und Stelle die massgebenden Materialkonstanten bestimmen zu können.

Die Nachrechnung der gebräuchlichsten Feldversuche mit Hilfe von numerischen Verfahren muss ständig verbessert werden, damit der praktisch tätige Ingenieur daraus Schlüsse für seine Konstruktionen ziehen kann. Diese Arbeit sollte einen Beitrag zu dieser Ingenieuraufgabe liefern.

Literaturnachweise

[1] Hvorslev, M.J. (19	saturated cla Proc.ASCE Res	onents of the shear strength of ys earch Conf.Shear Strength Cohesive , Col., 169-273
[2] Gibson, R.E. (19	and true angl	determination of the true cohesion e of internal friction in clays FE Zürich,Bd.1, 126-130
[3] Bishop,A.W./ (19 Henkel,D.J.	Triaxial Test	nt of Soil Properties in the : Arnold Ltd. London
[4] Lambe, T.W. (19	67), StressPath Me ASCE Journal	ethod 93, SM6, 117-141
[5] Bjerrum,L. (19	73), General State Proc.VIII.ICS	of the Art Report MFE Moskau
[6] Duncan,J.M./ (19 Chang,C.Y.		llysis of stress and strain in soils 96,SM5, 1629 - 1652
[7] Kondner,R.L. (19	63), Hyperbolic St ASCE Journal	ress-Strain Response of Cohesive Soils 89, SM1, 115 - 143
[8] Terzaghi,K. (19	Tones aus dem Spannungsers	ng der Durchlässigkeitsziffer des n Verlauf der hydrodynamischen cheinungen chte Akad.d.Wiss.Wien, IIa,125-138
[9] Rendulic,L. (19	stresses for	ween void ratio and effective principle a remoulded silty clay E Cambridge, vol.3, 48-51
[10] Skempton, A.W. (19		ssure coefficients A and B 4, 143 - 147
[11] Henkel, D.J. (19	Proc.ASCE Res	rength of saturated remolded clays search Conf.Shear Strength Cohesive r, Col., 533 - 554
[12] Boutwell jr., (19 G,P.		behaviour of cohesionless materials ries School of. Eng.Duke Univ.Durham na no.7
[13] Schofield,A.N./ Wroth,C.P. (19	Critical Sta 968), ed. McGraw-H	te Soil Mechanics ill New York
[14] Ladd,C.C. (19		n modulus of clay in undrained shear 90, SM5, 103 - 131
[15] Duncan,J.M./ (19	968), The signific ASCE Journal	ance of cap and base restraint 94, SM1, 271 - 290
[16] Mitchell,R.J. (19	overconsolid	ons from isotropy in a lightly ated clay 22, 459 - 467
		f pore pressures beneath an embankment 1 97, SM6, 881 -897

[18] Bhaskaran,R. (1973), Discussion of [16], Géotechnique 23, 292

- [19] Lo, K.Y. (1965), Discussion on Effects of rotation of principal axes and of the intermediate principal stress.. Proc.VI.ICSMFE Montreal, vol.1, 179 - 183 [20] Clough, R.W. (1965), The Finite-Element-Method in Structural Mechanics in: Stress Analysis, eds. Zienkiewicz/Holister John Wiley and Sons Ltd. London 21 Newmark, N.M. (1960), Failure Hypothesis for Soils Proc.ASCE Research Conf.Shear Strength Cohesive Soils Boulder, Col., 17 - 32 [22] Roscoe, K.H. / Schofield, A.N. / On the yielding of soils Wroth, C.P. (1958), Géotechnique 8, 22 - 53 [23] Burland, J.B. (1971), A method of estimating the pore pressures and displacements on soft natural clay deposits Proc.Roscoe Memorial Symposium Cambridge 505-536 [24] Höeg,K. (1972), Finite element analysis of strain-softening clay ASCE Journal 98, SM1, 43 - 58 [25] Herrmann, L.R. (1965), Elasticity equations for incompressible materials and nearly incompressible materials by a variational theorem AIAA Journal 3, 1896 - 1900 [26] Schad, H. / Gußmann, P. (1973), Über den Einfluß der Diskretisierung auf mit Elementenmethoden berechnete Grundbauaufgaben CAD-Berichte Heft 1, GfK Karlsruhe [27] Smoltczyk, U./Wittke, W./ Über den Stellenwert der theoretischen Boden-Gußmann,P. (1972), mechanik Vorträge Baugrundtagung Stuttgart [28] Hambly, E.C. (1972), Plane strain behaviour of remoulded normally consolidated kaolin Géotechnique 22, 301 - 317 [29] Gwinner, M.P./Geyer, O.F. Einführung in die Geologie des Landes Baden-(1968), Württemberg 178 - 179E.Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart [30] Lowe, J. / Johnson, T.C. Use of back pressure to increase degree of (1960), saturation of triaxial test specimens Proc.ASCE Research Conf.Shear Strength Cohesive Soils Boulder, Col., [31] Blight, G.E. (1963), The effect of non-uniform pore pressures on laboratory measurements of the shear strength of soils ASTM Special Techn. Publ. 361, 173 - 184 [32] Gibson, R.E./ (1967), Plain Strain and Axially Symmetric Consolidation Schiffman, J.K./Pu, S.L. of a Clay Layer of Limited Thickness MATE Report 67-4 Univ.Illinois
- [34] Lambe, T.W./Whitman, R.V. Soil Mechanics
 (1969), ed. John Wiley Sons Inc., New York
 [35] Smoltczyk, U. (1972), Bodenmechanik zwischen Naturwissenschaft und Techni.

Addhison-Wesley Publ.Co, Reading Mass.

Der Bauingenieur 47, 73 - 80

[36] Tiedemann, (1937), Über die Schubfestigkeit bindiger Böden Die Bautechnik 15, 400

[33] Scott, R.F. (1963), Principles of Soil Mechanics

(1969), Volume-Change-Pore-Pressure Relations for [37] Olson, J.P. Saturated Cohesive Soils Ph.D. Thesis Univ.Raleigh, USA In-situ strength characteristics of soft clays [38] Noorany, I./Seed, H.B. (1965), ASCE Journal 91, SM2, 49 - 80 Verformungen wassergesättigter Böden [39] Smoltczyk, U./Thamm, B. (1974), DFG-Bericht, unveröffentl.Manuskript (1950), Über ein Variationstheorem in der Elastizitätstheorie [40] Reißner,E. Journal Mathem. Phys. 29, 90 - 95 (1970), Application of the Finite Element Method of Stress [41] Thamm, B.R. Analysis to Saturated Soils M.Sc.-Thesis Univ. of Waterloo, Canada (1948), Fundamentals of Soil Mechanics [42] Taylor, D.W. ed. John Wiley&Sons, Inc. New York [43] Skempton, A.W./Bjerrum, L. A Contribution to the Settlement Analysis of (1957), Foundations on Clay Géotechnique 7, 168 (1973), A microscopic model of expansive clays [44] Sankaran, K.S. 3.Int.Conf. on Expansive Clays Haifa FEM als direkte Variationsverfahren der [45] Stein, E./Wunderlich, W. (1973), Elastostatik in: FEM in der Statik (Herausgeber: Buck, Scharpf, Stein, Wunderlich) Verlag von W.Ernst u.Sohn Berlin (1964), Shearing Resistance of Soils as a Rate Process [46] Mitchell, J.K. ASCE Journal 90, SM1, 29 - 61 Kriechverhalten eines norddeutschen Kleibodens [47] Blümel, W./Richwien, W. (1974), Spezialsitzung "Monotone zeitabhängige Vorgänge im Baugrund" der Baugrundtagung Frankfurt

Dt.Ges.f.Erd- u.Grundbau Essen

Zusammenstellung der verwendeten Symbole

- A Porenwasserdruckparameter von Skempton
- A_f Porenwasserdruckparameter A beim Bruch
- B Porenwasserdruckparameter von Skempton
- b konstanter Abschnitt auf der Deviatorachse t
- $\mathbf{b}_{\mathbf{D}}$ Beiwert zur Berücksichtigung der Dränagebedingung am Kopf bzw. Fuß einer Dreiaxialprobe
- $\mathbf{b}_{_{\mathbf{F}}}$ Beiwert für die Berechnung der Konsolidationszeit von Dreiaxialproben
- C Verhältnis des Anfangstangentenmoduls $\mathbf{E}_{\mathbf{i}}$ zur Scherfestigkeit $\mathbf{c}_{\mathbf{i}}$
- C Kompressionsbeiwert (s.DIN 4015)
- C_m dimensionsloser Faktor bei der Beziehung $E_i/\sigma_{3c}' = f(\sigma_v'/\sigma_{3c}')$
- C Schwellbeiwert (s.DIN 4015)
- c' effektive Kohäsion (s.DIN 4015)
- c Anstieg der Geraden der totalen Scherfestigkeit in Abhängigkeit von der Vorbelastung
- c Scherfestigkeit des undränierten Bodens (s.DIN 4015)
- c c -Wert an der Oberfläche
- c. Konsolidierungsbeiwert (s.DIN 4015)
- $c_{_{_{\rm Z}}}$ Anstieg der Geraden der totalen Scherfestigkeit als Funktion der Tiefe
- E Elastizitätsmodul
- E, Anfangswert von E
- E Sekantenwert von E
- E, Tangentenwert von E
- E_{ui} Modul E_i des undränierten Bodens
- \mathbf{E}_{n+} Modul \mathbf{E}_{+} des undränierten Bodens
- e Porenzahl (s.DIN 4015)
- e Anfangswert der Porenzahl
- e e vor Beginn des Abscherens
- H halbe Dicke einer zweiseitig entwässerten Schicht
- H Anfangshöhe einer D.eiaxialprobe
- Hohe der Dreiaxialprobe vor Beginn des Abscherens
- Δh Setzung im Oedometer
- h Ausgangshöhe im Oedometer
- I Plastizitātszahl (s.DIN 4015)
- K_{M} konstantes Verhältnis σ' / σ' occ
- $egin{array}{ll} K_n & {
 m dimensionsloser} & {
 m Koeffizient} & {
 m in} & {
 m der} & {
 m Beziehung} & {
 m des} & {
 m Moduls} & {
 m E}_{{
 m t}} & {
 m bei} & {
 m Beginn} & {
 m des} & {
 m Abscherens} & {
 m zur} & {
 m Konsolidationsspannung} & {
 m consolidationsspannung} & {
 m$
- K Ruhedruckbeiwert (s.DIN 4015)
- k Durchlässigkeitsbeiwert (s.DIN 4015)

- M Anstieg der Bruchgeraden im Tocforf Diagramm
- OCR Überkonsolidierungsverhältnis (overconsolidation ratio)
- p atmosphärischer Druck
- $\mathbf{q}_{\mathrm{ult}}$ rechnerischer asymptotischer Grenzwert der Scherfestigkeit nach Kondner
- R Korrelationsfaktor
- $\mathbf{R}_{\mathbf{f}}$ Verhältnis der tatsächlichen Scherfestigkeit zum asymptotischen Grenzwert $\mathbf{q}_{\mathrm{ult}}$
- S Scherzahl
- s_e Scherzahl für α_{max}
 - Scherzahl für a < 0
- $s_a = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3)$
- T_ normierte Zeitvariable der Konsolidationstheorie (s.DIN 4015)
- t Zeit
- $t_a = \frac{1}{2} (\sigma_i \sigma_3)$
- t_f Dauer des Abschervorgangs
- U Konsolidationsgrad (s.DIN 4015)
- u gesamter Porenwasserdruck
- Δu Porenwasserdifferenzdruck (s.DIN 4015)
- \mathbf{u}_{hp} Sättigungsdruck (back pressure)
- u Ausgangsporenwasserdruck
- $\Delta \mathbf{u}_{_{\mathcal{L}}}$ Porenwasserdifferenzdruck beim Bruch
- V Anfangsvolumen der Dreiaxialprobe (Einbau)
- V Volumen der Dreiaxialprobe vor Beginn des Abscherens
- v Abschergeschwindigkeit
- w Wassergehalt
- wassergehalt bei Versuchsanfang
- w_e Wassergehalt bei Versuchsende
- w_{t.} Fließgrenze (s.DIN 4015)
- w_p Ausrollgrenze (s.DIN 4015)
- w Wassergehalt vor dem Abscheren
- z Tiefenkoordinate
- $\mathbf{z}_{\mathbf{a}}$ Tiefe \mathbf{z} , bis zu der die Scherfestigkeit $\mathbf{c}_{\mathbf{u}}$ = const angenommen wird
- Porenwasserdruckparameter
- $\alpha_{_{\it F}}$ Porenwasserdruckparameter beim Bruch
- β Neigungswinkel der Bruchgeraden im (s;ta)-Diagramm
- γ' effektive Wichte (s.DIN 4015)
- $\gamma_{_{\rm S}}$ Wichte der Feststoffe des Bodens (s.DIN 4015)

$Y_{\mathbf{w}}$	Wichte des Wassers (s.DIN 4015)
$\epsilon_{_1}$	axiale Stauchung einer Dreiaxíalprobe
€ _f	axiale Stauchung einer Dreiaxialprobe beim Bruch
λ _c	Kompressionsbeiwert (s.DIN 4015)
λ _s	Schwellbeiwert (s.DIN 4015)
σι	effektive Oktaedernormalspannung
Δσος	Änderung der totalen Oktaedernormalspannung
σ' vc	effektive Konsolidationsspannung
σ' vo	effektive Konsolidationsspannung im Oedometer
σ' vm	arithmet.Mittel der Hauptspannungen aus geologischer Vorbelastung
σ_{1}	größte Hauptspannung
σ_2	mittlere Hauptspannung
σ ₃	kleinste Hauptspannung
σ; 3c	effektive Konsolidationsspannung nach isotroper Konsolidation
τ _{oc}	Oktaederschubspannung
Δτ _{ος}	Anderung der Oktaederschubspannung
φ'	effektiver Scherwinkel (s.DIN 4015)



TABELLE I

											_	T =		_	_	_
	Веш							u zu h				w zu ekleir				
	3 0	оно	30,7	28,5	33,1	25,4	26,6	25,7	23,8	24,1	35,7	26,6	28,3	30,2	24,4	27,5
	*°	оAb	29,9	27,2	27,7	24,9	24,7	23,6	21,6	22,5	32,6	31,1	31,7	30,4	24,5	25,1
RENS	m ^O	E C	69'8	8,81	8,85	8,64	8,73	8,69	8,76	8,73	00'6	8,97	96,8	9,02	8,97	9,02
ABSCHERENS	>°	cm ³	84,5	81,8	88,5	80,9	82,2	81,6	81,0	81,2	83,5	83,3	85,6	84,6	79,2	82,5
INN DES	α,1	kp/cm ²	1,00	1,99	95'0	4,54	3,42	4,59	8,25	8,11	0,91	1,95	1,89	1,20	3,73	1,99
VOR BEGINN	م ع	kp/cm	06,0	1,70	0,49	3,84	2,90	3,17	7,88	7,79	0,94	1,95	1,96	1,03	3,98	2,03
	я —	kp/cmkp/cm/kp/cm/mm/min/p/cm²kp/cm²	1,10	1,30	1,01	1,16	1,10	1,83	1,12	1,21	2,06	2,05	1,04	66'0	1,02	1,05
ERGEBNISSE	α ₃	Fp/cm ²	2,0	3,0	1,5	5,0	4,0	2,0	0'6	0'6	3,0	4,0	3,0	2,0	5,0	3,08
NG DER	> 0	mm/mir	0,05	0,05	0,05	50,0	50,0	0,05	90,0	90'0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
ZUSAMMENSTELLUNG	σ ₃	kp/cm	1,0	2,0	5,0	4,0	3,0	4,0	8,0	8,0	1,0	2,0	2,0	1,0	4,0	2,0
AMMENS	đď	kp/c	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	۵ 3	kp/cm	2,0	3,0	1,5	5,0	4,0	5,0	9,0	0,6	3,0	4,0	3,0	2,0	5,0	3,0
C, U-VERSUCHE	o tm	kp/cf	9,0	9,0	9,0	0,85	0,85	0,85	1,3	1,3	0,4	0,4	0,8	0,8	8,0	0,8
c, u-v	⊕ ————————————————————————————————————	1	0,94	0,93	0,88	06,0	0,86	0,87	0,86	0,85	1,01	1,01	1,0	66,0	0,93	0,87
gmg	3 4	de	34,6	34,4	32,3	32,9	31,6	32,2	31,8	31,5	37,3	37,3	37,2	36,7	34,2	31,7
† nach u Aufbring †† Y = 2,5%2 Mp/m³	≻ F	Mp/m	1,88	1,89	1,88	1,92	1,94	1,92	1,91	1,90	1,80	1,83	1,90	1,91	1,90	1,92
2 pp At	> + ¤	E E	/192,5	91,6	91,4	93,1	93,1	94,1	1 94,8	94,9	91,5	2 91,1	90,6	2 91,7	1 92,3	92,0
nach † Y = ;	Probe		212	212/2	212/	222/1	222/3	222/	232/1	232/3	302/1	302/2	311/1	311/2	312/1	312/2
++	Test		CU 1	cu 2	cn 3	CU 4	cu 5	cn e	cn 7	CU 8	cn9	CU10	G U11	CU12	CU13	CU14

