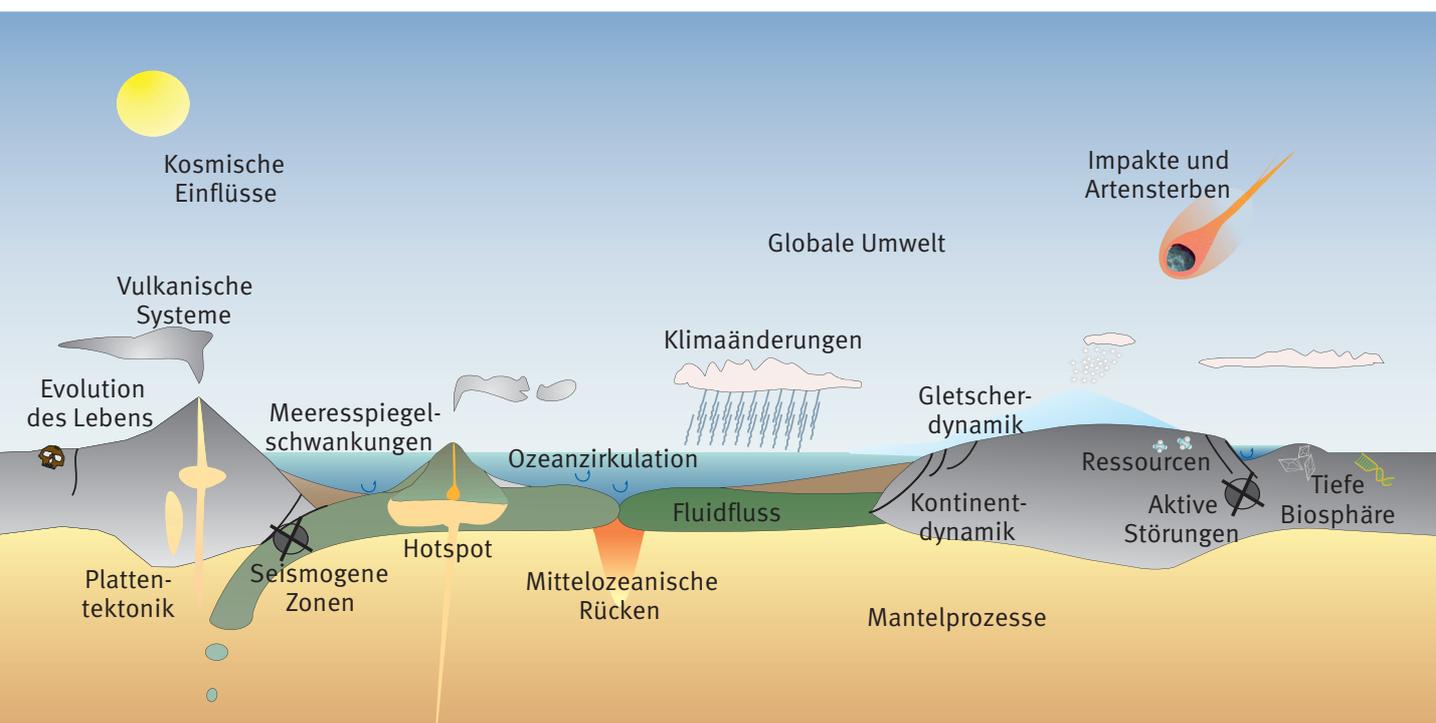


Bohrungen: Ein Instrument der Wissenschaft

Ulrich Harms

Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam

In geosciences deep sampling of Earth's continental crust and observations at depth are essential tools to gain new insight. Drilling, coring and instrumentation of boreholes serve to better understand the environmental and climate evolution of our planet, to shed light on the physical and chemical conditions leading to natural disasters and to search for novel, sustainable resources. Research programs such as the German KTB have utilized the instrument drilling successfully in order to address such goals. During the past decades the high costs of drilling as well as wide-ranging research topics led to the formation of international scientific drilling programs. Based on international cost sharing they address project-wise globally important overarching issues with comprehensive research teams. The ocean drilling programs established the understanding of plate tectonics and the change of global climates. Coordinated by the GFZ, the International Continental Scientific Drilling Program, ICDP has with to date 30 research projects provided new understanding of the complex System Earth especially through lake sediment, fault zone and volcano drilling.



