

2.12 Tgb.Nr. 8859/76 Wü/Lü/Spi

Baugrunddynamische Untersuchungen  
für das Kernkraftwerk Brokdorf

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover  
Februar 1977

## 1. Vorgang

Die BGR wurde mit Fernschreiben Nr. 1146 der NWK vom 9. Dezember 1976 und einem folgenden Auftragsschreiben 0117 - 77 - 84 - 00 der Kernkraftwerk Brokdorf GmbH vom 8. Dezember 1976 beauftragt, baugrunddynamische Untersuchungen entsprechend unserem Angebot 2.12 - 8859/76 vom 23. November 1976 durchzuführen.

Die vorläufigen Ergebnisse sind der KWU (Erlangen) bei einer Besprechung in unserem Hause am 1. Februar 1977 bereits übermittelt worden.

Die Aufgabenstellung ist auf einer gemeinsamen Besprechung am 16. November 1976 in Hamburg erörtert worden. Zur rechnerischen Überprüfung des Lastfalles "Erdbeben" sollten danach folgende baugrunddynamische Kennziffern mit Angabe der Grenzwerte in Abhängigkeit von der Tiefe gemessen bzw. abgeleitet werden:

- Druckwellengeschwindigkeit  $c_1$
- Scherwellengeschwindigkeit  $c_t$
- dynamischer Schubmodul  $G$
- dynamischer Elastizitätsmodul  $E$
- Schubmodul  $G_{SE}$  bei Erdbebenstärke
- hysteretische Dämpfung  $D_{SE}$  bei Erdbebenstärke

## 2. Allgemeines

### 2.1 Baugrund

Die geologischen und bodenmechanischen Gegebenheiten am Standort sind im 4. Bericht des Ingenieurbüros "Prof. Steinfeld" vom 10.12.1974 dargestellt, auf den hier hingewiesen

wird. Danach liegt die natürliche Geländehöhe bei  $\pm 0,5$  m NN. Die derzeitige Geländehöhe liegt jedoch wegen einer Sandaufschüttung ca. 2 m höher. Das Grundwasser steht bei ca. 0 m NN.

Einen schematischen Überblick über den Bodenaufbau gibt Tabelle 1:

Tabelle Nr. 1: - Schematisches Baugrundprofil -

Schicht Nr.	Bodenart	Dichte (g/cm <sup>3</sup> )
1	Aufschüttung )	1,8
2	Oberer Klei )	1,45 - 1,55
3	Torf ) Holozän	1,05
4	Unterer Klei ) ca. 10-20 m	1,4 - 1,5
5	Sand (mitteldicht ) bis dicht )	1,8
6	Sand (dicht bis ) Pleisto- sehr dicht ) zän	2,0

## 2.2 Bauwerk

Geplant ist ein Reaktorgebäude mit einem Durchmesser von ca. 60 Metern. Die Unterkante des Reaktorgebäudes soll eine Höhenlage von NN - 5,0 m bis NN - 7,0 m erhalten. Die Lasten werden mit einer Pfahlgründung auf die pleistozänen Sande abgesetzt, da der Klei keine ausreichende Tragfähigkeit besitzt.

## 2.3 Erdbeben

Ein seismologisches Gutachten zur Stärke der Auslegungserdbeben liegt uns nicht vor. Die Kenndaten werden deshalb in ihrer Abhängigkeit von der Scherdehnung angegeben.



## 2.4 Messungen

Die Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Druck- und Scherwellen werden nach dem seismischen Aufzeitverfahren in - situ bestimmt. Hierbei werden in einem Bohrloch (50 m tief) durch die Detonation von kleinsten Sprengladungen in verschiedenen Tiefen seismische Wellen erzeugt. Gemessen wird die Zeit, die diese Wellen benötigen, um an der Oberfläche aufgestellte dreidimensional arbeitende Geophone zu erreichen. Dabei wird die Druckwellengeschwindigkeit aus den Ersteinsätzen in den Seismogrammen bestimmt. Die Bestimmung der Scherwellengeschwindigkeit erfolgt mit Hilfe der Phasenkorrelation zwischen den Seismogrammen der einzelnen Sprengungen. Die Lage der Spreng- und Meßorte ist aus Anlage 1 ersichtlich.