[2]
12
1
띘
F
EH

		- A T				Т	AT	1			T				
	Bem.	horiz.P					horiz.Pr								ł
	≽ o	30,5	26,6	27,2	23,8	27,5	25,9	24,6	23,5	26,7	27,2	28,4	23,4	23,6	dю
<u>a</u>	o 3	31,4	22,5	19,4	21,6	24,6	25,9	24,0	20,7	25,1	26,4	26,5	23,2	22,8	ф
(Fortsetzung)	Ξ°	8,72	9,11	8,99	66,8	86,8	8,86	96'8	8,99	8,82	8,97	8,84	8,62	8,69	E
(For	0	84,3	81,7	78,8	74,4	81,2	81,7	90,3	88,3	81,5	7,77	83,0	77,9	0,77	E E
c h	Abscheren G' ₁	0,87	3,68	3,16	4,38	2,04	2,22	98,0	1,15	1,63	1,99	0,98	4,10	3,92	kp/cm²′
n s z	dem 3,3	86,0	3,80	3,11	4,56	2,09	1,98	0,34	1,04	1,58	1,96	0,72	3,88	3,95	mp/dm
> \ -	Werte vor	1,02	2,2	2,06	1,44	2,02	2,02	4,16	4,07	1,36	1,05	1,33	1,10	1,05	E
C, U	G ₃	2,0	6,0	5,17	0,0	4,11	4,0	4,5	5,11	2,94	3,01	2,05	4,98	0,2	kp/cm kp/
e IV	⊳۵	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	kp/cmkp/cm kp/cmm/min
e 1 1	o3c	1,0	4,0	3,0	4,0	2,0	2,0	0,5	1,0	2,0	2,0	1,0	4,0	4,0	kp/cm
a D	t b.p.	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	0,4	4,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	mkp/cm
H	d ₃	2,0	0,0	5,0	0,0	0,4	4,0	4,5	2,0	3,0	3,0	2,0	5,0	5,0	*kp/cf
	σ' vm	0,8	1,2	1,2	9,0	9,0	9,0	2,0	+	0,6	0,4	0,7	0,7	0,7	kp/cm²
	e S	96,0	0,81	0,78	06,0	0,89	0,91	0,68	0,72	0,89	1,09	06,0	0,91	0,92	
ingung	wa	35,4	29,7	28,5	33,2	32,6	33,4	25,0	26,5	32,8	40,0	33,2	33,4	34,0	qp
Aufbri n	γŧ	1,89	1,94	1,93	1,93	1,93	1,93	1,99		1,89	1,84	1,89	1,90	1,88	Mp/m³
Va nach u Aufbri 2 vs · 2 .72 bpc m	. va	91,2	93,1	92,4	91,4	93,2	90,8	93,2		91,6	89,3	91,5	2 91,5	3 91,5	cm ³
nach	Vers Nr.	312/3	322/	322/2	332/1	332/2	332/	342/	_	501	1 511	521/1	521/2	521/	Li
1 2 2	Tes Nr.	cu15	CU16	CU17	cul8	cu19	CU20	CU21	CU22	CU23	CU24	CU25	CU26	CU27	

TABELLE II

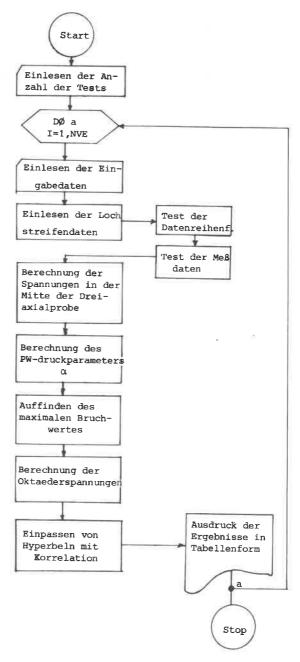
lid.	∃es+	1	CU 1	CU 2	CU 3	CU 4	cu 5	9 no	CU 7	8	6 95	CU10	cu11	CU12	CU13	CU14
alkonso	ي ع	kp/cm ²	0,23	0,21	0,26	0,28	0,29	0,34	6,39	0,41	90,0	0,14	0,20	0,35	0,21	0,21
σ vm/σ3c· tafonsolid.	E,/03	1	120	88	102	87	128	97	252	236	21	17	25	63	17	35
J σ vm/σ3c. + σ √σ3 c 11		1	6,0	86,0	1,00	0,94	96'0	96'0	0,975	66'0	1,00	08,0	96'0	96,0	0,91	26,0
	qult	kp/cm ²	0,73	1,13	0,42	2,61	2,09	2,61	4,98	4,91	0,27	1,78	1,00	0,94	2,33	1,16
	 ⊒ —Ψ.	kp/cm ²	110	143	50	330	370	300	1 996	1 844	20	33	50	65	69	70
	(01-03)		0,77	89'0	28,0	0,67	0,70	0,80	0,62	0,63	0,29	0,73	0,50	0,88	0,53	0,54
СНЕ	t n t	kb/cm ²	0,34	0,56	0,21	1,27	1,00	1,25	2,43	2,44	0,13	0,71	0,48	0,45	1,06	0,55
C ₁ U-VERSUCHE	S - LO	. 1	0,65	0,94	0,29	2,52	2,11	2,51	5,05	5,07	0,27	1,81	1,17	0,86	2,70	1,23
DER	(01-03) ▮	kp/cm ²	89,0	1,11	0,42	2,54	2,01	2,50	4,86	4,89	0,27	1,42	96'0	06,0	2,12	1,10
ERGEBNISSE	3 T	ж	7,53	16,70	1,0	13,6	3,0	0,6	9,44	8,20	4,10	21,40	17,10	19,10	24,40	16,50
1	- D ED		29,0	0,37	1,22	0,22	0,29	0,27	0,16	0,17	0,43	0,20	0,41	0,77	0,20	0,39
	م - > E	kp/cm ²	09,0	09'0	0,60	0,85	0,85	0,85	1,30	1,3	c,4o	0,40	0,80	0,80	0,80	0,80
	o to	kp/cm ²	06,0	1,63	0,49	3,81	2,90	3,11	7,85	7,81	0,94	1,95	1,96	1,03	3,98	2,03
	υ ^O	i	0,81	0,74	0,75	89,0	0,67	0,64	0,59	0,61	68,0	0,85	0,86	0,84	29,0	0,68
	Test	1	cu 1	CU 2	cu 3	CU 4	500 5	ou 6	CU 7	CU 8	6 NO	CU10	cu11	CU12	CU13	CU14

1					ERGEB	ERGEBNISSE DI	DER C ₁ U-V	C, U-VERSUCHE	(Fort	(Fortsetzung)			+	∫† siehe VI.1	.1
	ω°	Q P	+ -> ^E	o vm d3	E F	(01-03	- a	t a h	(01-03)	ы .т	qult	R _f	G 3	, a	Test
•		kp/cm ²	kp/cm ²		оþ	kp/cm ²	kp/cm ²	kp/cm ²	-	kp/cm²	kp/cm ²			kp/cm ²	
	0,85	96'0	0,80	0,82	17,90	0,48	0,45	0,24	0,49	16	0,33	1,4	16	0,20	CU15
cu16	0,61	3,80	1,20	0,32	08'6	1,76	2,24	88,0	0,46	203	1,96	0,91	53	0,28	cu16
cu17	0,53	3,11	1,20	0,39	14,20	1,88	2,20	0,94	09,0	121	2,15	0,87	39	0,37	CU17
CU18	65,0	4,56	09,0	0,13	18,90	2,36	3,25	1,18	0,52	116	2,61	0,90	25	0,15	cu18
cu19	19,0	2,09	09,0	0,29	7,65	1,42	1,38	0,71	99,0	87	1,48	0,95	42	0,20	cu19
CU20	0,71	1,98	09'0	0,30	18,60	1,76	1,70	0,88	0,89	138	1,89	0,93	78	0,26	CU20
CU21	9,65	0,34	2,00	5,90	5,80	86,0	92,0	0,49	2,90	306	66,0	66,0	900	1	CU21
CU22	95,0	1,04	2,00	1,90	7,80	1,64	2,05	0,82	1,57	37	2,55	0,64	35		CU22
CU23	0,68	1,58	09'0	0,38	20,90	1,50	1,63	0,75	0,95	205	1,53	86,0	130	0,28	CU23
CU24	0,72	1,96	0,40	0,20	19,10	1,62	1,54	0,81	0,83	51	1,98	0,82	26	0,16	CU24
cu25	0,72	0,72	0,70	76,0	15,30	0,70	0,74	0,35	26,0	130	0,56	1,20	180	0,34	C025
cu26	0,63	3,88	0,70	0,18	15,00	2,64	2,72	1,32	0,68	379	2,75	96,0	86	0,24	cu26
CU27	0,62	3,95	0,70	0,18	15,70	2,70	2,76	1,35	89,0	328	2,85	0,95	83	0,24	cu27
7															

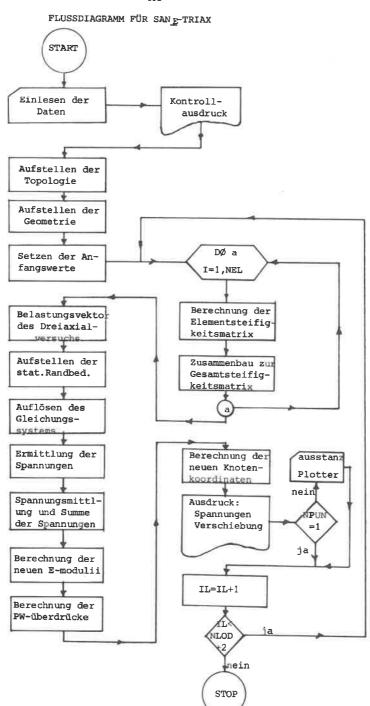
.0		T E				_		_				_			_	_	
		Bemerkunger															
- X-	α ξ Ins	A F	1	0,84	1,11	0,95	1,02	88'0	0,74	1,07	1,06	3,26	9,0	1,32	0,75	1,10	1,21
	Ins o Ans	ν _Φ	1	0,88	0,91	0,92	96'0	0,95	76,0	1,0	0,95	Į	,	1	0,92	,	0,92
ਠ		w ^o	,	9,0	0,54	0,4	0,58	09'0	0,58	0,46	0,40	1	1	1	0,53	,	0,45
	υ υ	$\alpha_{\tilde{f}}$ für S=1	I.	1,40	1,96	1,50	1,60	1,30	06,0	1,57	1,63	1	-	ŀ	1,10	1	2,24
III E	s und	α _{fber} .	ı	1,06	1,65	1,36	1,43	1,16	0,86	1,58	1,54	ı	1	2,06	0,85	1,63	1,83
TABELLE	Bestimmung von	ΔT _{oct_f}	1	0,32	0,52	0,20	1,20	96,0	1,18	2,29	2,30	0,13	0,67	0,45	0,43	1,0	0,52
	Best	∆ ^d oct _£	kp/cm ²	0,23	0,37	0,14	0,85	0,67	0,83	1,62	1,63	60'0	0,48	0,32	0,30	0,71	0,37
		δυξ	kp/cm ²	0,57	1,23	0,40	2,56	1,77	1,85	5,23	5,19	0,88	0,86	1,27	79,0	2,34	1,33
		(α ¹ -α ³) [‡]	kp/cm ²	0,68	1,11	0,42	2,54	2,01	2,50	4,86	4,89	0,27	1,42	96'0	06,0	2,12	1,10
		σ' ₃	kp/cm ²	6,0	1,63	0,49	3,81	2,9	3,11	7,85	7,81	0,94	1,95	1,96	1,03	3,98	2,03
		Test		cul	CU2	CU3	CU4	CU5	cu6	cu7	cus	6no	CU10	cull	cu12	cul3	cu14

III	
BELLE	
2	

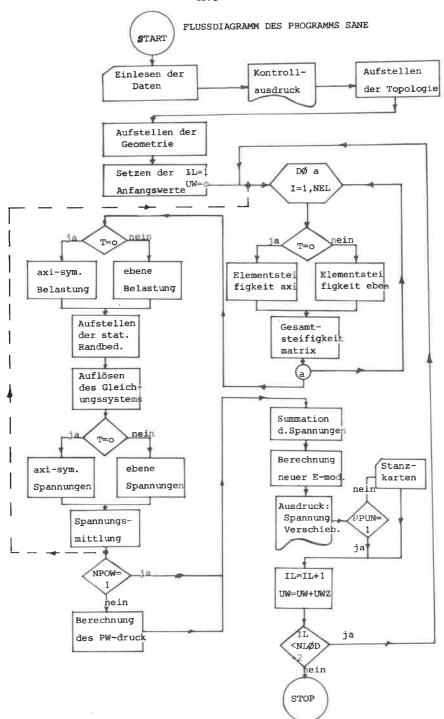
				Best	Bestimmung von S $_{ extsf{O}}$ und $^{lpha}_{ extsf{f}}$	o und	g T				
Hes t	۵,³	(0,-03) £	Δu _£	Agoctf	$\Delta au_{ m oct}_{ m f}$	α _f ber.	α _f für S=1	w _o	w [®]	Å	Bemerkungen
CU15	96,0	0,48	77,0	0,16	0,22	2,75	1	1	1	1,6	
cu16	3,8	1,76	2,44	65'0	0,83	2,21	ı	J	1	1,38	
CU17	3,11	1,88	1,84	0,63	68'0	1,38	1,44	0,50	0,98	86,0	
cu18	4,56	2,36	2,50	0,79	11,11	1,54	-	1 3		1,06	
cu19	2,09	1,42	1,41	0,47	0,67	1,40	-	ı	1	66'0	
CU20	1,98	1,76	1,16	65,0	0,83	69'0	1,20	9,0	56,0	99'0	
CU21	0.34	0,98	80,0	0,33	0,47	-0,54	ŀ	ŀ	1	80,0	überkon- solidiert
CU22	1,04	1,64	-0,20	0,54	71,0 -	76,0-	1	,	1	-0,12	überkon-
2011	1.58	1,50	0,68	0,50	0,71	0,25	1	1	ı	0,45	
CU24	1,96	1,62	1,24	0,55	0,77	0,91	1,54	0,25	8,0	0,77	
CU25	0,72	0,70	0,40	0,23	0,33	0,51	1,87	0,67	8,0	0,57	
CU26	3,88	2,64	2,48	0,88	1,25	1,28	1,56	0,40	96,0	0,94	
CU27	3,95	2,70	2,54	06'0	1,28	1,28	1,56	0,40	0,95	0,94	
ı	kp/cm ²										
				1							



FLUSSDIAGRAMM SPADR



			вем.		+ Konst. Versch			Scope3:42.	Scope 3.4
	tanten	AF=o. SO=o.	PRØGRAMM (Element	-	QUAXC9	TRIAX3	Ε	=	
	Materialkonstanten	4 W	TEST Nr.	-	CU26	CU26	CU20	CU 1	cu 7
	Mater	CP=o. PHI=o.	FN (AKN)		1	0,625	0,625	0,625	0,625
		O EE	FK (AMS)		-	0,515	0,515	0,515	0,515
			8	kp/mm	0,013	0,96 0,0024 0,515	0,49 0,93 0,0026 0,515	0,49 0,93 0,0023 0,515 0,625	0,49 0,94 0,0039 0,515 0,625
	den	RR=1,8mm GPR=o.kp/mm ²	R H	1	96'0	96'0	0,93	0,93	0,94
EN	lingun	RR=1,8mm PR=o.kp,	v i	1	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
VERSUCE	Randbed		E n	kp/mm ²	3,800 0,49 0,95	3,790	1,380	1,100	20,000
EIAXIAI	Geometrie und Randbedingungen	CN=2,7	UWZ	kp/mm²	0,0388 0,0388	0,0388	0,0198	0,000,0	0,0785
NON 5	Geometz	MM≕o T≕o.mm	UWR	$\rm kp/mm^2 \ kp/mm^2 \ kp/mm^2 \ kp/mm^2$	0,0388	0,0388 0,0388	0,0198	0,000,0	0,0785
NACHRECHNUNG VON DREIAXIALVERSUCHEN		N=20 M=10	GPZ (Ver)	kp/mm ²	3.10-3	0,0013	0,00088 0,0198 0,0198	0,00034 0,0090 0,0090 1,100	0,00280 0,0785 0,0785 20,000
NACH			NSTR	o=noV 1=V	1	1	1	1	1
		NBØU≕0 NPØW≕0	ENAUSGABE D1 NDIS	o=noS 1=S	1	1	1	1	-
	ation		DATENA NLØD1	1	20	18	18	18	18
	allgem.Information	NRIG=1 NLØD=20 (29)	NPUN	O=PUNCH 1=PRINT	1	0	0	o	0
	allgem	NI NI	PRØ. Nr.	,	DZ	42	3A	3,8	ADC
			lfd. Nr.	,		2	3	4	ĸ



