

# Kontinentales Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland

## Restspannungen in Tiefbohrkernen - Modellrechnungen

H. Berckhmer (Projektleiter), A. Zang  
 Inst. f. Meteorologie und Geophysik, Frankfurt  
 H. Stöckl, Fraunhofer Institut f. Werkstoffmechanik

### Entstehung von Eigenspannungen 2. Art (In Korndimensionen) bei Entlastung von Bohrkernen

wird untersucht an 2-dimensionalen Aggregaten mit zwei Mineralkomponenten A und B. Komponente B bildet die feste Kornmatrix des unter Druckspannung stehenden Gesteins. Komponente A füllt die Zwickele zwischen den Körnern und dient nach Verfestigung als diagenetisches Bindemittel.

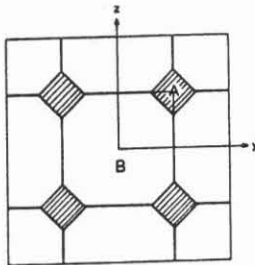


Abb. 1 Zwei-Komponentenmodell für FE-Rechnungen.

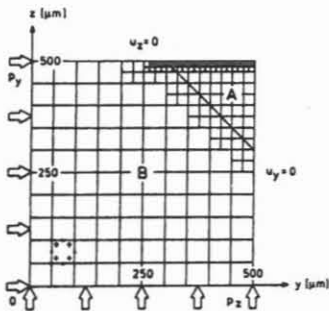


Abb. 2 FE-Netz des in Abb. 1 markierten Elements. Rechnungen wurden mit ADINA-Programmsystem im Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik, Freiburg ausgeführt.

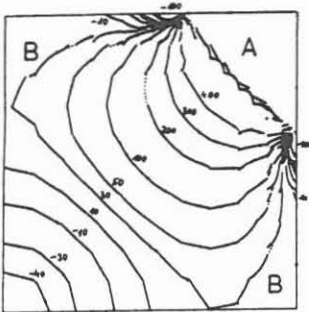


Abb. 3 Hauptspannungsverteilung  $\sigma_1$  nach Entlastung vom Umgebungsdruck -500 MPa. Das System besteht aus Quarzmatrix mit quarzitischem Bindemittel. Man beachte den Zugspannungsbereich mit +500 MPa in A nach der Spannungsumlagerung.

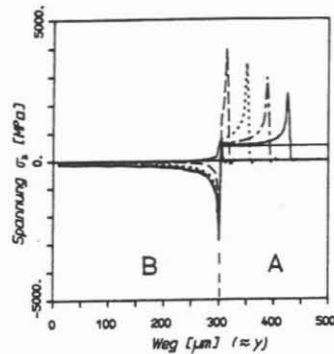


Abb. 4 Verlauf der Spannung  $\sigma_z(y)$  für  $z=500\mu\text{m}$  bei fortschreitender Ribbildung vom Zentrum von A nach B

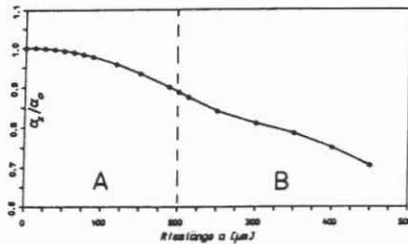


Abb. 5 Normierte Kompressionswellengeschwindigkeit  $\alpha_z/\alpha_0$  in Z-Richtung senkrecht zum Ribstreifen als Funktion der Riblänge.

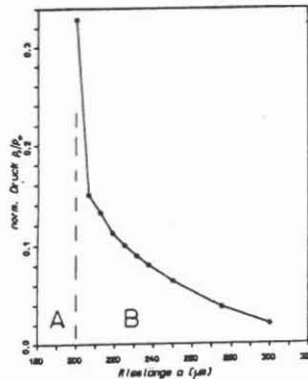


Abb. 6 Schließen der Risse durch äußeren Druck. Normierter Ribschließungsdruck  $p_s/p_o$  als Funktion der Riblänge. Schließung des Risses beginnt in B bei  $p_s/p_o > 0,02$ . Ribschließung in A erfolgt erst bei  $p_s/p_o \approx 0,99$ , d.h. bei Erreichen des ursprünglichen Spannungszustands.

### Eigenspannung in mikromorphen Modellen

Deformationen, wie sie insbesondere bei Mehrfachüberkernung beobachtet werden, sollen durch Verteilungen von Spannungszentren (plastische Kristalldeformation, Mikroribbildung) im Innern elastischer Kontinua erzeugt werden. Die Simulation der Spannungszentren erfolgt durch Einbau von Versetzungen bzw. Punktdefekten.