Ergänzende Untersuchungen zur Bestimmung der Scherwellengeschwindigkeit werden an 6 Bodenproben im Labor vorgenommen.

Messungen der Erschütterungen einer Franki-Pfahl Rammung und einer schweren Rammsonde waren nur begrenzt auswertbar.

Die Geländeuntersuchungen fanden in der Zeit vom 13. - 15.12.76 statt.

## 3. Ergebnisse

### 3.1 Geschwindigkeitsmodell

Die Ergebnisse der nach den verschiedenen Methoden vorgenommenen Geschwindigkeitsbestimmung sind in der Anlage 2 dargestellt.

Aus diesen Werten wurde das in Tabelle 2 wiedergegebene Geschwindigkeitsmodell abgeleitet.

Tabelle Nr. 2: - Geschwindigkeitsmodell bei kleinsten Dehnungen -

Schicht	$c_1$ (m/s)	$c_t$ (m/s)
1	330	nicht erfaßt
2	700	60 - 90
3		
4	950	80 - 100
5	1860	250
6	1860	330

Die Schichten 2 und 3 werden aus versuchstechnischen Gründen zusammengefaßt. Für den Klei (Schichten 2 und 4) entsprechen die Scherwellengeschwindigkeiten ( $c_t$ ) des Geschwindigkeitsmodells nicht den Mittelwerten aus den Messungen. Es sind vielmehr kleinere Werte aus dem unteren Streubereich angenommen worden, da diese Geschwindigkeiten mit den bisherigen Erfahrungen besser übereinstimmen. Die Schwankungsbreite der Druckwellengeschwindigkeiten beträgt ca. 10 %.

### 3.2 Baugrundkennwerte bei kleinsten Dehnungen

Für den unbelasteten Boden ergeben sich aus den Geschwindigkeiten und der Dichte die in Tabelle 3 zusammengestellten Baugrundkennwerte bei kleinsten Dehnungen.



Tabelle Nr. 3: - Baugrundkennwerte bei kleinsten Dehnungen -

Schicht	Poissonzahl	Schubmodul MN/m <sup>2</sup>	Elastizitätsmodul MN/m <sup>2</sup>
2 / 3	0,5	5,5 - 12,5	15 - 37
4	0,5	9,5 - 15	28 - 45
5	0,49	115	330
6	0,48	220	650

Die Schicht 1 (Aufschüttung) wurde nicht erfaßt, da sie für die Gründung ohne Bedeutung ist.

### 3.3 Baugrundkenndaten bei Erdbebenstärke

Die Übertragung der bei kleinsten Dehnungen bestimmten Kennwerte auf Erdbebenstärke wurde nach den Bemessungsgleichungen von HARDIN & DRNEVICH vorgenommen. Diese Gleichungen, die empirisch aus dem dynamischen Verhalten verschiedener Bodenarten abgeleitet wurden, liefern für Sande gute Ergebnisse. Für kohäsive Bodenarten ergeben sich jedoch stärkere Streuungen. Für den Klei, der innerhalb der kohäsiven Bodenarten eine extreme Rolle spielt, sind diese Gleichungen daher nur bedingt anwendbar. Es wurden für die Berechnung daher ungünstige Grenzbedingungen angenommen.