				A	11				
	Mp/m ² 8 8 50=0.5	_ т	1				/6.2EW bei L9u.L15	/6.3EW bei L18u.L2	Entlastung IDNR.17 bei L14u.L2
	ialkonstanten AKN=0,625 CO=0,5 Mp/m² RF≈0,95 CP=0,18 PHI=0, AF=1.40 SO:	ENT		APLA1/5.1	/5.2	" /6.1	" /6.2EW	+ '' /6.3EW	" IDNR.17
	1 2	NETZ Nr.	1	rv H	r _U	9	9	vo	٠
	Mate EKO=0,5 AME=1,0 AMS=0,515	ZA	E	0,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	EK AM	CM	1	8,0	0,8	12,0	12,0	12,0	12,0
		Ö	1	4,4	4,4	6,4 12,0	6,4	6,4	6,4
	Jungen NLJ=8	5 'A	1	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
<u>a</u>	oeding.	U	1	250	250	250	250	250	250
ERSUCE	und Randbedi GPR=o. Mp/m³ UWR≃o. Mp/m²	UWZ	Mp/m ²	0,4	0,4	0,4	8,0	0,4	2,0
ATTENV	ie und GPR m UWR	GPZ	Mp/m³	6,0	6,0	0,0	6,0	6,0	6,0
LASTPI	Geometrie und Randbedingungen MM=c GPR=c. Mp/m³ NLJ=8 T=c. m UWR=c. Mp/m²	RR	E	0,3	0,3	6,3	0,3	0,3	0,3
NACHRECHNUNG DER LASTPLATTENVERSUCHE	G N=14 M=14	ART derDATENAUSGABE NLØD1 NDIS NSTR NCODE	o=noso=nov o=xyz 1=S 1=V 1=123	1	1	1	1		
ECHNU	ŻΨ	ENAUS	0=noV 1=V	1	1	1	н	1	
NACHI	0 = M	ART derDATENAUSGABE ILØD1 NDIS NSTR NCOI	0=no 1=S	-1	0	0	0	0	
	ion NPØW=o		!	18	18	18	Q	18	24
	allgem.Informati NRIG=1 NLØD=20 (29)	NPUN	l=fest =PRINT o=lose ==PUNC	1	0	0	0	0	1
	.lgem.Informa NRIG=1 NLØD=20 (29)	NBØU	l=fest o=lose	0	o	0	0	0	0
	ali N	PRØG. NBØU	1	ÐĞ	٦3	11	AN6	ATK	A5I
		lfd. Nr.	-		2	т	4	r.	v

† Entlastung mit 3,60 bzw.2,40 $\mathrm{Mp/m^2}$ Wiederbelastung mit 0,8 $\mathrm{Mp/m^2}$

```
SANEAX
                                                                                                                                                                                                        KORL
KORL
KORL
KORL
SANEAX
SANEAX
SANEAX
SANEAX
SANEAX
                                                                                                                                                                                                                                                                 SANEAX
                                                                                                                                                                                                                                                                                   SANGAX
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            SANEAX
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      SANEAX
                                                         SANEAX
                                                                                                                                               SANEAX
                                                                                              SANNAN
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    SANEAX
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               SANEAX
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  SANEAX
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           SANEAX
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  SANEAX
                             SANEAX
                                      SANEAX
                                               SANEAX
                                                                             SANEAX
                                                                                      SANEAX
                                                                                                          SANEAX
                                                                                                                   SANEAX
                                                                                                                             SANEAX
                                                                                                                                     SANEAX
                                                                                                                                                                    SANEAX
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            SANEAX
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         SANEAX
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      SANEAX
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                SANEAX
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        SANEAX
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               SANEAX
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              SANEAX
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        SANEAX
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 SANEAX
PROGRAM SANEAX (INPUT, OUTPUT, PUNCH, TAPE5=INPUT, TAPE6=OUTPUT, TAPE7=
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    DETERMINE COORDINATES OF NODAL POINTS AND JOINT NUMBERS ASSOCIATED WIT
                          C FINITE ELEMENT PROGRAM WITH GST-ELEMENTS FOR AXISYM, PROBLEMS
O AND FOR PLANE STRAIN
                                                      DATA UENT/-1.75/, UNIE/1.75/, UBE2/0.75/, UEN2/-4.25/
                                                                                                                                                                                                                                                       FORMAT (1H1,14HLOAD INCREMENT, IS,5x,4HUMZ=,F10.4//)
                                                                                                                                                          COMMON/COMMIL/ NRIG, WEI, NLOD, NBOU, NPOW, NPUN
COMMON/COMMIL/ USUM (362), UM, AF, SO
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         IF(IL.EQ.1) GOTO952
IF(IL.GT.1.AND.IT.EQ.) WRITE(6,761) IM,UW
CALL BANI
                                                                                                                                                                                       COMMON/INI/ SOUT (362), EKO, ZA, AME, AMS, AKN
                                                                                                                                                                                                                            DATA NBEL/14/, NW 1E/1 8/, NN B/22/, NWE/24/
                                                                                                                                                                                                                                              C READ AND PRINT OF DATA
                                                                                                                                                                             COMMON/PUN/ NLOD1, NDIS, NSTR
                                                                                                                                                                                                                   DIMENSION DELQ(50), VERS(50)
                   *******************
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  EF ( MM. EQ. 0.) GOTO1100
                                                                                                                                                                                                 COMMON/STR/ NCODE
                                                                                                                                                                                                          COMMON/VER/VERZ
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     C
C INITIALIZE VALUES
C
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  CALL DINPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             CALL AJOINT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 IL=1
CALL INIT
UM=0.
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             CALL AMEG
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         CALL BMEG
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       GOT01110
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 CONTINUE
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    CONTINUE
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       CONT INUE
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               EACH ELEMENT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  0 = L
            *PUNCH)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 1100
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        1486
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    1110
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             0000
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        ن
                                                                                        10
                                                                                                                                        15
                                                                                                                                                                                        2
                                                                                                                                                                                                                                        23
                                                                                                                                                                                                                                                                                       30
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      32
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       04
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       ţ2
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   20
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    22
```

PAGE																																									
15.25.40.	EC 1	5.0	10 1	6.0	61	0 0 0	79		6.0	89	6.0	2.7	7.2	7.2	76	7.8	. 60	81	22 8	7,8	83 o	87	98	89	06	7.6	93	46	95	92	86	99	101	53	103	105	100	108	110	111	11.2
12/90/10	SANEAX	SANIAX	SANIAS	SANEAX	SANEAX	SANINAS	SANEAX	SANER	XELINA	SANER	X Z L Z Z V	SANIBX	SANEAX	XAMAX	SANEAX	SANGAX	SANEAX	SANEAX	X A U U U	SANEAX	SANERX	SAMINAS	SANEAX	SANIAX	SANEAX	X X II X X II X X X X X X X X X X X X X	SANEAX	SANEAX	SANEAX	SANHAX	SANES	SANAS	SANEAX	SANEAX	S AN III N	SANTAX	SANEAX	SANERX	SANAS	SANEAX	SANDAX
PROGRAM SANEAX 74/74 OPT=1	C DETERMINE ELEMENT STIFFHESS MATRICES	DO120 II=1,NEL	IN (1.0EQ.D.) GOTOLGES		1003 CONTINUE	10C4 CONTINUE		JUNE 1.00 LINUS	C ESTABLISH EXTERNAL LOADS, FORM AND PRINT FORCE VECTOR		CALL BLOO	GOTO	1005 CONTINUE	10C6 CONTINUE	NL2=2*NLJ	C ESTABLISH ROUNDARY CONDITIONS		CALL AROUND	PSOLVE EQUATIONS WITH CHOLENSKI METHOD	CALL SOLVE	C CALCULATE STRESSES AT CENTROTO OF TOTANGHI BO FIEWENT		IF(T.EQ.0.) GOTO1007	TOTAL DOTAE	1667 CONTINUE		1008		C AVERAGE STRESSES ALONG ROUNDARY OF ADJACENT ELEMENTS		IF(NPOW.ED.1) GOT0970	C CALCULATE EXCESS PORE PRESSURES		GALL POWA	,		C CALCULATE NEW FLASTIC MODULI DUE ID STRESS LEVEL REACHED INPREVIOUS T LOAD INCPEMENTS			952 CONTINUE	C PRINT PESULTS
		99			A R)			2.0			í	7.5			80				85			Š	26				95			400	6			105			2 + +	4		

	PROGRAM SANEAX 74/74 OPT=1 FIN 4.:+P357	04/06/74	15.25.40.	PAGE
115	CALL OUTPUT FFILEQ.1) G070953 TFILEQ.1) G070962	S A S M M M M M M M M M M M M M M M M M	42.0044	
120	C PREPARE AND PUNCH RESULTS FOR PLOTTING	SANCAX	1111 1119 1119	
125	GALL APUN 966 CONTINUE 953 CONTINUE 1L=1L++ 1 IM=1M+1 CENTASTUNG UND MEDERRELASTUNG	N N N N N N N N N N N N N N N N N N N	1757 1754 1754 1754 1754	
130	IF(IL-1), GT, N3EL, AMD, (IL-1), LE, NWIE) 33702000 IF(IL-1), GT, NWE, MD, IL-1), LE, NW3) G0702010 IF(IL-1), GT, NW3, AMD, XIL-1), LE, NWE) G0702020	7 X X X X X X X X X X X X X X X X X X X	7 8 9 9 4 4	•
#1 E	2001 COUNTINUE UNZ-UENT GOTOZOBA 201C CONTRUE UNZ-UNIE	######################################	កស្ត្រភ្នំពេល៖ កស្តុកកស់	
146	2027 CONTRONS 2027 CONTRONS 50702001 2035 CONTRONS	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	4 4 4 4 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	
145	2001 CONTINUE C********* C********** OE.D (NL) = UM VEST (NL) = VEST UNEUM+UMZ	X X X X X X X X X X X X X X X X X X X	7 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	
155	NITELLIANDOS IFILLIANDOS 1871 E(6.3002) 3002 FORMAT(HJIJAPATENAUSSABE//) 103:01 INAI,NLOD NRTIE(6.3001) INAI,NLOD 30.11 FORMAT(1401,141AS) TINYERS(IN) 30.11 FORMAT(1401,141AS) TINYERS(IN)		7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	
160	30C CONTINUE END CONTENUE	KOR1 KOR1 SANEAK GMOD	33 129 29	

PAGE											
15.27,25.	ማ ታ በህ ወ ሎ ወ ወ c	7 T O S & S	1 1 1 1 6 2 2 8 7 6	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	10000 10000	9 09 09 09 09 09 09 09 09 09 09 09 09 09 09	# F E E E E E E	one wo	7 0 0 0 ×	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	55 56 56 68
4/09/40	ABOUND ABOUND ABOUND ABOUND ABOUND ABOUND	ABOUND ABOUND ABOUND ABOUND	A BOUND A BOUND A BOUND A BOUND	A BOUND B BOUND B BOUND B BOUND C BOUND	A BOUND A BOUND A BOUND	A B B B B B B B B B B B B B B B B B B B	ABOUND ABOUND ABOUND ABOUND ABOUND	ABOUND ABOUND ABOUND ABOUND ABOUND	A BOUND A BOUND A BOUND	ABOUND ABOUND ABOUND ABOUND	A BOUND A BOUND A BOUND A BOUND
SUBROUTINE ABOUND 74/74 OPT=1 FTW 4.3+P357	SUBROUTINE ABOUND C************************************	* STIFF(400,50),P(400),OELTA(400),SIGMA(4,362) COMMON/COMMIA,NRIG,NEI,MNOD,MBOU,NPOM,VPUN C************************************	C*************************************	350 CONTINUE 350 CONTINUE 350 CONTINUE 350 CONTINUE PUTRY=0.	STIFF(IR,1)=1, 00930 JC=2,18AND 93C STIFF(IR,4,D)=0, IF(IR,EC0,1)G010935 IF(IR,EC0,1)G010935	IF(IR.GT.IBAND) IB=IR-IBAND+1 IE=IR-1 D0951	If (MIP.GT,M.AND.JJ.EQ.D) GOTO36: 400 CONTINUE 935 COTO310 326 CONTINUE IF (MIP.GT.(N+M)) GOTO340 J-0		370 CONTINE	340 NDE-NIP NDE-NIDE-Z ID-NOME-IC J=H (NIX D) *H IG-IC+2	GOTO350 310 CONTINUE RETURN CHRINGEND CHRINGEN
•	ľv	10	#2	20	52	8	35	g :	r.	20	55

SUBROUTINE AJOINT	INE AU	TNIO	74/74	0PT=1	94/06/14	04/06/74 15.27.00.	PAGE
		SUBR	SUBROUTINE AJOINT	INIO	AJOINT	ro .	
	Č	TERPORT TA	F A.IOTNT	CARACACACACACACACACACACACACACACACACACAC	INTO A JOINT	ð lín	
	,	COHM	COMMON/COMM1/	N, L, MM, 2R, BMN, 8WM, Z (200), R (200), T, DETAR	≪	. 40	
r		COMM	COMMON/COMM2/	' NNP, NEL, N9P, NL J, IDIF, NEQT, IBAND	A JOINT	7	
		COMM	ON/COMM4/	COMMON/COMM4/ II, NI (362), NJ (362), NK (362), CSTIFF (6, 6),	AJOINT	•	
		STIF	F (400,50)	* STIFF(400,50), P(400), OELTA(400), SIGMA(4,362)	A JOINT	or :	
		PETNE 10	TNT NIMBE	CARACTE TOTAL NUMBERS ASSOCIATED WITH BACK BLOWNING OF	AJOINT	3 1	
10		1=1			AJOINT	12	
i		NI (3)=1	1=1		AJOINT	13	
		NUC	NJ(J)=L+2		AJOINT	47	
		NKCJ	4K(J)=L+1		AJOINT	15	
		J=J+1	-		A JOINT	16	
15		NI (1)=1	1=1		AJOINT	17	
		NJ(1)=2)=2		AJOINT	18	
		NKC	4K(J)=L+2		AJOINT	19	
		L J= (1	L J= (L-1) *2		A JOINT	20	
		0015	J=3,LI		AJOINT	21	
ĽŽ		L)IN	NI(J)=NI(J-2)+1	+1	AJOINT	22	
		L) CN	NJ(7)=NJ(7-5)+1	1+1	AJOINT	23	
		15 NK(J	NK (J) = NK (J-2)+1	+1	AJOINT	54	
		L J=1, I+1	1+1		A JOINT	22	
		0016	3016 J=LJ,NEL		AJOINT	26	
52		COIN	NI(C)=NI(C+LI)+L	1+0	AJOINT	27	
		LYCN	1+(I 1-0) (N=(C) (N)+r	AJOINT	28	
		16 NK(J	¥ (1)=NK (1-L1)+L	1+0	A JOINT	29	
		IDIF	(DIF=NJ(1)-NI(1)	(1)	AJOINT	30	
		RETURN	RN		THIO! A	31	
30		END			AJOINT	35	
	£.	*****	***	· 安全的有效的 医克洛氏氏 医克洛氏氏 医克洛氏氏 医克洛氏氏 医克洛氏氏 医克洛氏氏征 医克洛氏氏征 医克洛氏征 医克格氏征	BAHI	2	

PAGE																															
15.27.21.	ro a	· In	۰, ۵	. 40	6	07	## F	135	라 I	15	17	18	D	2.5	25	23	24	52	26	27	100	5.2	36	4 6	7 P	3 7 7	35	35	37	38	۵.
47136774	ALOD	ALOD	ALOO ALOO	ALOD	ALOD	ALOD	ALOD ALOD	ALOO	ALOO	AL CO	ALOD	ALOO	A L 00		AL 00	ALOD	ALOD	ALOD	ALOB	ALOD	ALOB	ALOD	ALOD	ALOU ALOU	A L CO	ALOO	ALOD	ALOD	ALOD	A L 00	A BOUND
SUBROUTINE ALOD 74/74 OPT=1 FTN 4.1.1+P357 1	SUBROUTINE ALOD	C SUBROUTINE ALOD ESTABLISHES EXTERNAL LOADS, ADDS BODY FORCES AND THUS	C FORMS THE FORCE MATRIX FOR AXIONM.SINESS COMMON/COMMIN N.M.M.M.M.M.BNM.Z(200).R(200).1.DETAA	COMMON/COMME/ NNP, NEL, NBP, NL J, IDIF, NEQT, IBAND	COMMON/COMM3/ GPR, GP2, UNZ, UMR, EL MOD(362), POIS(362)		・ OTHTFT(よしローSDO)。フードロロ)。OTHTFFである。ONGMD(よっぴの)。ONGMD(よっぴん)となるまままままままままままままままままままままままままままます。		C EXTERNAL FORCES ARE ON LINE 2(N), Z=0	C ADD EXTERNAL AND BOUT TORCES AND TORNE MAINING	IF(NLJ,EQ,1) WRITE(6,60)	6C FORMATITHG, 28H*WARNING NO DISTRIBUTED LDAD//)	CONTRACTOR OF THE PROPERTY OF	ア・レーレー・カート・ション・レー・ファー・ファー・ファー・ファー・ファー・ファー・ファー・ファー・ファー・ファ		00 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	00420 J=2.00	-(T+C) &) + * †/* (1 + C) & + (T+C)	* R(J=1))+BK)*UHR	Δ.	* R(J-1) + BK) * UMZ		120 CONTINUE	_	CIMIO NI INTO ANT TO THE PRODUCT OF A TOTAL BEAUTY OF THE COLUMN OF THE	こうとう こうしょく アー・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	P(2*1) =P(2*1) >+3*141593*(R(NL))-R(NJ*) *(1*7+4, T(R(NL))-R(ND))	ZMN*()*()*	RETURN	END	炸弹球球球球 化苯磺胺甲酚 法指令外指指导的 医甲状腺素 医牙牙氏试验检检验检验检验检验检验检验检验检验检验检验检验检验检验检验检验检验检验检验
٠,			r.				-	3			15				20	1				25				í	2				is P		

