

# Das Kontinentale Tiefbohrprogramm KTB

## Ein Halbzeitbericht

Von Rolf Emmermann und Jörn Lauterjung

**Das fünfte Wissenschaftliche Kolloquium im Rahmen des Schwerpunktprogramms „Kontinentales Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland (KTB)“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) fand im Juni 1992 an der Universität Gießen statt. An dieser Veranstaltung nahmen etwa 200 Geowissenschaftler aus der Bundesrepublik und vier Ländern teil. In 22 Plenarvorträgen und 80 weiteren Vorträgen in vier Parallelsitzungen wurden die neuesten wissenschaftlichen Ergebnisse des Projektes dargestellt und das Forschungsprogramm für die Jahre 1993/94 vorbereitet.**

Das KTB ist ein Großprojekt der geowissenschaftlichen Grundlagenforschung und hat zum Ziel, mit einer mindestens 10 km tiefen Bohrung die Eigenschaften, Zustandsbedingungen und Prozesse in der tieferen kontinentalen Erdkruste zu studieren. Die Gesamtkosten belaufen sich von 1983 bis 1994 auf rund 500 Millionen Mark und werden vom Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) getragen. Von diesen Mitteln erhält die DFG jährlich etwa 6,5 Millionen zur Förderung individueller Forschungsvorhaben von Geowissenschaftlern an Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen der Bundesrepublik. Insgesamt sind an diesem Projekt derzeit über 350 Wissenschaftler aus zwölf Nationen mit mehr als 140 Forschungsvorhaben beteiligt, von denen 82 durch die DFG gefördert werden.

Von den Ergebnissen werden u. a. grundlegende Beiträge zur Verteilung der mechanischen Gebirgsspannungen in die Tiefe und damit zur seismischen Risikoabschätzung und Erdbebenforschung, zur Stoffumlagerung und damit Entstehung und Verteilung von mineralischen Rohstoffen in der Erdkruste, zu Wärmeproduktion und Wärmetransport und damit zu den Nutzungsmöglichkeiten von Erdwärme sowie zum Strukturbaue der Erdkruste und damit zu Vorkommen und Prospektion von Lagerstätten erwartet.

Das KTB wird in mehreren Abschnitten realisiert.

- (1) 1983 bis 1986: Erkundung der Zielgebiete Oberpfalz und Schwarzwald und Entscheidung für den Standort Windischeschenbach/Oberpfalz
- (2) 1987 bis 1989: Niederbringung einer 4000 m tiefen Vorbohrung
- (3) 1989 bis 1990: Durchführung von Experimenten und Langzeitmessungen in der Vorbohrung und in ihrem Umfeld

(4) Oktober 1991: Beginn der KTB-Hauptbohrung.

Die Hauptbohrung hat eine aktuelle Tiefe von 6760 m und soll im ersten Quartal 1994 eine Tiefe von 10 000 m erreichen. Ende 1992/Anfang 1993 wird entschieden, ob in einer Anschließphase eine Vertiefung auf 11 000 m oder mehr erfolgen soll. Ein wesentliches Kriterium dafür wird die zu erwartende Temperatur sein.

### Technische Entwicklungen

Mit einem von der KTB-Projektleitung in Auftrag gegebenen, neu entwickelten, automatisch steuernden Vertikalbohrsystem vom Typ VDS (Vertical Drilling System) der Firma Eastman Christensen GmbH in Celle ist es gelungen, das „senkrechtste“ Bohrloch der

Welt zu schaffen. Die horizontale Abweichung der Bohrung in 6000 m Tiefe bezogen auf den Ansatzpunkt über Tage beträgt 8,5 m. Bei der 4000 m tiefen KTB-Vorbohrung betrug diese Entfernung trotz mehrmaliger Korrekturen 180 m. In der etwas über 12 000 m tiefen russischen Bohrung Kola SG 3 wird sogar fast 1 km erreicht. Ein senkrecht Bohrloch ist wichtig, damit nicht durch Änderung von Bohrlochrichtung und -neigung beim Drehen des Bohrstranges sowie beim Ein- und Ausbau des Gestänges so hohe Reibungskräfte auftreten, daß die Festigkeit des Bohrstranges überschritten wird und Teile der Ausrüstung im Bohrloch verbleiben. Aufwendige Fangarbeiten mit hohen Kosten bis hin zur Aufgabe der Bohrung, könnten die Folge sein.

Der senkrechte Verlauf des Bohrlochs war auch für eine weitere Höchstleistung der deutschen Bohrtechnik von großer Bedeutung, und zwar für den Einbau einer 6000 m langen Verrohrung aus hochfestem Stahl mit einem Gewicht von rund 700 Tonnen. Dieses Gewicht entspricht der Last von über 500 Mittelklasse-Wagen.