Anlage 3 zeigt im halblogarithmischen Koordinatennetz die Abhängigkeit des Schubmoduls von der Scherdehnung für die Schichten 2/3 und 4 d.h. die Bodenart Klei. Detaillierte Angaben zur Abhängigkeit der Dämpfung von der Scherdehnung las-

sen die Meßergebnisse und Bemessungsgleichungen nicht zu. Im allgemeinen sind größere Abminderungsfaktoren für den Schubmodul mit größeren Dämpfungen verbunden. In Anbetracht der Besonderheiten der Bodenart Klei meinen wir jedoch, daß hierfür keine größeren Dämpfungen als 10 % in Ansatz gebracht werden sollten.

Die Abhängigkeit des Schubmoduls und der Dämpfung, die sich aus den Gleichungen von HARDIN & DRNEVICH für die Schichten 5 und 6 ableiten läßt, ist in Anlage 4 dargestellt.

Verzichtet man auf eine Untergliederung der pleistozänen Sande, so ergibt sich für den Schubmodul der ebenfalls dargestellte Toleranzbereich für den unbelasteten Baugrund. Die Dämpfung sollte nicht höher als 10 % angesetzt werden.

In die Bemessungsgleichungen nach HARDIN & DRNEVICH geht die wirksame Spannung im Boden wesentlich mit ein. Höhere wirksame Spannungen führen zu einer Vergrößerung des Schubmoduls und zu einer Verkleinerung der Dämpfung. Als Beispiel hierzu werden die entsprechenden Kurven für eine zusätzliche Auflast von  $50 \text{ KN/m}^2$  (  $5 \text{ kp/cm}^2$  ) mit dargestellt.

## 6. Zusammenfassung

Die für den Nachweis der Erdbebbensicherheit des Kernkraftwerks Brokdorf benötigten baugrunddynamischen Kenndaten Schubmodul  $G$ , Poisson-Zahl  $\nu$  und Dämpfung  $D$  wurden aus den Druck- und Scherwellengeschwindigkeitsprofilen des

Baugrunds sowie den vorliegenden bodenmechanischen Kennziffern in Abhängigkeit von der Scherdehnung  $\gamma$  dargestellt.

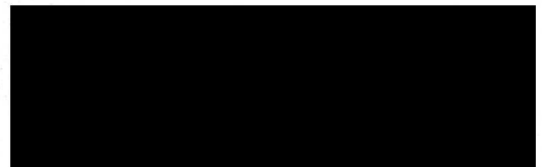
BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE, HANNOVER