44																			
PAGE																			
04/06/74 15.26.52.	തക	n 40 1	√ 60	Q , ⊂	17	12	₽.4	14	13	16	17	1.8	19	20	21	22	53	54	N
94/98/14	ANA	A MA	PARE	4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	AMEG	AMEG	A MEG	AMEG	AMEG	AMEG	AMEG	AMEG	A MEG	AMES	AMEG	AMEG	AMEG	AMEG	8 MEG
4 OPT=1 FTN 4.0+P357	SUBROUTINE AMEG	C SUBROUTINE AMEG DEFINES JOINT COORDINATES COMMON/COMM1/ K.L.HH.R.R.BMN, BMM, Z(201), R(201), T.OETAA	COMMON/COMMZ/ NNP, NEL, NBP, NLJ, IDIF, NEGT, IBANO	C. DEFINE GOLDING COUNTRIES.	7,			76-C-		022				MK1 E.Cop2.0	TOTAL TATAL AND TOTAL TOTAL TOTAL TOTAL TATAL TATAL TOTAL TATAL TATAL TOTAL TATAL TA	10 N N N N N N N N N N N N N N N N N N N			· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
FG 74/74	SUBROUTINE AMEG	UBROUTINE AME	COMMON/COMMZ/ NNP,NEI			1(Z(T)=0	K(1)=0.		11 K(1)=K(1-	DOM: A THIN NNO	DOIS I-LAN		_T)7=(T)7 2T	MATIE (D) CLI		24 FORMATINE		N N O O O	ENU
SURROUTINE AMEG	***	S	rv.	**0			10				!	15					7.0		***

PAGE					
15.27.17.	ਅଟ୍ଟେଲ୍ଲ ଅନ୍ତ୍ର କ୍ଷାକ୍ଟ କ୍ରୀନ୍ତ୍ର କ୍ରୀନ୍ତ୍ର	4444188 8928941	N E A E E E E E E E E E E E E E E E E E	4 5 6 4 5 4 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	244
94/36/74		A A A SO			ASSEM ASSEM ALOD
FTN 4.0+P357	SUBROUTINE ASSEM SUBROUTINE ASSEM STREAM ASSEMBLES INDIVIDUELL STIFFNESS MATRICES TO FORM STRUCTURE MAINT NO NO. NO. NO. NO. NO. NO. NO. NO. NO.		9412,6421,55	JUJ-01-LT.2) 60T0820 JUJ-JUJ-1 JUJ-JUJ-1 JUS-JUJ-1 JUS-JUJ-1 JUS-JUS-JUS-JUS-JUS-JUS-JUS-JUS-JUS-JUS-	*
74/74 OPT=1	C SUBROUTINE ASSEM C SUBROUTINE ASSEMBLES INDIVIDUE C SUBROUTINE ASSEMBLES INDIVIDUE C STRUCTURE MARRY C STRUCTURE MARRY C STRIF (400,50), P(403), DELTA (400) C STRIF (400,50), P(403), DELTA (400) C STRIF (400,50), P(403), DELTA (400) C STRIF (400,50), P(403), P	GOTOBUG MODI=NJ(II) MODI=NJ(II) MODI=NK(II) TF(III=II = II = II = II = II = II = II =	TRE(NOD-1)*2+III TRE(NOD-1)*2+III GOTO(81)*81,811,811,812,812),J GOTOSAN [II] GOTOSAN [II] GOTOSAN [II] MOD-NA[II]	IF (JJJ.1.T.2) GOTO820 JJJ.=JJJ.+ JJS.=JJJ.+ JOS.=WOJJ.+1.*2+JJJR.+1 JOS.=WOJJ.+1.*2+JJJR.+1 F (JG.GT.=IBANDJHRITE (F., 82.) F ORMAT (10x,35H3DLUHN NUMBER IS GREATE IF (JG.T.1) GOTO835 STIFF(IR,JC) = STIFF (IR,JC) + ASTIFF (I,J) CONTINUE	84: CONTINUE RETURN END PAR************************************
SUBROUTINE ASSEM	N = 1	20262441			20 34 84 84 84 84 84 84 84 84 84 84 84 84 84
Sue	70 DT	15	25 52	5 K	04

しょうしょう ちゅうしょう ちゅうしょう とうかん おから とうこう ちゅうしょう とうしょう しょうしょう しゅうしょう とうしょう しゅうしょう とうしょう しゅうしょう しゅうしょう しゅうしょう しゅうしょう しゅうしょう しゅうしょう しゅうしょう しゅうしょう しゅうしゅう

```
ASTINA
ASTINA
ASTINA
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          ASTIMA
ASTIMA
ASTIMA
ASTIMA
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   ASTINA
ASTINA
ASTINA
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              ASTINA
ASTINA
ASTINA
ASTINA
                                                                                                            ASTINA
ASTINA
ASTINA
                                                                                                                                                                                                                                                           ASTINA
ASTINA
ASTINA
ASTINA
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       ASTINA
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                ASTINA
                                                                                                                                                                                               ASTIMA
                                                                                                                                                                                                                                                                                                          STIMA
ASTIMA
ASTIMA
ASTIMA
                                                            ASTENA
                                                                                                                                                              STIMA
                                                                                                                                                                                                                         STIMA
                                                                                                                                                                                                                                     ASTINA
                                                                                                                                                                                                                                                ASTIMA
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             STIMA
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        STIMA
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       STIMA
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   STIMA
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               ASTIMA
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           ASTIMA
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         ASTIMA
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   ASTIMA
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               ASTIMA
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            ASTIMA
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      STIMA
                                      ASTIMA
                                                  ASTIMA
                                                                                      ASTINA
                                                                                                 ASTIMA
                                                                                                                                                   STIMA
            CARRELATERATE ACCRECATE TO THE SERVICE STIFFNESS NATRIX (CST-AXISY)

CARACTER SERVICE AND THE SERVICE SERVENT STIFFNESS NATRIX (CST-AXISY)

CREATER SERVICE SERVICE SERVICE SERVICE SERVENT
                                               COMMON/COMMI/ N, M, MM, RR, BNN, BNN, Z(200), R(200), T, DETAA COMMON/COMMI/ GFR, GFZ, UMZ, UMR, EL MOD(362), PDIS(362) COMMON/COMMI/ T, MI(362), MI(362), MI(362), MIS(362), MISTEF(6, 6), TEFF(400, FD), PELTA (400), SIGMA(4, 362) COMMON/COMME/ QUM(362), GMO, DIM(362), II, IL
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               ELC=ELMOD(II)/((1.+POIS(II))*(1.-2.*POIS(II)))
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              ADBI(IBO,JMD)=D.

ADBI(I,1)=BBBI(I,1)+ELC*(L-POIS(II))/RC**2

ADBI(I,2)=BBBI(I,2)*ELC/RC

ADBI(I,2)=BBBI(I,3)*ELC*(L-POIS(II))*ZC/RC**2

RDBI(2,2)=BBBI(2,2)*ELC*2*
                                                                                                                                                                                                                                                            GJK=R(J)*Z(K)-R(K)*Z(J)
GKT=R(K)*Z(T)-R(T)*Z(K)
GLJ=R(T)*Z(J)-R(J)*Z(T)
DETA=R(K)*D(J)+R(J)*D(ZKI+R(T)*DZJK
                                                                                                                         DIMENSION Q1(6,6),Q1(6,6),8081(6,6)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         =(1,-2,*POIS(II))/2.
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                22 Q1(NG,MQ)=Q1(NQ-3,MG-1)
COMPUTE QT=Q1(TRANSPOSED)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        2C=(R(I)+P(J)+R(K))/3.
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    C= (Z(I)+Z(3)+Z(K))/3.
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             CALCULATE BOBI AND FEED IN
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   QT (MQ,NO) =Q1 (NQ,MQ)
    SUBROUTINE ASTIMA
                                                                                                               COMMON/COMM9/ RC
                                                                                                                                                                                                 DZKI=Z(K)-Z(I)
DZIJ=Z(I)-Z(J)
ORKJ=R(K)-R(J)
DRIK=R(I)-R(K)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          NQ=1,6
MQ=1,6
                                                                                                                                                                                        DZJK=2(J)-2(K)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          D0122 NG=1,6
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       IBO=1,6
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     JBD=1,6
                                                                                                                                                                                                                                                                                                              COMPUTE 01-MATRIX
                                                                                                                                                   (II) IN=J
                                                                                                                                                                 J=N J (II)
                                                                                                                                                                           K=NK(II)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         00120
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     00120
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           APOIS
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     00122
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         0023
                                                                                         *
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 53
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   120
                                                                                                                                                                                                                                                                                                              ن
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             L
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   5
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        52
                                                                                                                                                                             15
                                                                                                                                                                                                                                                                                                    23
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               30
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       3
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              20
                                                                                                                  7
```

2

```
PAGE
       04/06/74 15.27..9.
                                                                                               A STITE A A STIT
                                                                      FTN 4.1+P357
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  0PT=1
   74/14
SUBROUTINE ASTIMA
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               c
                                                                                                                                         9
                                                                                                                                                                                                                                                                               65
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        20
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 3
```

```
ASTRES
ASTRES
ASTRES
ASTRES
ASTRES
ASTRES
                                                         ASTRES
ASTRES
ASTRES
ASTRES
                                                                                                     ASTRES
ASTRES
ASTRES
ASTRES
             ASTRES
ASTRES
ASTRES
               SUBROUTINE ASTRESS CALCULATES STRESSES AT THE CENTROLD OF EACH
                                                COMMON/COMMIX N, M, MM, RR, BNM, Z(200), R(201), T, DETAA
COMMON/COMMIX (PR, MEL, MBP, ML, JDETA, MEDTAAND
COMMON/COMMIX (PR, POZ, UMZ, UMR, EL MONT 362), POTS (362)
COMMON/COMMIX (PR, MISEZ), NJ (362), MK (362), CST IFF (6,6),
STFF (400), SDE, TA (401), ST GMA (4,362), CST IFF (6,6),
COMMON/COMMEX, BUM (362), GMO, DIM (362), IT, IL
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         A12=BUM(II)-2,/3,*DIM(II)
MULTIPLY EXPLICIT DBQ-MATRIX AND FEED
DBQ(1,1)=1,/OETA*DZJK*A11
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               CKI=R(K) *Z(I) -R(I) *Z(K)
CIJ=R(I) *Z(J) -R(J) *Z(I)
DETAA=R(K) *DZIJ+R(J) *DZXI+R(I) *DZJK
                                                                                                                                                                           GOTO (806,806,817,807,818,808),JJ
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          DBQ(1,2)=1./DETAA*DRKJ*A12
DBQ(1,3)=1./DETAA*DZKI*A11
DBQ(1,4)=1./DETAA*DRIK*A12
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         DBQ(1,5)=1,/DETAA+DZ1J+A11
DBQ(1,6)=1,/DETAA+DRJI+A12
DBQ(2,1)=1,/OETAA+DZJK+A12
      中央场外的特殊的特殊的政治的特殊的特殊的特殊的特殊的特殊的
                              C ELEMENT FOR PLANE STRAIN
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              A11=BUM(II)+4./3.*DIM(II)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     CJK=R(J)*Z(K)-R(K)*Z(J)
                                                                                                                                            CHANGING SUBSRIPTS OF DELTA
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         STRESS-MATRIX EXPLIGIT
                                                                                                                                                                                                                              ND=NK(II)
CONTINUE
IF(III.LT.1)GOTO810
SUBROUTINE ASTRES
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    DEL (JJ) = DELTA (K)
                                                                                                                                   008.0 II=1,NEL
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              DZKI=Z(K) •Z(I)
DZIJ=Z(I) -Z(J)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      02 JK=2 (J)-2(K)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       DRK J=R(K)-R(J)
DRIK=R(I)-R(K)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             DRJI=R(J)-R(I)
                                                                                                                                                                   33=1,6
                                                                                                                                                                                                                                                                                                             III=III+1
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          K=2*N0-ID
                                                                                                                                                                                         (II) IN=QN
                                                                                                                                                                                                              (II) PN=QN
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                CONTINUE
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      I=NI(II)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 U=NJ(II)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            K=NK(II)
                                                                                                                                                                                                   G010869
                                                                                                                                                                                                                       G010869
                                                                                                                                                                                                                                                                                         GOT 0811
                                                                                                                                                         111=0
008 5
                                                                                                                                                                                                                                                                                                    1=01
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                805
C FORM
                                                                                                                                                                                                                                    808
                                                                                                                                                                                                              807
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          811
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        <u>-</u>
                                                                                                                                                c
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              ŝ
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   20
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         53
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            30
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          9
                                                                                                                                                                                                                                                                      25
                                              S
                                                                                                     10
                                                                                                                                                           15
                                                                                                                                                                                                                202
```

ć.				
PAGE				
04/06/74 15.28.26.	10 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	100000 1000 1000 1000	-	76 77 78 79 80 81 82
42/90/40	A MANAGE STATES A MANAGE STATE	A SATRES A SATRES A SATRES A SATRES A SATRES A SATRES	A STATE OF S	ASTRES ASTRES ASTRES ASTRES ASTRES ASTRES ASTRES
FIN 4. J+P357				G
	(1 4 4 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	DGD (3,3) = 1,0ETA&+DRIK+DDM (II) DGD (3,4) = 1,0ETA&+DZHT+DIM (II) DGD (3,5) = 1,0ETA&+DZHT+DIM (II) DGD (3,5) = 1,0ETA&+DZHT+DIM (II) C FORMING STRESSES FOR PLANE STRAIN CASE	IIGHAKKN.II)=0. 004 KNEL13 004 JJ-146 IIGHA(KNII)=SIGHAKKN.II)+DBQ(KN,JJ)*DEL(JJ)	KH-4 ZEGHAK(W,II) =POIS(II)*(SIGHA(L,II)*SIGHA(Z,II) SIGHAK(G,128) II, SIGHA(KN,II), KN=1,4) TORMAT(IIO,4FIO,4) SONINUE RETURN
0PT=1	/ DETA # DZ H / DETA # 40Z H / DETA # 40Z H / DETA # 40Z H / DETA # 40Z H	/OETAA*ORI /OETAA*OZN /OETAA*ORI /OETAA*OZI /OETAA*OZI	=0. =SIGMA(KN	POIS(II) II, (SIGH
74/74	DBQ (2,3)=1./DETAPBRKWA11 DBQ (2,4)=1./DETAPBRKWA11 DBQ (2,5)=1./DETAPDIJWA12 BBQ (2,6)=1./DETAPBJR (4,0) DBQ (3,1)=1./DETAPBJR (4,0)M (II) DBQ (3,2)=1./DETAPDZ JR ODIM (II)	080 (3,3)=1,7DETAM=DRIX=DPH (II) 080 (3,4)=1,7DETAM=DRIX=DPH (II) 080 (3,5)=1,7DETAM=DRIZ=DPH (II)	SIGMA(KN,II)=0. SIGMA(KN,II)=0. DO4 KN=1,3 DO4 JJ=1,6 SIGMA(KN,II)=SI	KH-4 SIGMAKN,II)=POIS(HRITE(6,128) II.(S FORMATILO,4F10,4) CONTINUE RETURN
SUBROUTINE ASTRES	000000	C FORMI	i Nijani	9 12 8 0 0 3 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
SUBR	9	65	70	75

06. PAGE																		
15.28.	N FO	n to	9.	. eo o	, o4	11	12	13	4	15	16	17	1.6	19	200	21	23	123
04/06/74 15.28,00.	A VGE A V GE		AVGE	A V GE	AVGE	A V GE	AVGE	AVGE	AVGE	AVGE	AVGE	AVGE	AVGE	AVGE	AVGE	AVGE	AVGE	AVGE
FING+0.4 MTF	安全 化甲基甲基甲基甲基甲基甲基甲基甲基甲基甲基甲基甲基甲基甲基甲基甲基甲基甲基甲基	C SUBROUTINE AVGE CALCULATES THE AVERAGE OF STRESSES ALONG THE BOUNDARY	COMMON/COMMIT III, NI (382), NJ (362), NK (382), STIFF (6, 6), CTHEFLED EN, DIEDE I FETTA FEED STORM (4, 382)	やしに「ニューチョン・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	BOUNDARY						SIGH1(L.III) = (SIGMA(L.J1) + SIGMA(L.K1))/2.		III)	III)				
74/74 OPT=1	中央中央中央中央电影电影电影电影电影电影电影 AVGE SUBKOUTING AVGE	JIINE AVGE CALCULATE	COMMON/COMM4/ II,NIC	中学学者の主要を表現を表現を表現を表現を表現を表現を表現を表現を表現を表現を表現を表現を表現を	C AVERAGE OF STRESSES ALONG BOUNDARY	NE=NEL/2	DO10 III=1,NE	J1=2*III-1	K1=2+III	D05 L=1.4	SIGHT (L. III) = (SIGMA (006 L=1.4	SIGHA(L, J1)=SIGM1(L, III)	SIGMA(L,K1)=SIGM1(L,III)	CONTINUE	CONTINUE	RETURN	ON
SUBROUTINE AVGE	***	C SUBROL	4	7, 1, 1 a	C AVERAG			•	-		II.				ve.			
SUBR			es.			1.0	2				15					20		