Bei einem Bohrlochdurchmesser von 37,5 cm und einem Durchmesser der Verrohrung von



Abb. 1: Bohrkerne werden nach dem Ziehen des Bohrstrangs aus dem Kernohr entnommen.

34,6 cm ist die Handhabung dieses Gewichtes bei dem äußerst knappen Spielraum zwischen dem Gestein und der Verrohrung eine bisher einmalige technische Spitzenleistung, die weltweit Anerkennung gefunden hat. Durch den nur 1,5 cm breiten Ringspalt zwischen Bohrlochwand und Verrohrung mußten in kürzester Zeit, noch bevor eine Erhärtung auftritt, 130 Kubikmeter Zement verpumpt werden.

## Geowissenschaftliche Datengewinnung

Wichtige geowissenschaftliche Daten wurden vor dem Einbau der Verrohrung in einem dreiwöchigen geophysikalischen Bohrlochmeßprogramm gewonnen. Neben Standardmeßgeräten der Service-Industrie wurden Meßsonden eingesetzt, die von den Universitäten Braunschweig, München und Frankfurt sowie von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) entwickelt worden sind.

Da die Vorbohrung bis zu ihrer Endtiefe bei 4000 m nahezu vollständig gekernt ist, wurden Bohrkern in der Hauptbohrung wegen der hohen Gewinnungskosten erst unterhalb dieser Tiefe gezogen, und zwar jedesmal nachdem die Bohrkronen des Vertikalbohrsystems abgemeißelt waren. Insgesamt wurden bisher 25 Bohrkern, über 15 000 Feststoff- und 5000 Spülungsproben aus der Hauptbohrung entnommen. Dabei konnte am 18. Juni d. J. mit einem völlig neu entwickelten Diamant-Kernbohrgerät der mit einem Durchmesser von fast 24 cm, einer Länge von 4,90 m und einem Gewicht von über 600 kg größte und schwerste jemals aus einer derartigen Tiefe gewonnene Bohrkern gezogen werden.

Die erste geowissenschaftliche Auswertung des Probenmaterials erfolgt im sogenannten „Feldlabor“ vor Ort, einem mit den modernsten analytischen Geräten ausgestatteten, interdisziplinären Forschungsinstitut, in dem 38 Wissenschaftler und Techniker, die alle über die Universität Gießen angestellt sind, im Schichtbetrieb arbeiten.

## Aktuelle Ergebnisse

Schon während der KTB-Vorbohrung hat sich gezeigt, daß die geologische Struktur unerwartet kompliziert ist und mit den bisherigen Hypothesen nicht erklärt werden kann. Es wurde eine steilstehende, nach Nordosten offene Großfalte durchteuft, die aus 2 eng miteinander verzahnten Gesteinstypen aufgebaut wird, und zwar Gneisen, die aus ehemaligen Sedimenten, und Amphibolite, die aus ehemaligen basaltischen Gesteinen hervorgegangen sind. Beide Gesteinstypen sind unter Drücken und Temperaturen mineralogisch umgewandelt