Im Auftrage

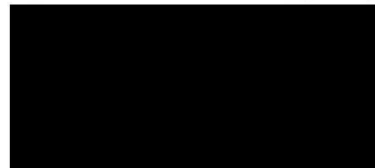
Die Sachbearbeiter



-Ltd. Direktor u. Professor-



- Geologieoberrat -



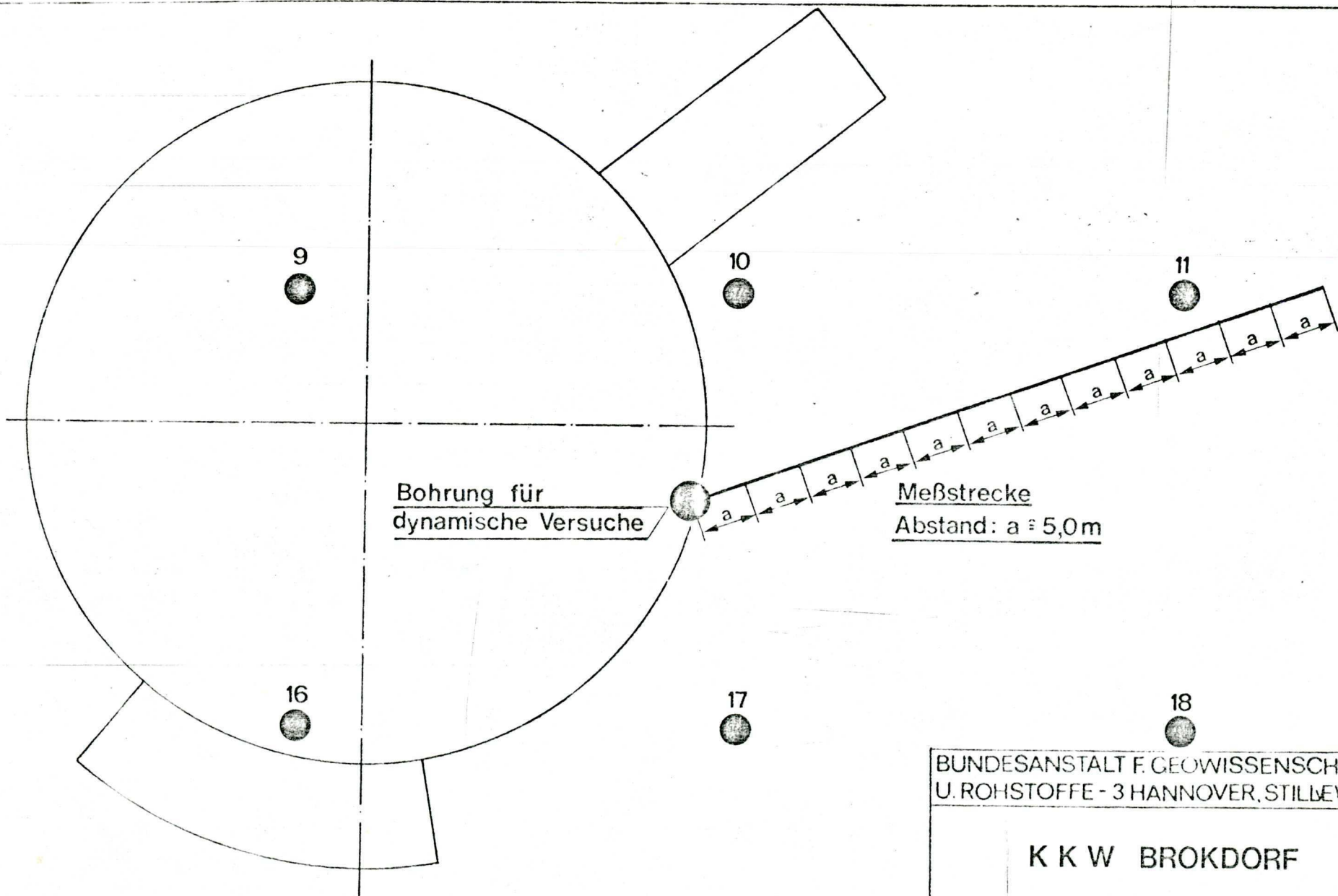
-Geologierat-



Literatur:

---

HARDIN & DRNEVICH: Shear Modulus and Damping in Soils.  
2. Design Equations and Curves  
Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. 98,  
SM 667 - 692, New York 1972