PAGE

15.26.44.	m ar I	n	. 60 (10	# 5	13	44	15	17	80 0	20	21	25	2010	22.1	26	22	0 0	30	# c	o ro	34	32	9 6	- 60 71 C	39	04	141	1 1	1	100	9 2	- 60	64	20	51	, K	24	55	20	. ec	56	
4/90/40	AVPUN	AVPUN	AVPUN	AVPUN	AVPUN	AVPUN	AVPUN	AVPUN	AVPUN	AVFUN	AVPUN	AVPUN	AVPUN	NCON W	AVPUN	AVPUN	AVPUN	AVPUN	AVPUN	NDGAY	AVPUN	AVPUN	AVPUN	NC AND	AVPUN	AVPUN	AVPUN	AVPUN	AVPUN	AVPUN	AVPUN	AVPUN	AVPUN	AVPUN	AVPUN	AVPUN	AVPIAN	AVPUN	AVPUN	AVPUN	AVPUN	AVFUN	
SUBROUTINE AVPUN 74/74 OPT=1 FT M 4.0+P357 34	SURRULINE AVAILABLE CONTRACTOR CO	C SURROUTINE AVPU PREPARES RESULTS FOR PLOTIING, PRINTS AND PUNCHES THEM	COMMON/COMMI/ N, M, HM, RR, BMN, BMH, Z(200), R (200), T, DETAA		* STITT(400,50),P(400),DELTA(400),SIGMA(4,362)		COMMON/COMM7/ G(20), D(2))	COMMON/COMMIN/ NRIGH,NICOS/NBOU,NPON,NPON		DIMENSION RC (362), ZC (362), RCH (101), 2CH (101), SIGM1 (4, 181), UAV (181)	FORMAT (1HD-46H*WARNING REQUIRED LOAD INCREMENT NOT AVAILABLE//)	FORMAT (1H1,13HR-KOORDINATEN//)		902 FORMAT(6F12.6)	ONL FORMATION CONTINUES OF STREET			9441 FORMATICHUS/HUS/AUS/AUST-//					IF(IL.NE.NLO) 60101000	2 T T T T T T T T T T T T T T T T T T T	C AVEDAGE OF COOPTWATER	.i	I=NI(II)	(II) (II)	F=N (11)		806 CONTINUE	IF (NDIS. EQ.B) 5070430	C NODAL COORDINATES FOR NODAL DISCHARINIS	WRITE(6,901) (R(JJJ),JJJ=1,4)			### FELLOWGEN (* 1970) > 100 100	2	WRITE(6,960)	WRITE(6,9C1) (DELTA(JJJ),JJJ=2,NEQT,2)	C HORIZON FA DISPLACEMENTS	(DELTA(JJJ),JJJ=1,NEQT,2)	
Ñ		u	١			3			15				20				22			i	30			ŕ	e S			:	2			!	ę,			i	20				22		

ά=ε*III ΦΦ(III)= (ΦC(JI)+RC(KI))/2, ΣΟΗ (III)=(ΣC(JI)+ΣC(KI))/2, SOM 5 L=1, STGH (1, TIT)=(SIGHA(L, JI)+SIGHA(L, KI))/2,
SIGNATIVUE SIGNA(3,1II)=SIGNA(1,1II)-SIGNA(2,1II) SIGNA(4,1II)=SIGNA(3,1II)/C2,*CDH1) SIGNA(4,1II)=SIGNA(3,1II)/UN
IF(NPOM,EO.1) 60T06j0 UAM(III)=-USUM(AI)+USUM(KI))/(Z.*UW) UAM(III)=-UAV(III) GONTINUE GONTINUE
MARIE(6,9500) MRRIE(6,9500) MRRIE(6,901) (RCM(III),III=1,ME) MRRIE(6,910) MRRIE(6,9
MRITE(6,912) (SIGH1(2,III),III=1,NE) MRITE(6,912) (SIGH1(3,III),III=1,NE) MRITE(6,914) (SIGH1(3,III),III=1,NE) MRITE(6,944) (SIGH1(4,III),III=1,NE)
FIGURES. 0.1 001078. TEFNIE (SEGMICA) III), III=1,NE) IF (TL.Eq.NLD) HRITE(7,911) (SIGMIC4,III), III=1,NE) IF (TL.Eq.NLD) HRITE(7,911) (SIGMIC4,III), III=1,NE) IF (TL.Eq.NLD) HRITE(7,911) (UAV(III), III=1,NE)
GOTO71; CONTINUE CONTINUE FFIL. CO.NLO) HRITE (7,931) (SIGH1(3,III),III=H,NE) FFIL. FO.NLO) HRITE (7,931) (SIGH1(4,III),III=H,NE) IF (NPOH,EO.1) GOTO613

PAGE			
14/06/74 15,26,44,	117	119 120 121 122	cu
14/06/74	AVPUN	AVPUN AVPUN AVPUN	AMEG
FIN 4.0+P357	(UAV(III),III=M,NE)		
74/74 OPT=1	IF(IL.EQ.NLO) WRITE(7,991) CONTINUE CONTINUE	CONTINUE CONTINUE ETURN END	
SURMOUTINE AVPUN	613 663 6	125 1000	

ď

BANI
COMMUNICATION OF THE PARTIES PARTIES TO BANT
•
BAMI
CONTROL CONTROL OF STREET STRE
CONTOUN CONTROL OF TAXABLE OF TAX
_
BANI
BAMI
* 1 2 0
THE
BAMI
BANT
Tunga
TAWG
BANI
ASTINA

-						
PAGE						
15.28.19.	เกษายกก	0 K & D & 4 4	N & & & & & & & & & & & & & & & & & & &	2 2 2 2 2 2 3 2 4 3 3 4 3 4 3 4 3 4 3 4	7 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	1408888 1408480
47/00/40	000000000000000000000000000000000000000	000 000 000 000 000 000 000 000 000 00			666666666666666666666666666666666666666	0018 8100 8100 8100 8100
SUBROUTINE BLOD 74/74 OPT=1 FIN 4.2+P357	SUBROUTINE BLOD C***********************************		C EXTERNAL FORCES ARE ON LINE & (N), Z=0 C ADD EXTERNAL AND BODY FORCES AND FORM FORCE MATRIX C NLZ=NLJ*Z IF (NLZ-L)*Z, Z, Z	P(1)=P(1)+4, Z, R(2)=UMR P(2)=P(2)+4, Z, R(2)=UMZ IF(NL)_LEQ_2)_GOTOJ30 DOAZ0 DOAZ0 DOAZ0 P(2*J-1)=P(2*J-1)+1, Z, R(J+1)-R(J-1))*UMR P(2*J-1)=P(2*J-1)+1, Z, R(J+1)-R(J-1))*UMR		15C CONTINUE P(1)=P(1)+UMR P(2)=P(2)+UMZ 16U CONTINUE RETURN
	II.	10	4	20	2	35 30

SUBROUTINE BMEG	BMEG	74/74	OP; +1 FTN 4.	FTN 4.0+P357	94/08/74	15,26,56,	PASE
	C SUBR	SUBROUTINE BREG C************************************	SUBROUTINE BMEG C************************************		8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	രവേകയ	
ľv.	***************************************	COMMON/COMMI COMMON/COMMI COMMON/COMMI	GOHHON/COMM1/ N9.Ne.MH. PR. BNN, BWH, Z(200), F(200), T. DETAA COHHON/COMM2/ NN-NEL, NBP, NL J. IDIF, NEQT, IBAND COHHON/COMM7/ C(20), D(20),	TAA	88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88	F 8 5 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	
8	16	NN=N-1 IF(RR,EQ.D.) RR=1. DO16 IN=1.M R(IN)=C(IN)*RR CONTINUE	RR=1.			# & PP 강 \$ \$ \$ 4 국 위 국 국 국	
15	12	JJ=M DO11 J=1,M II=J+JJ R(II)=R(J) CONTINUE				F 8 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	
20		JJ=JJ+M I1=I1+1 IF(I1.LT.N) GOTO12 Z(1)=0 DO17 IM=1.NN	60T012 N			7 8 7 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	
23	17	IIM=IM*H+1 Z(IIM)=D(IM)*RR CONTINUE IZ=0 KK=1	er er			22.0 20.0 3.1 1.1	
30	ग । ।	M1=M-1 DO13 J1=19H1 II=KK+J1 Z(II)=Z(KK) CONTINUE	Į.			୍ଷ୍ୟ କ୍ଷ୍ୟ ଅପ୍ୟସ୍ଥ	
a 9	i	KK=KK+M I2=I2+1 IF(I2-LT-N) WRITE(6,2!)	KKEKK+M FETZ 4. FETZ 4. FETZ 5. FETZ 6. FETZ 6		SACC SACC SACC SACC	37 39 41	
g*	25 21 21	26 FORMAT(1141,174NODAL COO 21 FORMAT(5(15,2F10.4)) ETURN END	FORMAT(1H1,17HNODAL CDORDINATES//) FORMAT(8 (15,2F10.4)) RETURN END		BREG BREG BREG BREG COUNT	0.00 4 50 Cl	

PAGE										
15,28,11.	ମଧ୍ୟ ଅଧିକ ପ	5 a + 2 m	*\$9.00 4.444	22223	* 10 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	្រុកកស្តេច ខេត្តស្តេច	3 3 4 5 6 6 6 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	0 + 6 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	1 2 2 4 4 5 5 7 8 7 8 7 8 7 8 7 8 7 8 7 8 7 8 7 8	0 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
7/90/10	B G G G G G G G G G G G G G G G G G G G	BOSTIAN BOSTIAN BOSTIAN BOSTIAN	BSTITA BSTITA BSTITA BSTITA	######################################	BOTIMA BOTIMA BOTIMA	BOSTINA BOSTINA BOSTINA BOSTINA	BSSTIMA BSSTIMA BSSTIMA BSSTIMA BSSTIMA	BSSTILLA BSSTILLA BSSTILLA BSSTILLA BSSTILLA BSSTILLA	BONTILA BONTILA BONTILA BONTILA BONTILA BONTILA BONTILA BONTILA	BSTIMA BSTIMA BSTIMA BSTIMA
SUBROUTINE BSTIMA 74/74 OPT=1 FTN 4.0+P357	CSUBROUTINE BSTIMA C************************************	DIMENSION 02 (6,6), 07 (6,6), 808 (6,6) J=N (II) J=N (II)	DCXE=Z(1)=Z(K) DXXI=Z(X)=Z(1) DZXJ=Z(I)-Z(J) DRXJ=R(X)-R(K) DAXI=R(X)-R(X)	C.MR=R(J)=Z(K)=G(K)=Z(J) C.KIT=R(K)=Z(I)=R(I)=Z(K) C.IJ=R(I)=Z(J)=R(J)=Z(I) C. COMPUTE O1-MATR(X)=Z(J)=R(J)=PDZJK C. COMPUTE O1-MATR(X)=Z(J)=R(J)=PDZJK	D0120 NU=1,6 120 01.(N)+(N)=0,6 01.(N)+(N)=0,1 01.(1,5)=01.(1,3)+6.V/0FTAA 01.(1,3)=01.(1,3)+6.V/0FTAA	QQ (12.5) = QQ (4.5) = CZL/OSTRA QQ (2.1) = QQ (2.5) + PQZ/K / PSTRA QQ (2.3) = QQ (2.5) + QZK / DETRA QQ (2.5) = QQ (2.5) + QZ (2.5) + QZ (3.5) + QZ (3.5	41.5.5)=42.45,5)=40.8.K./DETAA 41.5.5)=40.13.5)+08.J./DETAA 50.22 NG=4,6 50.22 NG=2.6,2 22 QL(NG)MQ)=40.100-1) 5. COMPUTE GT=61.(TRANPOREN)	D0122 NG=1,6 D0122 NG=1,6 122 OT (MQ,NQ)=01 (NQ,MQ) C GALCULATE BDB AND FEED IN	1G BDB (IBD, JRP) = 0, RDB (Z,Z) = PPP (Z,Z) + 9UM(II) + 4, /3, * 0IM(II) BDB (Z,Z) = PPP (Z,Z) + 9UM(II) - 2, /3, * 0IM(II) BDB (Z,Z) = PDP (Z,Z) + 0IM(II) BDB (Z,Z) = PDP (Z,Z) RDB (Z,Z) = PDP (Z,Z) RDB (Z,Z) = PDP (Z,Z)	DOB (6,6) = DOB (6
	ru.	10	15	20	52	30	ES SE	9 4	2 2	5

ANAMANA
BSTITIA BSTITIA BSTITIA BSTITIA BSTITIA BSTITIA BSTITIA
CSTIFF(IBOB, JBOB)=1.0 0020
TIFF(1808, Jeos) -D. 20 Kobsel, 6. 20 Label, 6. TIFF(1808, Jeos) -CSTIFF(1808, OBC, GST, VRDB, Jeos) NITUNE NITUNE
2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

PAGE							
15.27.39.	0 10 4 6 6 7 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	R 국도 9 는 8 5 5 대 대 대 대 대 R	せるできまると が	\$ 6 4 4 4 6 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	ମ ଦେବ ଓ ଅଟେ	ጋጥ መጣ መጣ ቲጥ ሀ ህ ቴ ቲ ቴ ቴ ቴ ቴ ቴ	# # # # # # # # # # # # # # # # # # #
4/106/74	8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8	9377785 9377785 9377785 9377785 9377785 9377785	8 00 0 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	88 88 57 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7			8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8
Lind+Dog Mild	SUBROUTINE BSTRES COMMON/COMML, N #5, #1, #R, BNN, BNN, Z (200), R (201), f, DETAA COMMON/COMMS/ N WEL, MBP NL, 10TF /MEDT, TBAND COMMON/COMMS/ CPR, 6PZ, UNZ, UNZ, UNT, EMO (362), POIS (362) COMMON/COMMS/ TINITIS (252), N (1362), STEFF (6,6), E SITF F (400), 550, P (400), DELTA (4,60), STEFF (6,6), COMMON/COMMS/ DELTA (4,00), SECTA (4,60) COMMON/COMMS/ DELTA (4,00), STEFF (6,6), COMMON/COMMS/ DELTA (4,00), STEFF (6,00), STEFF (6,00	1111.00 015 JJ-1,6 GGTO(806,805,807,817,803,9JJ NG-NI(II) NG-NI(II) NG-NI(II) NG-NI(II)	O (OI		(P) Z	ECCEEHODIII/((1,+POTS(II))*(1,-2,+POIS(II))) ECCEEHODIII/((1,+POTS(II))/2, OFT AB=R(V)*(V)*(V)*(V)*(V)*(V)*(V)*(V)*(V)*(V)*	PLICIT AND -POIS(II))* -POIS(II))* -POIS(II))* -POIS(II)* -POIS(II
0PT≃1	# STRES NW P. W. M.	907,63	GDT 0810	MATRIX	2000	/((1.+Poi Pois(II)) IJ+R(J)*n +R(K))/3. +Z(K))/3. +DZ/K+ZC +DZ/K+ZC +DZ/K+ZC	DETABLE OF TARKET OF TARKE
74/74	SUBROUTINE BSTRES COMMON/COMME/ N. P. PH. *R COMMON/COMME/ EP. COMMON/COMME/ EP. COMMON/COMME/ BD. FOR EP. COMMON/COMME/ BD. FOR EM. STEFF (400) 50 . PC (6)	111=0 00 805 JJ=1,6 GOT (806,806,8 ND=N1(II) GOT 0809 GOT 0809 ND=NK(II)	CONTINUE IF(III*LT*1) GOTOBLO ID=0 ID=0 GOTOBLI II=III+1 OEL (JJ)=DELTA(2*ND-ID)	005 CONTINUE CALCULATE STRESS-MATRIX INI(II) J=NJ(II) K=NK(II) 02JK=Z(J)-Z(K)	DZKI=Z(K)-Z(I) DZLJ=Z(I)-Z(J) DRLJ=Z(I)-Z(J) DRLZ=R(J)-R(L) DRJI=R(J)-R(I) CJR=R(J)-R(I) CJR=R(J)-R(I) CJR=R(K)-R(I)-R(I) DRJI=R(K)-R(I)-R(I)-R(I)-R(I)-R(I)-R(I)-R(I)-R(I	ELC=ELMO(TI)/((1,+P0TS) APDTS-4(1,-PPOTS)(1))/2 APDTS-4(1,-PPOTS)(1))/2 APDTS-4(1))/2 APDTS-4(1)/2 APDTS-4(1)	LCULATE UBG- BG (1,1)=ELC/ BG (1,5)=ELC/ BG (1,2)=ELC/ BG (1,4)=ELC/ BG (1,6)=ELC/ BG (1,6)=ELC/ BG (2,1)=ELC/
BSTRES	CHANG			CALCU		, m = 0 & 7 m m c	MON
SUBROUTINE BSTRES	Ďε			C			ပ
v,	52 22	£	25 20	30	5 9 2 D	74	50 51 52