Abb. 7 Schema der Doppelüberkernung und der Anordnung von Dehnungsmeßstreifen zur Messung residueller Deformationen.

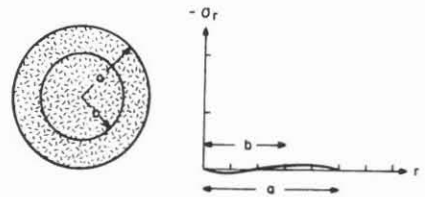


Abb. 8 Spannungsfeld auf einem Kreis mit Radius b im Innern ein elastischer Zylinder vom Radius a bei isotroper Störstellenverteilung - beim Überkernen mit Radius b würde keine Entspannung und folglich auch keine Deformation auftreten-

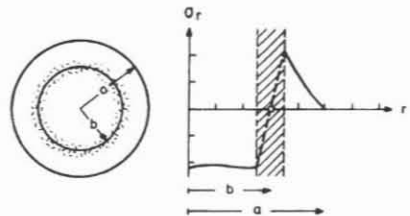


Abb. 9 Spannungsfeld eines elastischen Zylinders mit einem Ring von Störstellen liefert beim Überkernen mit Radius b Kontraktion im inneren Kern und Dilatation im äußeren Ring, wie beim Experiment beobachtet. Die Störstellenentstehung geschieht beim Überkernungsprozess.

### Literatur

Berckhmer, H. DFG-Bericht zu Be 299/63-3 (Juli 1987)

Stöckl, H., Ockevitz, A.: Numerische Simulation der Entstehung von Eigenspannungen in Gesteinen. Bericht V 23/87, Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik, (1987)

Zang, A.: Eigenspannungen in Tiefbohrkernen. Modellrechnungen und experimenteller Methodenvergleich. Diplom-Arbeit, Institut f. Meteorologie und Geophysik, Frankfurt (1987)

# Kontinentales Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland

## Restspannungen in Tiefbohrkernen - Methodenvergleich

Residualdeformation bei Mehrfachüberkernung

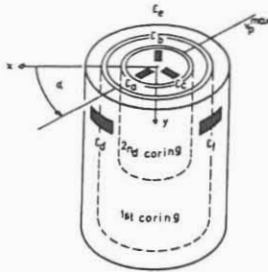


Abb. 1 Anordnung der Dehnungsmeßstreifen

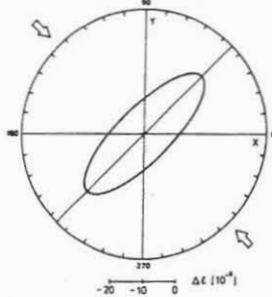


Abb. 2 Anisotrope Kontraktion des inneren Zylinders nach Doppelüberkernung

Richtungs- und Druckabhängigkeit von  $V_p$

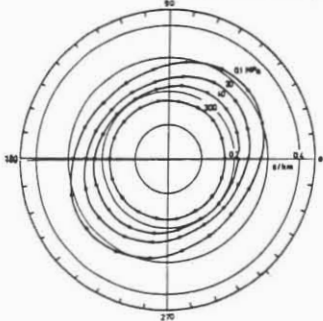


Abb. 3 "Slowness" bei radialer Durchschallung eines Probezylinders als Funktion von Azimut und hydrostatischem Druck in der Meßkammer. Die elastische Anisotropie ist durch Entspannungsrisse bedingt, die bei isotropem Gefüge in  $\sigma_{III}$ -Richtung des in situ-Spannungstensors streichen.

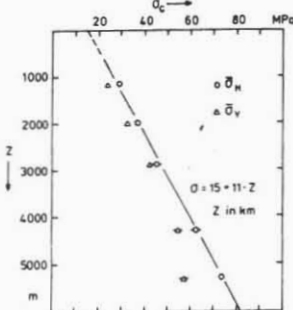


Abb. 4 Rißschließungsdruck  $\sigma_c$  in Abhängigkeit der Kerntiefe (Kerne aus verschiedenen Bohrungen Norddeutschlands).  $\sigma_c$  wurde nach dem Tangentschnittpunktverfahren für horizontale und vertikale Durchschallung bei zunehmendem Kammerdruck bestimmt. Die Tiefenabhängigkeit von  $\sigma_c$  spricht für die theoretische Erwartung, daß  $\sigma_c$  mit der in situ-Spannung (und Temperatur) korreliert.