Skizze der zentralen geowissenschaftlichen Themen, bei denen Forschungsbohrungen eingesetzt werden (nach Harms und Tobin, 2011)

Sketch of critical themes addressed through scientific drilling projects

Unser Verständnis vom Aufbau der Erde und von den Prozessen im Erdinneren beruht im wesentlichen auf Materialproben und Messdaten von der Erdoberfläche, geophysikalischen Untersuchungen des Untergrunds sowie Laborexperimenten und Modellierungen. Neben diesen geophysikalischen und computergestützten Methoden sind die Geowissenschaften auch auf eine direkte Beobachtung dynamischer Vorgänge in der Erde und die Gewinnung von Proben aus der Tiefe angewiesen. Dazu eignen sich in vielen Fällen wissenschaftliche Bohrungen, mit denen Bohrkerne aus der Tiefe gewonnen werden können sowie Messungen der Zustände und Änderungen im Gesteinsverband aufgezeichnet werden können.

Ergebnisse dieser Forschungsbohrungen tragen zur Lösung wesentlicher Fragen von gesellschaftlichem Belang bei, wie beispielsweise zum Verständnis der Vorgänge, die zu Naturkatastrophen wie Erdbeben, Vulkanausbrüche oder Meteoriteneinschläge führen. Aus Bohrkernen können auch Daten zur Umwelt- und Klimaentwicklung über geologische Zeiträume gewonnen werden, die dazu beitragen, gegenwärtige und zukünftige Entwicklungen zu verstehen. Ebenso können Vorkommen und Bildungsbedingungen natürlicher Ressourcen wie Wasser und mineralische und energetische Rohstoffe mit Forschungsbohrungen untersucht werden. Dies trägt zur nachhaltigen Nutzung dieser Ressourcen bei.

Aufgrund der internationalen Bedeutung der zu lösenden Fragen sowie andererseits der hohen Kosten von Bohrungen wurden internationale wissenschaftliche Bohrprogramme aufgebaut. Mit ihnen werden globale geowissenschaftliche Aufgaben gemeinschaftlich in fachlich weit aufgestellten Forschungsteams gelöst. Das Deutsche GeoForschungsZentrum GFZ spielt dabei eine zentrale Rolle als federführende Institution des Internationalen kontinentalen Wissenschaftlichen Bohrprogramms, ICDP (<http://www.icdp-online.org>).

Tiefe Bohrungen

Die weltweit erste Tiefbohrung liegt etwa 50 km südlich von Potsdam, in Sperenberg. Mit 1271 m Endteufe war die Bohrung von 1871 bis 1886 das tiefste Bohrloch. Obwohl die Bohrung der kommerziellen Erkundung des Gipshuts und des darunter liegenden Salzstocks diente, erreichte sie große wissenschaftliche Bedeutung. Erstmals konnte die geothermische Tiefenstufe gemessen werden. Der Wert von 3 °C Temperaturzunahme pro 100 m Tiefe blieb für Jahrzehnte der Referenzwert. Die Suche nach Erdöl aus immer tieferen Schichten trieb in den folgenden Jahrzehnten eine bohrtechnische Entwick-

lung an, die dazu führte, dass heutzutage bis zu 7000 m tiefe Bohrungen Standard sind.