CV.						
PAGE						
15.27.39.	\$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$	មាល្ខៈ ១០ មាល្ខៈ ១០	7 7 7 7 7 7 7 8 4 7 4 7 4 7 8 4 7 8 7 8	75 77 78 79 87	9 9 9 9 9 4 5 15 4	88 89 87 87 87
94/00/14	BSTRES BSTRES BSTRES BSTRES BSTRES BSTRES BSTRES	BSTRES BSTRES BSTRES BSTRES	8 5 1 7 E S 8 5 1 7 E S	BOSTRES BOSTRES BOSTRES BOSTRES BOSTRES	BOSTRES BOSTRES BOSTRES BOSTRES	BSTRES BSTRES BSTRES
FTN 4.0+P357	DBG (2, 3) = ELC/DETAM* (PDIS (II) *DZKI* POIS (II) *EKI) DBG (2, 4) = ELC/DETAM* (1-PDIS (II)) * DRKJ DBG (2, 4) = ELC/DETAM* (1-PDIS (II)) * DR KI DBG (2, 5) = ELC/DETAM* (1-PDIS (II)) * DR JI DBG (2, 5) = ELC/DETAM* (1-PDIS (II)) * DR JI DBG (2, 5) = ELC/DETAM* (1-PDIS (II)) * DR JI DBG (2, 5) = ELC/DETAM* (1-PDIS (II)) * EJK)	DBG(3,3)=ELC/DETAA*(PDIS(II)*DZK+(1-PDIS(II))*EKI) DBG(3,5)=ELC/DETAA*(PDIS(II)*DZLJ+(1-PDIS(II))*ELJ) DBG(3,5)=DBG(1,2) DBG(3,4)=DBG(1,4)	POIS+DRA POIS+DRIK POIS+DRAI POIS+DRAI	POIS-DZIJ	SIGMA(K,II)=SIGMA(K,II)+DBQ(K,3J)*DEL (JJ) SIGMA(K,II)=SIGMA(K,II) SIGMA(H,II) SIGMA(H,II) SIGMA(H,II)	
74/74 OPT=1	3)=ELC/OETAA*C 2)=ELC/OETAA*C 4)=ELC/OETAA*C 5)=ELC/OETAA*C	DBQ(3,3)=ELC/DETAA*(DBQ(3,5)=ELC/DETAA*(DBQ(3,5)=DBQ(1,2) DBQ(3,4)=DBQ(1,4)	080 (3,6) = 080 (1,6) 080 (4,1) = ELC/OETAA*APOIS*DRKJ 080 (4,3) = ELC/OETAA*APOIS*PRK 080 (4,5) = ELC/OETAA*APOIS*0RJI 090 (4,2) = ELC/OETAA*APOIS*0RJI	080 (4,6) = ELC/02 TAA*R P015*07*1 NG STRESSES NG STRESSES SIGMA(11)=0.	D04 JJ=1,6 SIGMA(K,II)=SIGMA(K,II) SIGH=SIGMA(k,II) SIGMA(k,II)=SIGMA(3,II) SIGMA(4,II)=SIGMA(3,II)	UE COL
	080 (2) 080 (2) 080 (2)	080 (3,00) (3,000 (3,00) (3,000 (3,00) (3,000 (3,00) (3,000 (3,00) (3,000 (3,00) (3,000 (3,00) (3,00) (3,000 (3,00) (3,0) (3,0) (3,0) (3,0) (3,0) (3,	080 (4) 080 (4) 080 (4) 080 (4)	FORMI 3	4 SIGMAC SIGMAC SIGMAC	BOC CONTINUE RETURN END
SUBROUTINE BSTRES	61	65 ST	20	75 C	80	S S

PAGE											
15.25.59.	ក្នុសផ្កេស្ទ	2 1 2 2 4 1	1 1 1 1 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	1 00 00 00 00 2 4 01 100 32 ft	10000 10000	2 4 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6		44444 4004	1444 1000000000000000000000000000000000	មាលប្រធាន ក្រសួងពេធ	0 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0
47/06/74	TUPUT ON TUPUT TUPUT TUPUT TUPUT TUPUT TUPUT TUPUT TUPUT	TUGNIO TUGNIO TUGNIO TUGNIO	TUGNIO TUGNIO TUGNIO TUGNIO	TUGNIO TUGNIO TUGNIO TUGNIO	TUPUT TUPUT TUPUT TUPUT TUPUT	OINPUT TUPUT TUPUT TUPUT TUPUT	TUNNIO DINNIO TUNNIO TUNNIO TUNNIO	DINPUT DINPUT DINPUT DINPUT DINPUT	DINPUT OINPUT TUPUIO TUPUIO TUPUIO	TUCNIO TUCNIO TUCNIO TUCNIO TUCNIO	TUGNIO
SUBROUTINE DINPUT 74/74 OPT=1 FTM 6.1+P357	**************************************	COMMON/COMMT/ C(20), D(20) COMMON/COMMILY NEIG, MLT, MLOD, NBOU, NPOM, NPUN COMMON/COMMILY USUM(362), UM, AF, SO COMMON/PUN NLOD1, MDTS, MSTR COMMON/PUN NLOD1, MDTS, MSTR COMMON/PUN SOCT (362), EKO, ZA, AME, AMS, AKN	*	NRIG=1 NLOD=NU NBOU=0 NBOU=1 NPOW=0	. DRATNED ANALYSIS PUNCHED RESULTS PRINTED RESULTS ONLY NUMBER OF LOAD INCREMENT NO DISPLACEMENTSPUNCHED			1 10X5.35HNUMBER OF DIVISIONS IN Z-DIRECTION 10X5.35HNUMBER OF DIVISIONS IN R-DIRECTION 10X5.35HNUMBER OF ELEMINS 10X5.35HNUMBER OF ELEMINS 10X5.35HNUMBER OF BOUNDARY POINTS	FORMATIOX,25HVDRAGE 7 FLOADS JOINTA 10x,25HFDRAGE P FR UNIT VOL.6PR= F10.4V, 10x,25HVDIT MEIGHT VOL.6PZ= F10.4V, 10x,25HVDIT MEIGHT VOL.6PZ= F10.4V, 10x,25HVDIT MEIGHT VOL.6PZ= F10.4V,	FORMAT (FORMAT (FORMAT (1 10x,13HFRIGITON PHI=,F10.4/ 2 10x,13HFRID CO=,F10.4/ 3 16x,13HRAIIO CP=,F10.4/
	rv	10	15	20	25	38	50	24	45	50	£.

```
103
164
105
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  104
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    102
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       DINPUT
TUCNIO
TUNNIO
                                                                                                                                                                                                              DINPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    DINPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             TUGNIO
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   DINPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 TUGNIO
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             TUGNIO
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      TUGNIO
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     DINPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              LDGNID
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      DINPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              LCCNIC
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       TUGNIO
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            TUGNIO
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    DINPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         TUCNIC
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  TUGNIC
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   DINPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        TUCNIO
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       DINPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               DINPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          TUENIO
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                DINPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        DINPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             TU-DIC
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      DINPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              TUGNIO
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    DINPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            DINPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       DINPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     TUGNIO
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           DINPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    TUPNIO
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            DINPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 TUCNIO
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            TUNIO
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  TUPUI
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          TUGNIO
                                          DINPUT
                                                                  TUPUI
                                                                                                                                                                TUPNIO
                                                                                                                                                                                         TUCNIO
                                                                                                                                                                                                                                                               TUGNIO
                                                                                                                                                                                                                                                                                       TUCNIC
                                                                                                                                                                                                                                                                                                               TUGNIE
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         LUCNIO
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 TUGNIC
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         DINPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               TUSNIG
                                                                                        TUGNIC
                                                                                                                TUCNIO
                                                                                                                                        TUGNIC
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   708 FORMATICHO.13-77-77-77-77-77-708
**EMENT=,15/10X,5HOTS=,15,10X,5HNSTR=,15/1/)
10.1 FORMATICH1,5HF-PROGRAM (CST) FOR AXI-SYM-STRESS///)
10.0 FORMATICH1,5HF-PROGRAM (CST) FOR PLANE STRIN///)
11.12 FORMATICH1,5HF-PROGRAM (CST) FOR PLANE STRIN///)
11.12 FORMATICH0X,3HON=,F11,4,10X,3HGR=,F11,4/1)X,3HRR=,F1.4/10X,3HRN=,F11,4/1)X,3HRR=,F1.4/10X,3HRN=,F11,4/1)X,3HRR=,F1.4/10X,3HRN=,F11,4/1)X,3HRR=,F1.4/10X,3HRN=,F11,4/1)X,3HRR=,F1.4/10X,3HRN=,F11,4/1)X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,3HRN=,F11,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X,4/10X
                                                                                                                                                                                                                                      FORMAT(55H MESH GENERATION MITH VARIABLE ELEMENT WIDTH AND LENGTH
                                                                                                                                                                                                                                                                                    FORMAT(55H HESH GENERATION WITH CONSTANT ELEMENT WIDTH AND LENGTH
                                       FORMATICHHO,46H*HARNIÑG NUM,OF NODAL POUNTS IS GREATER THAN 200//)
FORMATICHO,26H*HARNIÑG TIS GREATER THAN N//)
FORMATICHO,26H*HARNIÑG TIS GREATER TO SHALL//)
                                                                                                                                        ZACF
                                                                                                                                        KO=,F10,4/10X,24HTISFE
                                                                                                                                                                ME=, F10, 4/
                                                                                                                                                                                      MS=, F10.4/10x,24HVERHASLTNIS
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       FORMAT(1H0,16HDRAINED ANALYSIS/)
FORMAT(1H0,27HPUNCHED AND PRINTED RESULTS//
10%,33HNUMBER OF PUNCHED LOAD INGREMENT=,15/
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  FORMAT (1H0,23HSMOOTH ROUNDARY ON FOOT//)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       FORMAT(26H DISTRIBUTED CONSTANT LOAD//)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          FORMATCING, 22HRIGID BOUNDARY ON FOOT//)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             READ(5,700) NRIG, NLOD, NBOU, NPOW, NPUN
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            FORMAT (1H0,18HUNDRAINED ANALYSIS//)
                                                                                                                   5 FORMAT (5F10,4)
7 FORMAT (1H0,9%,24HRUHEDRUCKBEIWERT
1UER CU=KONST)=,F10,4/13%,24HFAKTOR
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   10 X, SHNDIS=, I5, 10 X, SHNSTR=, I5///)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           READ(5,500) NLOD1,NOIS,NSTR,NCODE
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       FORMAT (1H0,14HNON-RIGID LOAD//)
                     SO= ,F10.4///)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               FORMAT (1HB,10HRISID LOAD//)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    READ (5,45) ELMOD(1), POIS(1)
AF=,F10.4/
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    IF (NPOM. EQ.") NRITE (6,705)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         (F(NPOM, EQ.1) WRITE(6,706)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         IF(M.GT.N) WRITE(6,63)
READ(5,42) GPR,GPZ,UW9,UWZ
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        F (N80U. EO.D) WRITE (6,703)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                F(N80U, E0,1) WRITE(6,704)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     IF(T.60.0.) WRITE(6,1302)
IF(T.60.0.) WRITE(6,1301)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     IF(NRIG.EO.G) MRITE(6,701)
IF(NRIG.EO.1) MRITE(6,732)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                READ (5,40) N.M. M.M. T. RR
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          READ (5,105) BUN, NLJ
                                                                                                                                                                                            10x,24HREIBUNGSWERT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 [F(MM) 288,288,388
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         FORMAT (F10.4, 15)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               94M=RR/ (NLJ-1)
                     18 X,13HFACTOR
                                                                                                                                                                                                                       KN= .F10.4//
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  WRITE (6,78)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        REME BAN/BAM
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         WRITE (6,79)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      FORMAT (415)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  FORMAT (515)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              FORMAT (15)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             CONTINUE
                                                                                                                                                                                                                                                                        1//*
                                                                                                                                                                                                                                                                                             7.8
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       306
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         82
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             6
                                                   5
                                                                                                                                                                                                                                                                                                2
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                8
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          100
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                105
```

417			7 1	120	121	122	103	4	101	125	126	127	128	120	7 1 1 1	noT.	131	132	133	134	1.35	1.36	137	138	130	160	145	142	1.43	144	177	146	14.7	***	D (1)	Tr = 1	175	121	761
TURNIC	DINPUT	O TABLET		CANTO	DINPUT	DINPUT	TURNEO	THENTO	246	DENTO	DINDUT	TOWNIO	TUNIO	TINDULE	THONE	Division	CANTO	LOUNIC	LUGNIO	TUGNIC	DINPUT	TUNIO	DINPUT	DINPUT	DINPUT	DINPUT	TUPNIO	TURNIO	DINPUT	DINPHI	DINPLIT	DINPUT	D Thous	TIGNE	PINDIE	FIGNE	THEFT	TO THE CO	DLNTE
																											۱۲۵		PERSONAL COSTAL BERSONE, UMR, UMR, ELMOD(1), POIS(1)		7	20	-	.001, NOIS, NSTR	NLOD1 .NDIS.NSTR				
IF(RBW.LT.0.265) WRITE(6,65)	IF (RBM. GT. 3. 75) MRITE (6, 65)									I IN			CHATEL PRO	(D(T) FI=T FNN)									MRITE (6,62)	-11)45		007	MAKE TE COSO N. M. NNP. NEL, NBP.NLJ	THE TOP TITE OF THE	K, SPZ, UMR, UMZ,	SEAU (3,50) RT FINISCOSCH AF SO	D, ZA, AME, AMS, AKI	WKILLE (5,61) RF, PHI, CO, CP, AF, SO	MKI I E (6, 67) EKO, ZA, AME, AMS, AKN	F(NPUN.EQ.3) WRITE(6,717) NLOD1,NDIS,NSTR	IF(NPUN.EO.1) MRITE(6,718) NI			****	
IF (RBW.LT.0.2	IF (RBM. GT. 3.7	RN= (N-1) +BMN	RM (N-1) *BKM	CN=RN/RR	CMEDM/DD	COTO 444	TTT 0100	CON THUE	WRITE(6,74)			1 4 7			CN= D(NN)	CH=C(H)	RN=CN*RR	GG*XCIIVO	CONTINUE	NAME OF THE PERSON	COLUMN TOLIN	MEGING OF OFT	AFT TOWN OF THE CO. BY THE CO. 62)	NEL = ((N=1)+(H-1))+2	CHELL AND DEVON	MET IE (6,92) NLOO	MKITE (0,50) N	12111601311777	0 (1660)3 7M	ALAD (2,60) KT	MEAU(5,06) EK	WKIIE (b, 61) R	WK1 E (6, 67) EK	IF (NPUN, EQ.0)	IF (NPUN. EQ. 1)	RETURN	ENO	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
								002											111	•																		****	
115					120						125						130					1.75	1				1 4.0	2				144	140				i	1 20°	

=

15

20

```
118
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 G WOOD COMOO
                                                                    6 6 M 00 0 0 M 00 0 0 M 00 M 00 0 M 0
                                            GMOD
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           FORMAT (1H0,4H NR.,5X,5H SOCT,5X,5H TOCT,5X,5H STRL,5X,5H EANF,5X,
                                                                    SUBROUTINE GMOD CALCULATES NEW MODULI BASED ON REACHED STRESS LEVEL
                                                                                                                    COMMON/COMMIX N, M, MM, RR, BMN, BMM, Z (200), R (200), J , DETAR COMMON/COMMIX (BM, ML, 10) F, ML, 10) F, MED, T, BAAND COMMON/COMMIX (BM, PC, PC, MR, MR, ELMO 1362), POIS (362) COMMON/COMMIX (BM, ML), MI (362), MI (362), MI (362), GTIFF (6,6), STIFF (400), PGIFF (400), PGIFF (400), PGIFF (6,6), COMMON/COMMIX (302), GMO, DIMT(362), II, IL COMMON/COMMIX (RP) FILOODOMIX (362), CF
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         FORHAT(5%,18HZUG IN ELEMENT NR.,15,2F10.4)
FORHAT(5%,23HFLIESSEN IN ELEMENT NR.,15,2F10.4/)
FORHAT(5%,25HFUTLASTUNG IN ELEMENT NR.,15/)
FORHAT(54H0,34HNEC E.*MOULII//)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      COMMON/COMMS DSTG(4,562)
COMMON/COMMS1/ NRIG,NEL,NLOD,NBOU,NPOM,NPUN
COMMON/INI/ SOCT(362),EKO,ZA,AME,AMS,AKN
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        DIMENSION SZ (362), SZ1 (362), SZ2 (362)
DIMENSION IK (362)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     SOC1 (III) = (SOCT (J1) + SOCT (K1) )/2.
SOCT (J1) = SOC1 (III)
SOCT (K1) = SOC1 (III)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 SIGMA(KN, II) =-SIGMA(KN, II)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             IF (NRIG, EQ.1) NEA=NE1+1
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         RC= (R(I)+P(J)+R(K))/3.
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        2C= (2(1)+7(J)+2(K))/3.
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  C COMPUTE PRINCIPAL STRESSES
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         DATA NBEL/14/.NME/24/
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             *5H ELFD,5X,5H POIS//)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               DIMENSION DIM1 (362)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    DIMENSION SOCI (181)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     II=NEA, NEL
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          FORMAT (15,6F10,4)
SUBROUTINE GMOD
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         III=1, NE
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               009.0 KN=1,4
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  WRITE(6,700)
WRITE(6,720)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 PSTRESS
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            NH=2 * (NL J-1)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               SKN=AMS*AKN
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              J1=2*III-1
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              NE=NEL/2
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       CONTINUE
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          (II) IN=]
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   CONTINUE
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         (II) ついょつ
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     K=NK(II)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             K1=2*II
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     0.100
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    CALL
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         001
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           1-16
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      201
706
716
720
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          10
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      106
```