H. Berckhmer (Projektleiter), A. Zang, E. Aulbach, P. Bäuml  
Institut für Meteorologie und Geophysik, Frankfurt

### Ziel des Forschungsvorhabens

Ist es, aus Restspannungen und Entspannungsprozessen in Tiefbohrkernen auf das in situ-Spannungsfeld zu schließen.

Beim Ziehen der Kerne erfolgt Entspannung durch:

1. momentane elastische Deformation
2. zeitabhängige viscoelastische Relaxation
3. Rißbildung und Spannungsumlagerung in Korngrößendimensionen des polykristallinen Gefüges. (Restspannungen 2. Art).

Es wurde eine Reihe makroskopischer und mikroskopischer Verfahren angewandt, um als Standarduntersuchungsmaterial ein mittelkörniger kalzitisch gebundener Karbonsandstein der Bohrung Victorubur Z1 aus 5300 m Tiefe. Nur für die Ergebnisse der Abb. 4 wurden zusätzlich Proben aus anderen Bohrungen verwendet.

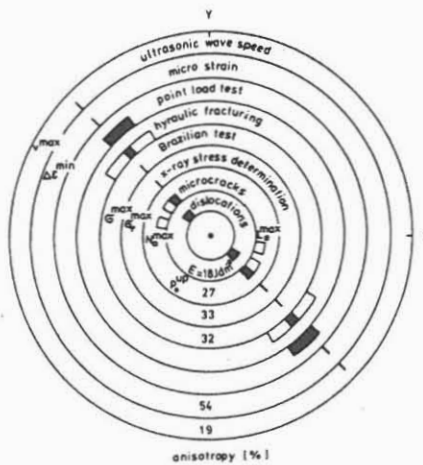


Abb. 10 Methodenvergleich im Zirkulardiagramm und Anisotropie der Eigenspannungskenngrößen im Standard-Tiefbohrkern.

### Literatur

Berckhmer, H., Aulbach, E., Bäuml, P., Sobiesiak, M.: Residual stress in drill cores. 4th Alfred Wegener Conference, Seeheim 1985, Abstracts S. 91.

Zang, A.: Eigenspannungen in Tiefbohrkernen, Modellrechnungen und experimenteller Methodenvergleich. Diplomarbeit Inst. f. Meteorologie und Geophysik, Frankfurt a.M., 1987.

Simulation von Makrorissen



Abb. 5 a) Punktlastbruchversuch. Der entsprechende Makrobruch streicht in Richtung der vorhandenen Mikro-Entspannungsrisse. ( $\sigma_{III}$ -Richtung) Abb. 5b) Brazil-Test zur Bestimmung der Zugbruchfestigkeit.

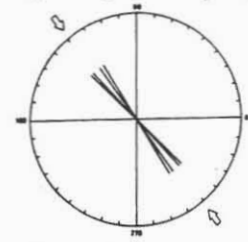


Abb. 6 Bruchorientierung bei 4 Punktlastbruchversuchen.

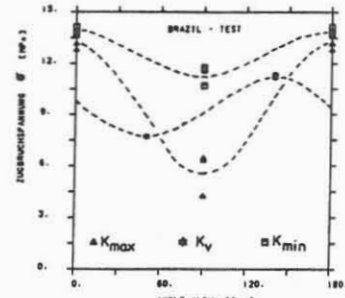


Abb. 7 Zugbruchfestigkeit für unterschiedlich orientierte Probenzylinder.  $\alpha = 0$  entspricht der Richtung von  $V_{pmax}$ . Die Festigkeitsanisotropie korrespondiert mit der Elastizitätsanisotropie.

### Mikroskopische Rissverteilung

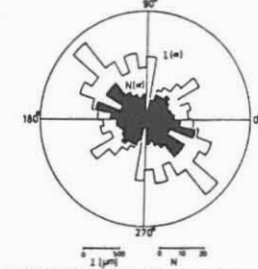


Abb. 8 Richtungsverteilung der Häufigkeit  $N(\alpha)$  und der Längen  $l(\alpha)$  intergranularer Mikrorisse in Quarzkörnern.

### Orientierung von Versetzungslinien

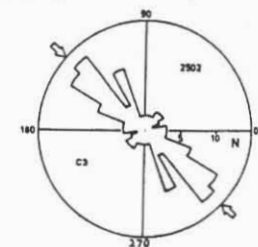


Abb. 9 Richtungs- und Häufigkeitsverteilung von Versetzungslinien in Quarzkörnern (TME-Mikroskopie).