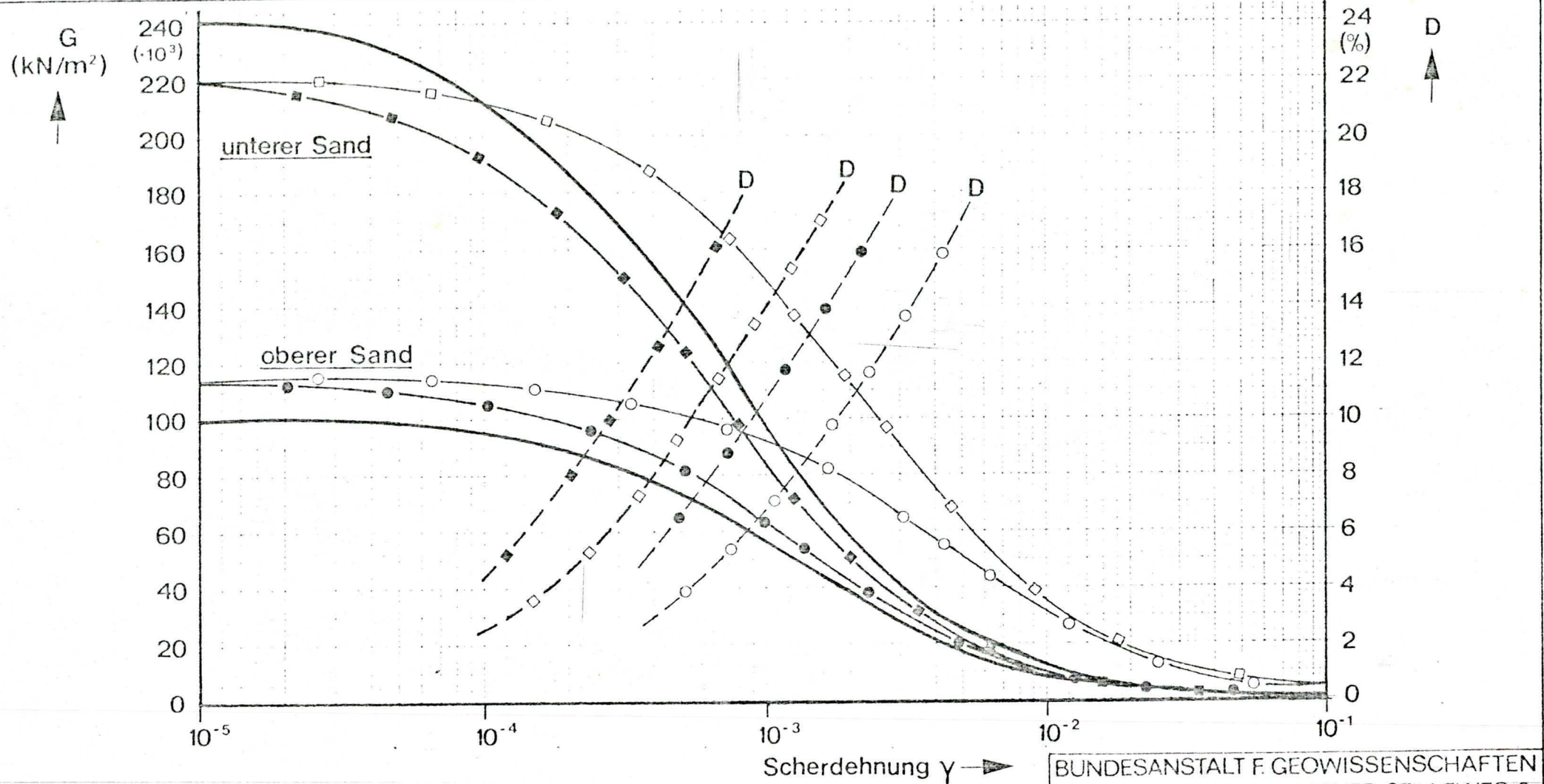
Bohrung für  
dynamische Versuche

Meßstrecke  
Abstand:  $a \approx 5,0\text{m}$

BUNDESANSTALT F. GEOWISSENSCHAFTEN  
U. ROHSTOFFE - 3 HANNOVER, STILLBEWEG 2

K K W BROKDORF  