Das tiefste jemals gebohrte Loch ist die 12 261 m tiefe Bohrung Kola SG-3 im Nordwesten Russlands, nahe der norwegischen Grenze (Abb. 1). Sie wurde bereits von 1970 bis 1998 niedergebracht und diente vor allem wissenschaftlichen Zielen, wie der Erforschung der Erzvorkommen der Region und des Aufbaus der sehr alten Erdkruste der Kolahalbinsel. Die Bohrung durchörterte ein gering deformiertes Becken aus metamorphen vulkanischen und sedimentären, altproterozoischen Abfolgen und stieß darunter tief ins archaische Grundgebirge vor. Die geringe Temperaturzunahme auf weniger als 200 °C in 12 km Tiefe war eine wichtige Voraussetzung zum Erreichen dieser Tiefe. Eine der bis heute bedeutendsten Entdeckungen war das Vorkommen von Tiefenwässern in offenen Kluftsystemen bis in 12 km Tiefe. Auch technisch betrat das Vorhaben Neuland: unter anderem wurde ein spezieller Bohrstrang aus Aluminium entwickelt, der auf Grund des geringen Gewichts das Tiefenziel erreichbar machte. Ebenso bedeutsam war die Nutzung spülungsgetriebener Untertagemotoren mit Doppelturbinen, um die Bohrung möglichst vertikal zu halten und kontinuierlich Bohrkerne zu gewinnen. Obwohl die Bohrung auf der Kolahalbinsel inzwischen zementiert, verschlossen und aufgegeben ist, blieb der Tiefenrekord bestehen. Zwar gibt es heute Erdöl- und Erdgasbohrungen, z. B. in Katar und auf Sachalin, die als „tiefer“ gelten, dabei handelt es sich aber um abgelenkte Bohrungen, in denen weite Teile der Bohrstrecke horizontal und nicht in die Tiefe geführt wurden (siehe Infografik „Wie tief kann man bohren?“, S. 12).



Abb. 1: Bohrturm und Feldlabor der Forschungsbohrung Kola SG-3 im Jahr 2000 (Foto: U. Harms, GFZ)

Fig. 1: Drillrig and field laboratory building at the research well Kola SG-3 in 2000



Kontakt: U. Harms
(ulrich.harms@gfz-potsdam.de)

Forschungsbohrprogramme

Die Kola-Bohrung war in ein sowjetisches Forschungsprogramm zur Tiefenerkundung integriert. Angespornt vom Wettlauf der Supermächte im All hatte die ehemalige UdSSR die amerikanische Idee, die Grenze zwischen Erdkruste und Erdmantel (Mohorovičić-Diskontinuität) zu erbohren, mit einer Landbohrung aufgenommen. Sie wollte so die USA übertreffen, deren große marine Forschungsbohrung zur Erkundung des Erdmantels im Pazifik vor der mexikanischen Küste 1966 nach fünf Jahren eingestellt wurde, nachdem aufgrund technischer Probleme nur 183m Tiefe erreicht wurden. Allerdings hatte das MOHOLE genannte amerikanische Projekt gezeigt, dass aus mehreren Tausend Metern Wassertiefe erfolgreich Proben von Sedimenten und der basaltischen Ozeankruste vom Boden des Ozeans gewonnen werden können. Dies war nicht nur ein Meilenstein für die Offshore-Erdölgewinnung, sondern auch der Startschuss des 1968 begonnenen, marinen Forschungsbohrprogramms Deep Sea Drilling Project. Bis heute werden die marinen Geowissenschaften von dessen Nachfolgeprogrammen, wie dem jetzigen International Ocean Discovery Program IODP (Anonymous, 2011; Abb. 2), wesentlich vorangebracht. Durch die Forschung an Ozeanbohrkernen konnte unter anderem nachgewiesen werden, dass die kontinuierliche Neubildung ozeanischer, basaltischer Kruste an mittelozeanischen Rücken den Ozeanboden auseinandertreibt, so dass er zu den Rändern hin immer älter wird. Alfred Wegeners Hypothese der Kontinentaldrift wurde mittels dieser Bohrungen bestätigt, was das heutige geologische Weltbild der dynamischen Erde etablierte. Für die Klimaforschung lieferten Bohrkerne aus Sedimenten der Weltmeere die entscheidenden Eckdaten, weil marine Ablage-

rungen kontinuierlich über die vergangenen 150 Mio. Jahre z. B. die Wassertemperaturen aufgezeichnet haben. Dieses fossile Thermometer hilft die Steuermechanismen der Meeresströmungen und das globale Klima besser zu verstehen. Auch die Geschichte von Meeresspiegelschwankungen oder die Historie von Vergletscherungen in den polaren Regionen wurden durch marine Bohrungen rekonstruiert. Außerdem konnten im Rahmen der Ozeanbohrprogramme die großen Stoffkreisläufe, wie der des Kohlenstoffs, besser erklärt und die wenig bekannte tiefe Biosphäre, d. h. die bis in viele hundert Meter in die Tiefe reichende bakterielle und virale Besiedlung der Porenräume des Ozeanbodens, erforscht werden (vgl. Artikel von Kallmeyer in diesem Heft).