30

25

35

9

Ę,

5

55

PAGE

15.25.47.	88 6. 88 8.	N PO J III G	0 0 0 0 0 1 K K K K K K K K K K K K K K	223	n to a to	7 8 7 9 80 81	25 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45 45	6 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	# # # # # # # # # # # # # # # # # # #	94 11 12 13 13 14	388 999 98 108 108 108	200 100 100 100 100 100 100 100 100 100
47/88/14	6 MOD 6 MOD 6 MOD 6 MOD		6 6 400 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	0 0 0 0 0 0 0 0	KOR3 KOR3 KOR3	6 H 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	00 W 00 00 W 00 00 W 00 00 00 00 00 00 0		KOR3 KOR3 KOR3	6 MOD KOR3 KOR3 6 MOD	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	GHOD GHOD GHOD GHOD OINPUT
74/74 Opta1 1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1	IF(IL.EG.2) DIM!(II)=ELMOD(II) IF(IL.E.2) SOUTE=SOUT(II) IF(IL.E.2) GOTO860 S71(II)=S2(II) 860 COWINNE	*	IF(TOT, =E.Q) GOTOSED SOCT(II) =1,2,3 *(SIGMA(1,II) + SIGMA(4,II) + SIGMA(2,II)) IF(SOCT(II) = 1,0 + GOTOSED PF=(S. //CORT(2.))	CALCULATE NEW MODULI FOR EAGH ELEMENT	F(ILLE_2) GOTD 890 F(SZZ(II).6T.SZ(II) GOTD870 F(SZZ(II).6T.SZ(II) GOTD880 F(SZZ(II).LE.SZ(II) K(II)=1	-		GOTO810 CONTINUE ELMOV(II)=DIM1(II) IF(IK(II))=G0.1) SZ2(II)=SZ1(I	*	CONTINED DE CONTINE DE CONTINE (6,730) II, IK(II), S22(II), S21(II), S2(II) (CONTINE (K), 1) (CONTINE (K), 1	3 ELMO 3 ELMO 5 E	
SUBROUTINE GMOD	8		٠	, C O	60 40	25.80	0+0	976	SI 6	980		1000
v	09	65	D.Z.	75	8		ID ID	06	32	100	105	110

```
FIN
                                                                                                                                                                                                                                                                                                               HIT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          HEN
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         LIN
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                H
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          FFFF
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     MIT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                FFFFF
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                NIT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         MIT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      MIT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               MIT
                                                                                                                                    FF
                                                                                                                                                             NIT
                                                                                                                                                                                                                                                HIL
                                                                                                                                                                                                                                                          HIT
                                                                                                                                                                                                                                                                     Ħ
                                                                                                                                                                                                                                                                                NIT
                                                                                                                                                                                                                                                                                           텊
                                                                                                                                                                                                                                                                                                    H
                                                                                FFF
                                               FF
                                                                      H
                                                                                                                 NIT
                                                                                                                                                                                           FORMAT (1H0,20HMATERIALMERTE DES FUNDAMENTS//10x,8HE-MODUL=,620.7,
                                                                                                                                                                                                                          ,5X,5HSIGRR,5X,5HSIGZZ,5X,5HSIGRZ,5X,
                                                                                                                                                                      FORMAT (1H0,15HINITIAL MODULII//1H0,4H NR.,5X,5HELMOD,5X,5H POIS,
                C SUBROUTINE INIT INITIALIZES THE MATERIAL PROPERTIES OF EACH ELEMENT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               [F(T.GT.G.) SIGMA(4,11)=POIS(II)*(SIGMA(1,11)+SIGMA(2,11))
                                                                                                                          [F(II, EQ.NM) WRITE(6,732) II, ZC, (SIGMA(KN, II), KN*1,4)
                                   COMMON/COMPAZ, NRP, NEL, NRP, NL, J. TOJE, NRQT, TRRAND
COMMON/COMPAZ, CRP, NPZ, UNR, LINO(362), POTS (362)
COMMON/COMPAZ, TR. NI (362), NU (362), CST IFF (6,61),
STFF (460,50), PG (400), DEL TA (400), ST CHAND (46,862)
COMMON/COMPAZ, NUM (362), EMO, OIN (362), LT, IL
COMMON/COMPAG, RF, PMI, SC D, COM (362), CP
COMMON/COMPAG, RF, PMI, SC D, COM (362), CP
COMMON/COMPAG, RF, PMI, SC D, COM (362), CP
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            SOCT (II) =-1./3.* (SIGMA (1,II) +SIGMA (4,II) +SIGMA(2,II))
                            COMMON/COMMIN N. M. M. M. RR. BWN, BWM, Z (200), R (200), T, DETAA
                                                                                                                   COMMON/COMMIL/ NRIG, NEI, NLOD, NBOU, NPOW, NPUN
                                                                                                                                                                                                                  FORMATICALIZERLOAD INCREMENT BOOY FORCES//)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        ELMOD(II)=ELM*(COH(II))**AME
BUM(II)=ELMOD(II)/(3.*(1.-2.*POIS(II)))
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             DIM(II) = ELMOD(II) / (2.* (1.+POIS(II)))
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  INITIAL STRESSES AND INITIAL MODULI
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   IF(ZC.LE.ZA) COH(II) =CO+CP*GPZ*ZA
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           IF (ZC.6T.ZA) COH (II) = CO+CP*GPZ*ZC
      IF(II.GT. (JJ*NEI)) NM=NM+NEI
                                                                                                                                                                                                                                                                                                         GMO=ELMOD(1) / (2*(1+POIS(1)))
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        SIGHA(2,II)=-ZC*GPZ
SIGMA(1,II)=EKO*SIGMA(2,II)
                                                                                                                                                                                                          *10X,12HPOISSONZAHL=,E23.7//)
                                                                                                                                                                                                                              FORMAT (140,4H NR., 5X,5H ZC
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    [FIII.GT.(JJ*NE1)) JJ=JJ+1
                                                                                                                                                                                    + 5x,5H DIM ,5x,5H BUH //)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          SIGMA(4, II) = SIGMA(1, II)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      IC=(Z(I)+Z(1)+Z(K))/3*
                                                                                                                                                                FORMAT (15,4F10.4)
                                                                                                                                                                                                                                                    FORMAT (15,5F10,4)
NE1=2*(M-1)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 POIS(II)=POIS(I)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           II=1, NEL
SUBROUTINE INIT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                SIG MA (3, II)=0.
                                                                                                                                                                                                                                                                           NE2=2* (NL J-1)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    WRITE(6,760)
WRITE(6,701)
DOB 3 II=1,N
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            MHUNG VON CU
                                                                                                                                                                                                                                                                                                ELM=ELMOD(1)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    CALL SIGSUM
                                                                                                                                                                                                                                           *5HSIGII//)
                                                                                                                                                                                                                                                                                       NE3=NE2+1
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  (II) (N=C
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             K=NK(II)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      (II) IN=I
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  NATE OF
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            11=1
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            BESTI
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       FORM
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            603
                                                                                                                                                                                                 209
                                                                                                                                                                                                                      700
                                                                                                                                                                                                                                                      702
                                                                                                                                                                  600
                                                                                                                                                                              601
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       ن
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             ಲ
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         5
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               20
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    52
                                            II.
                                                                                                                                                       5
                                                                                                                                                                                                                                                                   25
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       30
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              35
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    뭏
                                                                                                    10
                                                                                                                                                                                                            202
```

ea.					
PAGE					
04/06/74 15.26.10.	5.0 5.1 5.1	3 M 4 W W C C	668 777 732 732 743 743 743 743 743 743 743 743 743 743	77 77 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	, a 40 % W M
72/90/40	TINI	L L L L L L L L L L L L L L L L L L L	INNU HINNU H	TINI TINI TINI TINI	TINIT
FTN 4.0+P357					UMILIO
E INIT 74/74 OPT=1	IFINRIG.EG.0) GOTOBO4 C INITIAL MODULI FOR CONCRETE FOOTING 000.5 II=1,NE2 ELMOOIT)=ER	005 CONTINUE 005 CONTINUE 008.6 II=NE3,NE1 ELMODII)=EL POIS(II)=PL 606 CONTINUE		.NGA. IF(NRIG.EG.1) NEABNE1+1 IF(NRIG.EG.1) WRITE(6,6)2) ELMOD(1),POIS(1) WRITE(6,601) OOS10 II=NGA,NEL,NE1	MAZIE(6,600) IL, ELMOO(II), POIS(II), DIM(II), BUM(II) 816 CONTINUE RETURN END CONTINUE END
SUBROUTINE INIT	90	ro ro	20	75))
	~	u	-	~	60

PAGE

```
ひょうちょうしょう ちゅうしょくこう こうこう とうこう とうしょう ちゅうしょう とうしょう とうしょう ちょうしょう とりょう とうしょう しょうしょう とうしょう とうしょう しょうしょう しょうしゅう
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  OUTPUT
OUTPUT
                              TUPTUO
TUPTUO
                                                                                                                                                                                                                                           TUSTUG
                                                                                                                                                                                                                                                          DUTPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          DUTPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          TUTTO
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     DUTPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            DUTPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     DUTPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                DUTPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                 TUSTO
                                                                                                                                                                                                                                                                                           TUGTUG
                                                                                                                                                                                                                                                                                                        TUTTUD
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     DUTPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                DUTPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            DUTPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         DUTPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        DUTTUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    DUTPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                TUTTUC
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              TUTTUC
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         DUTPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     DUTPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 DUTPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             TUGTOO
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      TUETUO
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  DUTPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              DUTPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 DUTPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          DUTPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  TLCTUC
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             TUTTUE
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         TUTTO
                   TUTTUO
                                                        DUTPUT
                                                                    TUETUC
                                                                               DUTPUT
                                                                                             TUMTUO
                                                                                                         TUSTOC
                                                                                                                    DUTTOT
                                                                                                                                DUTPUT
                                                                                                                                             TUCTUC
                                                                                                                                                          DUTPUT
                                                                                                                                                                      DUTPUT
                                                                                                                                                                                             DUTPUT
                                                                                                                                                                                                         DUTPUT
                                                                                                                                                                                                                     DUTPUT
                                                                                                                                                                                                                                 DUTPUT
                                                                                                                                                                                  KOR
                                                                                                                                                                                                                                      *R;3X;9HDELTAILD.1037)

*F;3X;9HDELTAILD.1037)

*FRHATILHO;1HPATADUTPUT/3X;2HII;6X;2HRC,8X;2HZC;4X;7HSIGHA 1,

*FRHATILHO;1HPATADUTPUT/3X;2HII;6X;2HRC,8X;3HPDIS;15X;3HDIM//)

F FORMATILHO;1HHATADUTPUT/78X;2HII;3X;4HRGIII);4X;6HZGIII);6X;3HTGHA 1,

* IINSIGNA(X;1I);9X;11HSIGNA(Z;1I);8X;12HSIGNA(X;1I);9X;11HSIGNA(X;1I);
                  C SUBROUTINE OUTPT PRINTS THE RESULTS, DISPLACEMENTS AT NODES AND STRESSE
C
                                                                                                                                                                                                                                 FORMAT (1H0,10HDATAOUTPUT//8x,23H DISPLACEMENTS AT NODES//8x,5(2HI
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             D FORMAT(14H),9HLASTSTUFE,IS,1DX,14HLASTINKREMENT=,F10.4//)
2 FORMAT(14H),1DX,11HKNOTEN NR.=,IS,1DX,8HSETZUNG=,F10.4,2HGM/
*1DX,12HELEMENT NR.=,IS,1DX,13HSOHLSPANNUNG=,F10.4,7HMPUE NZ///)
                                                      COMMON/COMM2/ NNP,NEL,NBP,NLJ,IOIF,NEQT,IBAND
COMMON/COMM3/ FF,PSP2,NBP,LGNG1882,POIS(362)
STEFF(400,50),P(400),OELIA(400),SIGMA(4,362)
                                            COMMON/COMM1/ N, M, MM, RR, BWN, BWH, Z(200), R(200), T, DETAA
                                                                                                                                 COMMON/COMM11/ NRIG,NEI,NLOO,NBOU,NPOW,NPUN
COMMON/COMM12/ USUM(362),UW,AF,SO
                                                                                                       COMMON/COMMS/ SUM(362), GMO, OIM(362), IT, IL COMMON/COMMS/ OSIG(4,362)
       DELTA(IR) = DELT(IR) + DELTA(IR)
                                                                                                                                                           COMMON/PUN/ NLOO1, NDIS, NSTR
COMMON/STR/ NCODE
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              IF((IL-1).NE.NLOD1) GOTO501
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         FORMAT (I10,2F10,4,4E2).7)
                                                                                                                                                                                                                          FORMAT(5(110,E14.7))
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         DISPLACEMENTS AT NODES
IF(IL.EQ.1) GOTO200
                                                                                                                                                                                                 DIMENSION DELT(400)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       EF(IL.GT.1) GOTO400
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            R(I)=R(I)+DELTA(IR)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              Z(I) =Z(I)+DELTA(IR)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              DELT (IR) = DELTA (IR)
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    IR=2, NEQT ; 2
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     DO40 IR=1,NEQT,2
SUBROUTINE OUTPUT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              IR=1,NEGT
                                                                                                                                                                                     COMMON/VER/VERZ
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       IR=1,NEQT
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        DELT (IR) = 0.
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      DELIA(IR)=0.
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   (=(IR+1)/2
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          CONTINUE
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           CONTINUE
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            CONTINUE
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   CONT INUE
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  CONT INUE
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            CONTINUE
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      CONTINUE
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              GOT 0300
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  M2=2*M
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  I=1R/2
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       0.03
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       001
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         128
700
702
                                                                                                                                                                                                                                                              114
                                                                                                                                                                                                                                                                                     115
                                                                                                                                                                                                                           100
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           300
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           4
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   205
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            30 t
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              ပ
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               30
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          7
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    Ž,
                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 20
                                                                                                               7
                                                                                                                                                                           15
                                                                                                                                                                                                                                      2
                                                                                                                                                                                                                                                                                                   25
```

PAGE 2										
ā.										
15.26.27.	დიტიტიტ გე ⊒ ქი ს აქ	ରେ ଜଣ ବିଜୟ ଅଧିକ ଅଧିକ ଅଧିକ	0 4 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8		크 네 (J) PP, 4 T 보	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	040000	~ \$ 6 0 + 6 3 3 3 4 4 7 4 4 4 4 4	111333
94/06/74	104100 104100 104100 104100 104100	TUGTOO TUGTOO TUGTOO TUGTOO	104100 104100 104100 106100 104100	TUGTUO 0 TUG	1000 1000 1000 1000 1000 1001 1001	001701 001701 001701 001701 101701 101701	1047U0 1047U0 11.47U0 11.47U0 11.47U0 11.47U0 11.47U0	104700 104700 104700 104700 104700	TUGTUC TUGTUC TUGTUO TUGTUO	DUTPUT DUTPUT DUTPUT TUTPUT TUTPUT TUTPUT
FTM 4.3+P357						9	,II),SIGHA(2',II),			
	IF(NDIS,EG.D) GOTOBO 6 WRITE (6,113) WRITE (6,110) (IR, DELTA(IR),IR=1,NEQT) CONTINUE SES AT CENTROIDAL POINTS				. 13	ITTNOCHTAUE RATTE(6,120) II,RG,ZC, (SIGMA(KN,II),KN=1,4) CALL PSTRESS GOT121 CONTABUE CALL NUUE	##ITE(6,810) II,RC,ZC,SIGMA(1,II),SIGMA(4,II),SIGMA(2,II), GEHMOTINI CONTINUE CONTINUE CONTINUE FILLE (1, GOTOSIO MITHLE (1, GOTOSIO		-1)+2	IMI-1) ZD*SIGPR
0PT=1	O) GOTOBB6)(IR, DELTA ROIDAL POI	5) GOTO867 16,117	114)	1) +R(K))/3	= DSIG (KN); = DSIG (KN);)) GOTO808	II,RG,ZG,	11, RC, ZC, 115, DIN	NL,UW IEJ,2 LTA(TJ)	.) NEA=2*(" .2*(NLJ-1) .) IMI=2*M	JI=NEA, MEJ,2 ISIG(2,JI) MI)-R(IMI-1) **(2,*R(IMI)+R(**3,141593*RC*q
74/74	IF(NDIS,EG.0) GOTOBB 6 MRITE(6,113) MRITE(5,100) (IR, DELTA(IR CONTINUE STPESSES AT CENTROLDAL POINTS	IF(NSTR, EQ.f.) GOT IF(NCODE) 116,117 CONTINUE MRITE(6,115)	CONTINUE WRITE (6,114) CONTINUE CONTINUE	1=N 1(I) J=N J(II) K=NK (II) K=K(II)+R(J)+R(K))/3+	ZC=(KI)+Z(3)+Z(KI)/3, ZC=(KN=1,4, SIGHA(KN,II)=DSIG(KN,II) GONTINUE IF(KSTR*EQ-) GOTOBUB TENECORE: 418.418	CONTINUE CONTINUE CALL PSTRESS GOTOLSI CONTINUE CONTINUE CALL PSTRESS	MATTE(6,810) II, RC,7C, SIGM ELMOGITI, POIS(II), DIM(II) CONTINUE CONTINUE CONTINUE FOR IN THE FOR IT THE FOR	WRITE(6,700) NL,UW NEJ=2*NLJ DOG 0 IJ=2,NEJ,2 VERZ=100.*DELT4(IJ)	IEFREG.ED.1) NEA-2*(M-1)+2 MEJ-2*(M-1)+2*(NLJ-1) IMI=2 IMIRCA EG.1) IMI=2*H+2 SOME-3	
SUBROUTINE OUTPUT	G STRESS	117	116 120 887	we we F	·	119	4 8 8 8 7 8 9 8 9 8 9 8 9 8 9 8 9 9 9 9 9	900	- C - H F (v) te tr te
SUBROUT	09	99	7.0	75	8	8 G	95	10 5	105	110

SUBROUTINE OUTPUT	OUTPUI	74/74 OPT=1	FIN 4.0+P357	12/06/74	04/06/74 15.26.27.	PAGE	
115	A20	SUM-SUM+FORCE IMI=IMI+1 CONTINUE		TUTPUT TUTPUT	121		
120		F[=3.441593*RR**2 GG=SUMFFL NF2 TE(RRIG.ED.1) NV=2*(M+1) VERZ=100.*EE(TR.NV)		TUGUO TUGUO TUGUO TUGUO TUGUO TUGUO	8 4 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8		
22 22 1	510	HRITE(6,712) NV,VERZ,NEA,SIGP 510 ODVINUE RETURN END		DO O O O O O O O O O O O O O O O O O O	129 130 131 2		