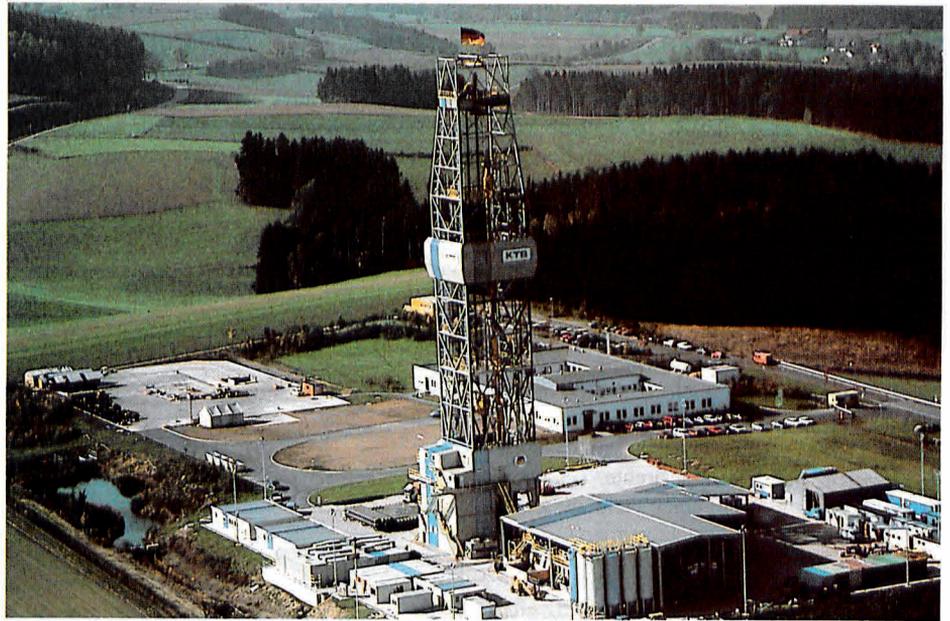


Abb. 2: Die KTB-Bohranlage ist mit 83 m Höhe die größte Landbohranlage der Welt

worden, die Erdtiefen von über 30 km entsprechen. Die Auswertung der vorliegenden Ergebnisse zeigt, daß diese Struktur sich in größere Tiefen fortsetzt und die Bohrung in einer geologischen „Schlüsselposition“ angesetzt ist, nämlich der Kollisionszone von zwei ehemaligen Kontinentalplatten. Dabei wurden Gesteine unterschiedlicher Herkunft und Entstehungsgeschichte in großen Tiefen mechanisch miteinander verschuppt und in einem bisher unbekanntem Stil verfaltet. Die Auswertung der geologischen Untersuchungen läßt erwarten, daß grundlegend neue Erkenntnisse über den Strukturbau und die Deformationsmechanismen der kontinentalen Erdkruste gewonnen werden, die für viele Kontinentalbereiche charakteristisch sind.

Erste Ergebnisse der Auswertung eines dreidimensionalen seismischen Großexperiments, das in einem Krustensegment von 20×20 km Kantenlänge mit der Bohrlokation im Zentrum durchgeführt wurde, zeigt ausgeprägte geophysikalische Strukturen, die es gestatten, ein geologisch-tektonisches Modell zu entwerfen. Nach diesen Befunden wird die Hauptbohrung bei etwa 7 km Tiefe einen prominenten seismischen Reflektor durchteufen, der mit etwa 40° geneigt ist und eine größere räumliche Ausdehnung hat. Vermutlich handelt es sich dabei um eine prominente Störungszone, an der der Kristallinblock, in dem die Bohrung sich befindet, auf das sedimentäre Vorland im Westen aufgeschoben wurde. In einer Tiefe von etwa 10,5 km treten in größerer räumlicher Verbreitung horizontale Reflektorelemente auf, die die Oberkante des sogenannten „Erbendorf-Körpers“ abbilden, einer geophysikalischen Struktur, die sich durch eine hohe Reflektivität und stark erhöhte Geschwindigkeiten der seismischen Wellen auszeichnet.

Diese Struktur fällt mit einer Zone hoher elektrischer Leitfähigkeiten zusammen.

Besonders spektakulär – da in dieser Tiefe völlig unerwartet – sind Zuflußzonen, aus denen stark salzhaltige und gasbeladene Laugen in das Bohrloch eindringen. Aus der Vorbohrung konnten im Laufe des letzten Jahrs aus einer Tiefe von 4000 m mit einem groß angelegten Pumpversuch über 450 000 Liter von Grundgebirgsfluiden gefördert werden. Es handelt sich dabei um Calcium-Natrium-Chloridreiche Laugen mit einer Salzkonzentration, die mehr als zweimal so hoch ist wie die des Meerwassers, und einem hohen Anteil an Gasen, die hauptsächlich aus Stickstoff (ca. 70%) und Methan (ca. 29%) bestehen. Die zur Zeit tiefste Zuflußzone konnte in einer Tiefe von 6030 m detektiert und beprobt werden. Zusammen mit den Proben aus der Vorbohrung stehen damit zum erstenmal aus derartigen Tiefen ausreichende Mengen unkontaminierte Grundgebirgsfluide aus Kristallgestein für detaillierte Untersuchungen zur Verfügung. Eine hydraulische Verbindung, die zwischen der Hauptbohrung und der 200 m entfernten Vorbohrung nachgewiesen werden konnte, weist darauf hin, daß diese Zuflußzonen Teile von weiträumigen hydraulischen Systemen sind. In nachfolgenden Untersuchungen soll nun versucht werden, die Herkunft dieser Gase und Wässer zu bestimmen.

Mit einem sogenannten Hydro-Frac-Experiment, bei dem das Bohrloch einige Meter über dem Bohrlochtiefsten abgedichtet und Flüssigkeit unter hohem Druck ins Bohrloch eingepreßt wird, bis das Gestein reißt, wurden weltweit zum erstenmal in einer Tiefe von 6000 m direkte Informationen über Richtung und Größe des Spannungsfeldes in der Erdkruste gewonnen. Die ersten Auswertungen

zeigen, daß der Betrag der horizontalen Spannung in dieser Tiefe um ca. 15% höher ist als von den bisherigen Theorien vorhergesagt. Die Kenntnis des Spannungsfeldes in der mittleren und tieferen Erdkruste ist deshalb von besonderer Bedeutung, weil in diesem Bereich bevorzugt die intrakontinentalen Erdbeben auftreten.