LAGEPLAN DER MEßSTELLEN

M = 1:500



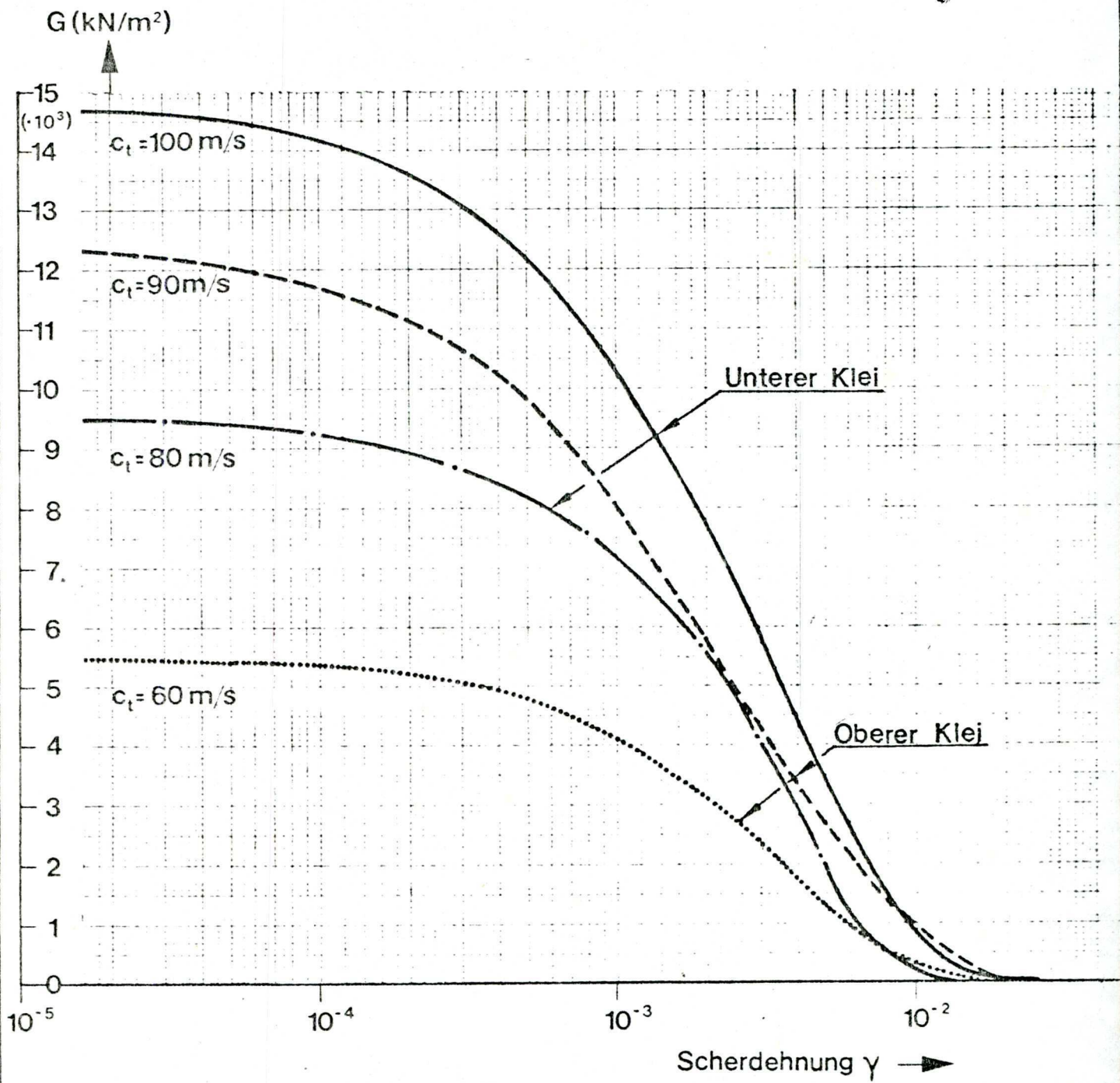
- TOLERANZBEREICH SCHUBMODUL
- UNTERER SAND FREIFELD
  - OBERER SAND FREIFELD
  - UNTERER SAND MIT 50 kN/m² AUFLAST
  - OBERER SAND MIT 50 kN/m² AUFLAST