PAGE																																					
15.26.37.	ns at	امت ۱۸	~ •0 (10.0	#:	2 6	41	16	~ •	4 4 6	12.5	160	\$ C.	56	27	14	4 4	32	04 CA	18	9 20	90	G 10	77	15	M 4	42	9 1	80	64	51	121	n n	55	57	80 80	
04/06/74	POWA	POWA	ANO C	POW	POWA	E NO	POMA	POW	W AD C	2 0 0 0 0 0 0 0 0	A M	POMA	A DA	NO C	POMA	KORL	PORT	POKA	7 0 0 8 3 0	POHA	A MO	POMB	ANO O	POWA	4 0 c	A MOOL	POWA	A MOO	POMP	POWA	0 M	POWA	POWE	POWA	POWA	POWA	
SUBROUTINE POWR 74/74 OPT=1	SUBROUTINE POMA	C SUBROUTINE POWA COMPUTES EXCESS PORE PRESSURES DEVELOPED DURING C UNDRATMED LABITACO	COMMON/COMMS/ NNP, NEL, NBP, NL J, IDIF, NEQT, IBAND COMMON/COMMS/ II NI 1362, N. N. 1362, N. N. 1363, COTTEFF.	* STIFF (400, 50), P(400), DELTA (400), SIGMA(4, 362)	COMMON/COMMS/ BUM (362), 680,01M (362), II, IL COMMON/COMMS/ RF. PHI.CO.COM (362), CP	COMMON/COMM8/ DSIG(4,362)	COMMON/COMMIN/ NRIG*NRI, NIOO*NBOU*NPON*NPUN COMMON/COMMIN/ UNUM(382)*UN.AR.AC	DIMENSION SIG(4), OELSIG(4), DELU(362)	30C FORMAT(IS-4F10-4)	705 FORMAT(1H6,10HOATAOUTPUT//8X,18HPOREWATERPRESSURES// * 1H0,4H NR,5X,5HDSOC1,5X,5HDTOCT,5X,5HALPHA,5X,5H DFLU//)	Central set 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19	NEA=1 TEXNOTE ER 43 MEA-NEA-1	「トーコント・ストース」という。 (パーコース・トース・ストース・ストース・ストース・ストース・ストース・ストース・ス	1700 A 200 T T = M20 A 200 T	m	00200 KN=1,94 SIG(KN) = 05TG(KN,TT)		200 CONTINUE ASIG=1,/2,*(SIG(1)+SIG(2))	BSIG-1./2.*(SIG(1)-SIG(2))	NIG(I)=BNIG+NGNH(BNIG++NHG(3)++NH NIG(2)=BNHTG+NDNH-NHHRAP+NHG-NH++PN	SOC1=1,/3,*(SIG(1)+SIG(4)+SIG(2))	TOCT=1./3.*SQRT((SIG(1)-SIG(4))**2+(SIG(1)-SIG(2))**2+(SIG(4)- * sIG(2))**2)		FSIG=1,72,*(DELSIG(1)-DELSIG(2))	DELNIG(1) *ESIG+SQRT(FS10**2+DELNIG(3)**2) DFLYIG(2) #FATE # FOTE # FOTE # PATE # 24 # # 24	SMA=SIG(1)+DELSIG(1)	SMI=SIG(2)+DELSIG(2)	0SOCT=1./3.*(OELSIG(1)+OELSIG(4)+OELSIG(2))	IF(0S0CT.LT.0.) 0S0CT=0.	S4=SIG(4)=S0C1	S2=SIG(2)-S0CT	IF(10C1.E0.0.) 0T0C1=0. IF(10C1.E0.0.) 6D10301	0T0CT= (S1*DELSIG(1)*S4*DELSIG(4)*S2*DELSIG(2))/(3,*TOCT)	_		1F10EVSIG.EU.) 60T0303 AL=DEVSIG/COS	
		6			10			15	ì		20			25	ì		ř	38			35			64	3			45			i,	2			E S		

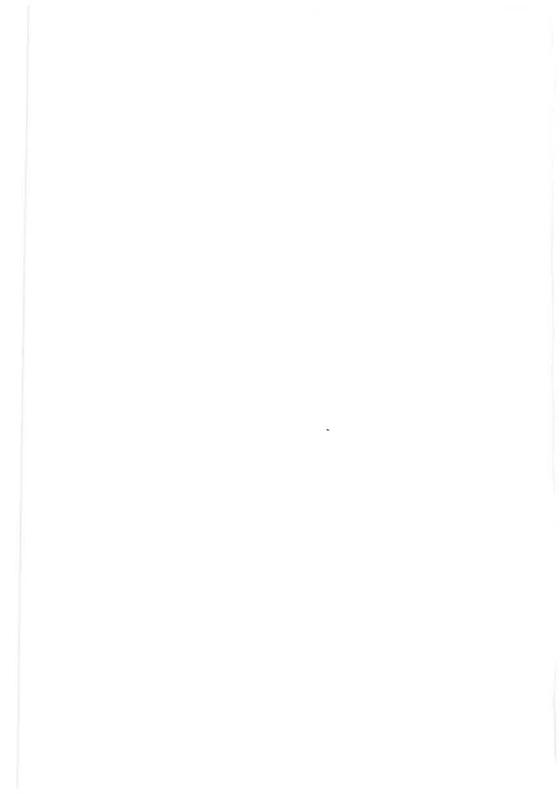
SUBROUTINE POWA	POWA	74/74 OPT=1	FTN 4.0+P357		14/16/74 15:25:37.	A P
		AM=ALOG(AL)		POWA	60 61	
60		AN-ALUSISU. ALPHA-AF*(1AM/AN) IF(ALPHA-LT.D.) ALPHA=0.	h=0.	POWE	01 PS 4	
	303	CONTINUE DELU(II)=DSOCT+ALPHA*DTOCT USUH(II)=DSUH(II)+DELU(II)	*870CT	POWA	66 55 t	
65		IF(II.6T.(JJ*NE1)) NM=NM+NE1 IF(II.6T.(JJ*NE1)) JJ=JJ+1 IF(II.6T.NM) NPTF(6.303) TI	IF(II.GT, (JJ*NEI)) NN=NN+NEI FF[II.GT, (JJ*NEI)) J-JJ*I FFTT.FC AM JOTTE 6. 700 II. DSDGT DIDGT ALPHA.USUM II)	POWA ANOC ANOC	6 6 8 6 8 8 8	
	308	CONTINUE		A WOOD	70	
0	******		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	POWA	120	

PAGE													
04/06/74 15.27.53.	N IA	, N. E.	۰ ۸ و	o	##	1 1 2 2 3 3 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	4.	116	18	e 4 c	21	25	23
4708774	PSTRESS	PSTRESS	PSTRESS	PSTRESS	PSTRESS	PSTRESS	PSTRESS	PSTRESS	PSTRESS	PSTRESS	PSTRESS	PSTRESS	PSTRESS
SUBROUTINE PSTRESS 74/74 OPT=1 FIN 4.3.+P357	SOURCULINE PSTRESS	C SUBROUTINE PSTRESS COMPUTES THE PRINCIPAL STRESSES	COMMON/COMM4/ II,NI(352),NJ(352),NK(362),CSTIFF(6,6), * STIFF(400,50),P(401),OFLTA(401),STGMA4.362)	COMMON/COMMS/ BUM(362), GMO, OIM(362), IT, IL	SIG=1./2.*(SIGMA(1,1I)+SIGMA(2,1I)) SIGM=1./2.*(SIGMA(1,TY)-SYGMA(2,1I))	INTERNAL COLORAS INTERNAL INTE	IF(SIGMA(1,II), GE,3,) GOTO 850	IF(SIGHA(2,II),GE,O.) GOID 050 SIGHECASIGMACA,II)/CSIGMA(4,II).STOMA(9,II),	PHI-14-/2-*ATAN(SIG1)	201	SIGHA(2,11) #SIG+SQRT (SIGM++2+SIGMA(3,11)++2)	アプレースで	
S		40			10		,	12		6	3		

P 26																												
04/06/74 15.28.05.	01 PO	.3	IS 1	ڡ	_	e O	6	.0	#	12	13	1,4	15	16	17	1.8	19	20	21	22	23	24	25	56	27	2.8	29	
04/06/74	SIGSUM	SIGSJ M	SIGSUM	SICSUM	SIGSUM	SICSUM	SIGSUM	SIGSUM	SIGSUM	SIGSUM	SIGSUM	SIGSUM	SIGSUM	SIGSUM	SIGSUM	SIGSUM	SIGSUM	SIGSUM	SIGSUM	SIGSUM	SIGSUM	SIGSUM	SIGSUM	SIGSUM	SIGSUM	SIGSUM	SIGSTH	
IGSUM 74/74 OPT±1 FTM 4.0+P357	SUBROUTINE SIGSUM	ののいののはなどの「「女工には、工会には、これ」となった。というとうとうとうできないものできない。 コインド はんしょう アー・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	SUNS UP THE SIMENSES OF EACH LOAD LIVERS OF THE SIMENSES	ONSEL TOTAL IN JOHN THE CONTROL OF T	COUNTRY OF A STATE OF		A CALLTA (FOLDS SUD) STATECH SUBSTITUTE (FOLDS STATECH SUBSTITUTE) CONTRACT SUBSTITUTE (CONTRACT SUBSTITUTE S	COMPANY OF THE STATE OF THE STA	AD中央の中央の中央の中央の中央の中央の中央の中央の中央の中央の中央の中央の中央の中		DOGO II-I-NET	IF(IL.EQ.1) GOTD 300	IF(IL.GT.1) GOTOBUO		300 CONTINUE	005 KN=1 p4	DSIG(KN,II) =SIGMA(KN,II)	S CONTINUE	6970488	5DD CONTINUE	DOG XN=1,%	DSIG (KN, II) = DSIG (KN, II) + SIGMA (KN, II)	SIGMA(KN,II)=OSIG(KN,II)	6 CONTINUE	_	600 CONTINUE	RETURN	END
SUBROUTINE SIGSUM	٠	***	 	2																								
•					Į,					7					12					20					23			

PAGE								
15.27.30.	พรกษะต่	7 4 62 10 4 10 4 4 4 4 4 4	22.0 20.0 20.0 20.0 20.0 20.0	00000000000000000000000000000000000000	ଅଟେ ଜଣ ଜଣ ଓ ଅଟେ	14 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	10001000000000000000000000000000000000	W W W W W W W W W W W W W W W W W W W
04/06/74	SOLVE SOLVE	SOLVE SOLVE SOLVE SOLVE SOLVE	SOLVE SOLVE SOLVE SOLVE SOLVE SOLVE SOLVE SOLVE SOLVE SOLVE	SOLVE SOLVE SOLVE SOLVE SOLVE SOLVE	SOLVE SOLVE	SOLVE SOLVE	SOLVE SOLVE SOLVE SOLVE SOLVE SOLVE SOLVE	SOLVE SOLVE
SUBROUTINE SOLVE 74/74 OPT=1 FTN 4.3+P357	SUBROUTINE SOL WE C. SUBROUTINE SOLWS EQUATEONS TO FORM COMPLETE DELTA-MATRIX C. SUBROUTINE SOLWS EQUATEONS TO FORM COMPLETE DELTA-MATRIX C. SUBROUTINE SOLWS SOLWS EQUATEONS TO FORM COMPLETE DELTA-MATRIX COMMON/COMMEZ, NEW, NEW, MI, JOIN, NEQUA, IDAND COMMON/COMMEZ, II, NIT(862), NI, VI, VI, VI, VI, VI, VI, VI, VI, VI, V		## EN ## ## ## ## ## ## ## ## ## ## ## ## ##	Vie. Vie.		00 665 JR-1,JJ 665 TEMP2(IC,JR)=0. IR-0 D0 670 II=18, IE IR=1R+1 D0 670 JR=1,JJ	IF(J,GT,IBAND) GO TO 670 TEMPILIR JRN=ST(II,J) 670 CONTRINE T (R=1,J) T (R=1,J) 671 IL=1,R 671 IV=RP2 (1,IV) T (IL,IV) + TV2	672 CONTINUE 675 STIZ-15AND 675 STIZ-111 (STIZ-1) - TEMP2(1, II-1))/ST(I,1) 680 CONTINUE C SQLVE TEMPORARY WARTABLES DELTA BY FORWARD SUBSTITUTION C FROM THE LONGR TRIANGULA? PART OF THE STIFFNESS MATRIX C DELTA(1) = FORCE(1)
	w	70	15	2 5	30	32	, ii	g g

-					
PAGE					
15.27.30.	ភាមាលា ១៤ ១៤ ១ មាលា ២៤ ១៤	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	1222	777 778 80 80	4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
12/90/40	SOLVE SOLVE SOLVE SOLVE SOLVE	SOLVE	SOLVE SOLVE SOLVE SOLVE SOLVE SOLVE	SOLVE	SOLVE SOLVE
SUBROUTINE SOLVE 74/74 OPT=1	00 710 I=2,WEQUA I1=1-1 SUMED. SUMED. JF (18,17,1 Jest) DF (18,17,1 Jest)	IJ=I-J+1 705 SUM-SUM-ST(d,IJ)*DELTA(J) 710 DELTA(I) =FORCE(I) +SUM C		730 SUM=6, II=1. JB=1*ERAND-1 JB=1*ERAND-1 TSE JB=0=1* TSE JB=0=1* SUM=SUM-2 TIT_JI)*SI(I,1)*DELTA(JB)	J8=J8-1 IfJns.de_11) 60 TO 735 DELTA(I) =(DELTA(I) +SUM)/ST(I,1) I=I-1 IFI.de_11) 60 TO 730 RETURN END
SU	09	65	7.0	22	8 80



Weitere Veröffentlichungen des Baugrundinstituts und seiner Mitarbeiter

[1]	Smoltczyk,U.	(19.74)	Studienunterlagen 330 Seiten, broschiert	DM 25,-
[2]	Gußmann,P.	(1973)	Ausgleichsvorgänge eindimensionaler Strömungen bei beliebiger Anfangsbe dingung unter besonderer Berücksich gung der Konsolidation einseitig dr nierter Tonschichten Die Bautechnik 50, 20-25	e- nti-
[3]	Thamm, B.R.	(1973)	Die "Cam-Clay"-Theorie und das "Critical-State"-Konzept Der Bauingenieur 48, 311 - 314	Sonderdruck
[4]	Gußmann,P./ Spotka,H.	(1973)	Eindimensionale Konsolidation mehr- schichtiger Tonböden Die Bautechnik 50, 265 - 272	Sonderdruck
[5]	Thamm, B.R.	(1973)	Anwendung der Finite-Element-Method zur Berechnung von Spannungen in wassergesättigten Böden Der Bauingenieur 48, 370 - 374	de Sonderdrück
[6]	Gußmann,P.	(1974)	Different methods of evaluating the influence of seepage forces on slop stability Deutsche Beiträge zur Geotechnik N:	pe
[7]	Gußmann,P./ Schad,H.	(1974)	Practical considerations in the ap- ion of finite element techniques to soil problems Deutsche Beiträge zur Geotechnik N	0
[8]	Gußmann,P./ Spotka,H.	(1974)	One-dimensional consolidation of multi-layered clays Deutsche Beiträge zur Geotechnik N	r.2,91-102
[9]	Gußmann,P./T	hamm,B. (1974)	Two-dimensional consolidation of t test specimen Deutsche Beiträge zur Geotechnik N	
[10]	Schad,H. et	al. (1974)	Stresses in concrete caisson bells Deutsche Beiträge zur Geotechnik N	
[11]	Smoltczyk,U.	(1974)	Improved technique for foundations Deutsche Beiträge zur Geotechnik N	
[12]	Smoltczyk,U. Diem,P./Spo		Pressure cell for the measurement normal and shear tests Deutsche Beiträge zur Geotechnik N	
[13]	Smoltczyk,U. Ljöterud,L.		Stabilizing sand grains by overhea pressure in bell bottoms of caisso Deutsche Beiträge zur Geotechnik N	n piles
	Die Nrn.6 - Gesellschaft DM 20,- ver	t für Er	ält das o.g. Heft 2, das von der Deu d-und Grundbau e.V.,Essen, zum Preis rd	itschen se von

[14]	Smoltczyk,U. et al.	(1975)	Die Anwendung der Methode der Finiten Elemente in der Grund- baupraxis CAD-Berichte Heft 1 der Gesellscha für Kernforschung Karlsruhe	aft (Sonderdruck)
				(Solideraruck)
[15]	Gußmann,P./ Thamm,B.R.	(1974)	Zweidimensionale Konsolidation dreiaxialer Versuchsproben Der Bauingenieur 49, 293 - 298	(Sonderdruck)
[16]	Gußmann,P.	(1974)	Über den Einfluß unterschiedlicher Wasserdruckansätze auf die Stand- sicherheit von durchströmten Böschungen Der Bauingenieur 49, 298-301	(Sonderdruck)
[17]	Smoltczyk,U./ Gußmann,P./Schulz,H.	(1974)	DIN 4084 Beiblatt Erläuterungen und Berechnungsbeisp 20 S., Beuth-Verlag Berlin/Köln	

MITTEILUNGEN DES BAUGRUNDINSTITUTS STUTTGART

Herausgegeben von Prof.Dr.-Ing.U.Smoltczyk

Nr.1 Bernd Thamm, Anfangssetzungen und Anfangsporenwasserüberdrücke eines normalverdichteten wassergesättigten Tones

Preis: DM 10,--

Nr.2 Peter Gußmann,
Einheitliche Berechnung von Grundbruch und
Böschungsbruch
Preis: DM 5,--