## Perspektiven

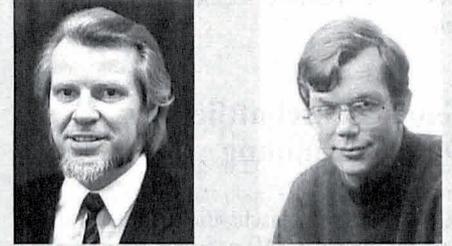
Die Temperatur in der Tiefe von 6700 m beträgt  $180 \pm 3$  °C, und die Temperaturzunahme beträgt 28,5 °C pro km. Nach diesen Daten ist zu erwarten, daß die angestrebte Temperaturmarke von 300 °C in einer Tiefe zwischen 10 500 und 11 000 m erreicht werden wird.

Mit der Wiederaufnahme der Bohrarbeiten nach der Verrohrung begann gleichzeitig eine neue Phase des Projekts. Mit einem Durchmesser von etwa 31 cm wird die Bohrung zunächst auf 8000 m vertieft. Dabei gab es bei einer Tiefe von 6760 m einen kleinen Rückschlag: Der Bohrmeißel hatte sich „festgefressen“ und konnte nicht mehr gezogen werden. Solche Zwischenfälle passieren bei fast allen Bohrungen, auch in der Vorbohrung war bei 2000 m ein ähnlicher Vorfall aufgetreten. Der Bohrstrang wurde 12 m oberhalb des Bohrmeißels abgesprengt und der 12 m lange Rest, der sogenannte „Fisch“, mußte im Bohrloch verbleiben. Anschließend wurde das Bohrloch bis in eine Tiefe von 6685 m mit Zement verfüllt. Zur Zeit wird mit einem Vertikalbohrsystem an dem „Fisch“ vorbei weitergebohrt, so daß die 8000 m voraussichtlich zum Jahresende 1992 oder Anfang 1993 erreicht werden können.

Nach Abschluß der Bohrarbeiten soll in der Hauptbohrung ein sogenanntes Tiefenlabor installiert werden, das mit verschiedenen Instrumenten ausgestattet werden soll, um Langzeitmessungen physikalischer und chemischer Parameter (z. B. Spannung, Temperatur, Fluid-

aktivität usw.) durchzuführen und Informationen über die tiefere Erdkruste und den Erdmantel zu erhalten, die nicht durch die Filtereffekte der Oberkruste gestört sind – eine Art „Teleskop“ ins Erdinnere.

## Zu den Autoren



**Prof. Dr. Rolf Emmermann**, Jahrgang 1940, hat am Institut für Geowissenschaften und Lithosphärenforschung der Universität Gießen die Professur für Mineralogie und Petrologie. Die Schwerpunkte seiner Forschungsarbeit auf dem Gebiet der Petrologie-Geochemie sind Stoffbestand, Entstehung und Entwicklung der ozeanischen Erdkruste und Geochemie und Entstehungsprozesse der kontinentalen und ozeanischen Unterkruste. Von 1977 bis 1984 war er deutscher Repräsentant im „Ocean Crust Panel“ des Internationalen Tiefseeprojekts und nahm an Bohrfahrten im Atlantischen, Pazifischen und Indischen Ozean teil. Seit 1985 ist er wissenschaftlicher Chefkoordinator des Großforschungsprojekts „Kontinentales Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland (KTB)“. Prof. Emmermann ist seit kurzem der Wissenschaftliche Vorstand des GeoForschungszentrums Potsdam

**Dr. Jörn Lauterjung**, Jahrgang 1954, ist seit 1986 Koordinationsassistent von Prof. Emmermann im KTB. Er war von 1981 bis 1985 als wissenschaftlicher Mitarbeiter beim Hamburger Synchrotron Strahlungs Labor HASYLAB auf dem Gebiet der geowissenschaftlichen Hochdruck-Hochtemperaturforschung tätig. Dr. Lauterjung seit 1992 als wissenschaftlicher Mitarbeiter beim GeoForschungszentrum in Potsdam tätig

\*

Das Institut für Geowissenschaften ist neben der Koordinierung der gesamten wissenschaftlichen Aktivitäten im KTB maßgeblich am Aufbau, der Organisation und der Betreuung des KTB-Feldlabors in Windischenbach beteiligt. Alle wissenschaftlichen und technischen Angestellten im Feldlabor sind über ein DFG-Projekt von Prof. Emmermann bei der Universität Gießen angestellt.