BUNDESANSTALT F. GEOWISSENSCHAFTEN  
U. ROHSTOFFE - 3 HANNOVER, STILLEWEG 2

K K W BROKDORF

SCHUBMODUL( $G$ ) UND DÄMPFUNG ( $D$ )  
IN ABHÄNGIGKEIT VON DER DEHNUNG  
BODENART: SAND



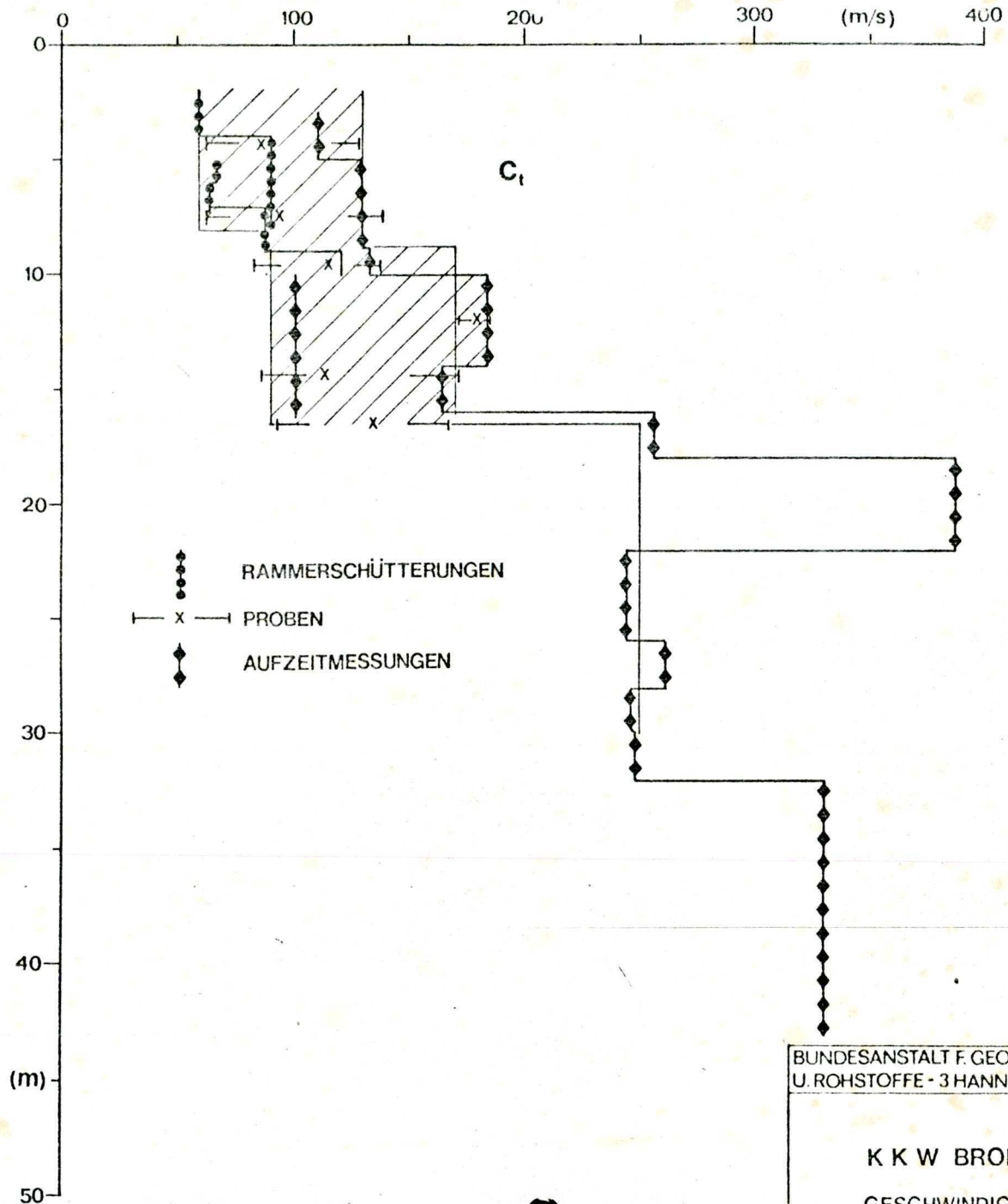
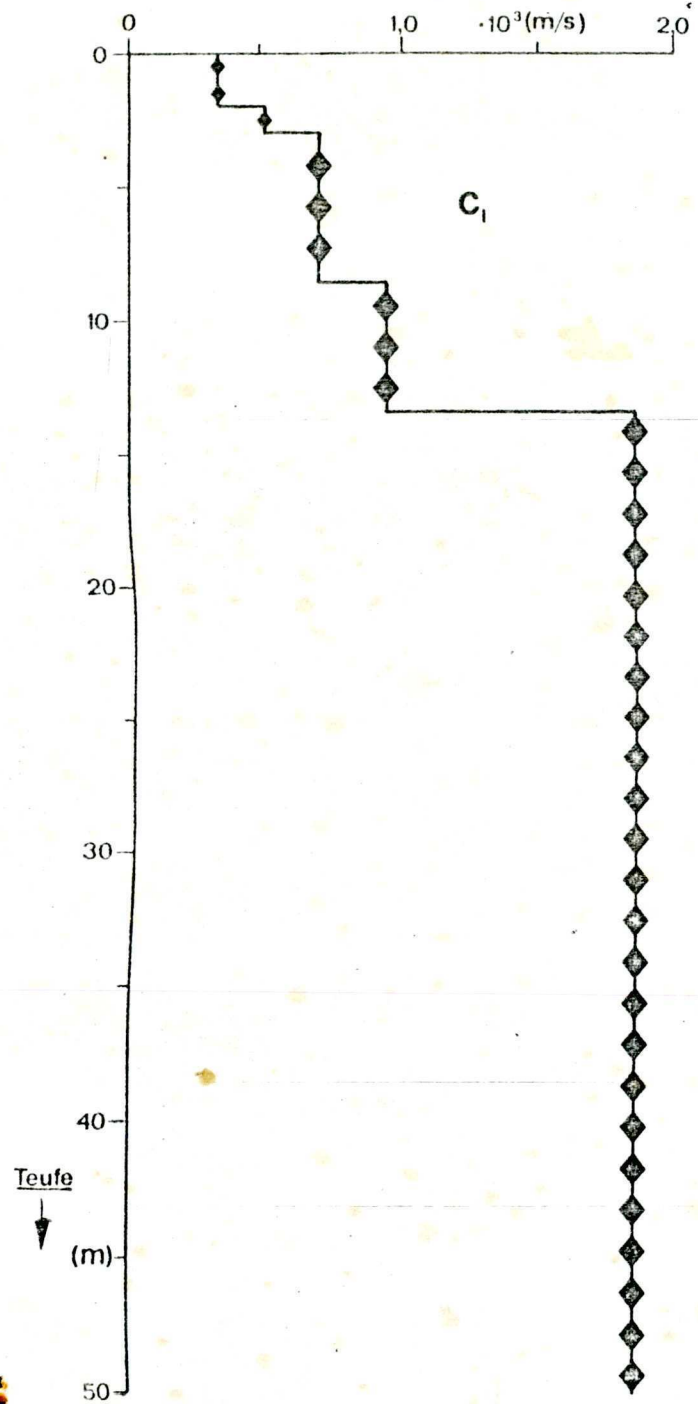


BUNDESANSTALT F. GEOWISSENSCHAFTEN  
U. ROHSTOFFE - 3 HANNOVER STILLEWEG 2

K K W BROKDORF

SCHUBMODUL  $G$  IN ABHÄNGIGKEIT  
VON DER DEHNUNG

BODENART : KLEI



RAMMERSCHÜTTUNGEN  
 — x — PROBEN  
 AUFZEITMESSUNGEN

BUNDESANSTALT F. GEOWISSENSCHAFTEN  
U. ROHSTOFFE - 3 HANNOVER, STILLEWEG 2

K K W BROKDORF  
GESCHWINDIGKEITSPROFIL