Kontinentales Tiefbohrprogramm

Inspiziert von den erfolgreichen Gemeinschaftsunternehmen der Ozeanbohrungen wurde in Deutschland seit Ende der 1970er Jahre ein geowissenschaftliches Grundlagenprogramm (Kontinentales Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland, KTB) geplant. Nach ausführlicher Vorerkundung inklusive seismischer Profile wurde 1987 mit einer 4 km tiefen Pilotbohrung in der bayerischen Oberpfalz begonnen. Nahe der tschechischen Grenze bei Windischeschenbach wurde dabei die Nahtstelle zweier großer tektonischer Einheiten untersucht, dem Moldanubikum im Süden und dem Saxothuringikum im Norden. Bei der variszischen Gebirgsbildung vor 330 Mio. Jahren schienen hier Mikrokontinente übereinander verschoben



Abb. 2: Verschraubung von Bohrgestänge auf dem japanischen Forschungsbohrschiff CHIKYU (Foto: T. Wiersberg, GFZ)

Fig. 2: Drill pipe connection on the Japanese research drill vessel CHIKYU



Abb. 3: Luftaufnahme des KTB-Bohrplatzes (Foto: F. Holzförster, GeoZentrum an der KTB)

Fig. 3: Aerial photo of the present day KTB drill site

und verschweißt worden zu sein. Ungewöhnliche geophysikalische Strukturen der tiefen Kruste waren hier erbohrbar bei relativ geringer Temperaturzunahme mit der Tiefe. Zudem konnten die Spannungsverhältnisse und Fluide der Oberkruste in wechselnden Gesteinseinheiten getestet werden. Um diese Forschungsziele zu erreichen, diente die Vorbohrung zur detaillierten Probenahme und dem Test von Bohrverfahren sowie der Entwicklung von wissenschaftlichen Methoden. Ab 1990 wurde, 200 m von der Vorbohrung entfernt, die KTB-Hauptbohrung erstellt (Abb. 3), die 1994 bei 9101 m Bohrtiefe und einer Temperatur von $\sim 270^\circ\text{C}$ endete. Die Bohrung durchörterte eine Serie steilstehender, hochgradig deformierter, metamorpher Gesteine, die aus basaltischem Ozeanboden und turbiditischen Kontinentalhangsedimenten eines kleinen Ozeans hervorgegangen sind. Bei der Schließung des Ozeanbeckens im Paläozoikum wurden diese Gesteine stark überprägt und deutlich später, während der Kreidezeit, postorogen durch Störungszonen aufgestapelt. Dadurch verdoppelten sich die Metamorphite in ihrer Mächtigkeit. In den Störungssystemen konnten frei zirkulierende, gasreiche Ca-Na-Cl-Fluide beprobt werden. Bedeutend war der Nachweis, dass die Temperaturzunahme von $21^\circ\text{C}/\text{km}$ auf den ersten 2 km sich im tiefen Teil der KTB auf $28^\circ\text{C}/\text{km}$ erhöhte. Erstmals gelangen im KTB Experimente zur Bestimmung der Spannungen im Gebirge bis 9 km Tiefe mittels hydraulisch erzeugter Risse, welche die Richtung und den Betrag der maximalen horizontalen Hauptspannung anzeigten. Nach Abschluss der Bohrarbeiten wurden unter anderem Experimente zur Rheologie und Fluidodynamik der tiefen Kruste in den beiden hydraulisch korrespondierenden Bohrlochern der KTB durchgeführt (Emmermann und Lauterjung, 1997).

Nicht nur geowissenschaftlich, sondern auch technisch war KTB wegweisend, denn diese übertiefe Bohrung in Kristallingesteine erforderte die Entwicklung einer Reihe neuartiger Techniken. Ein

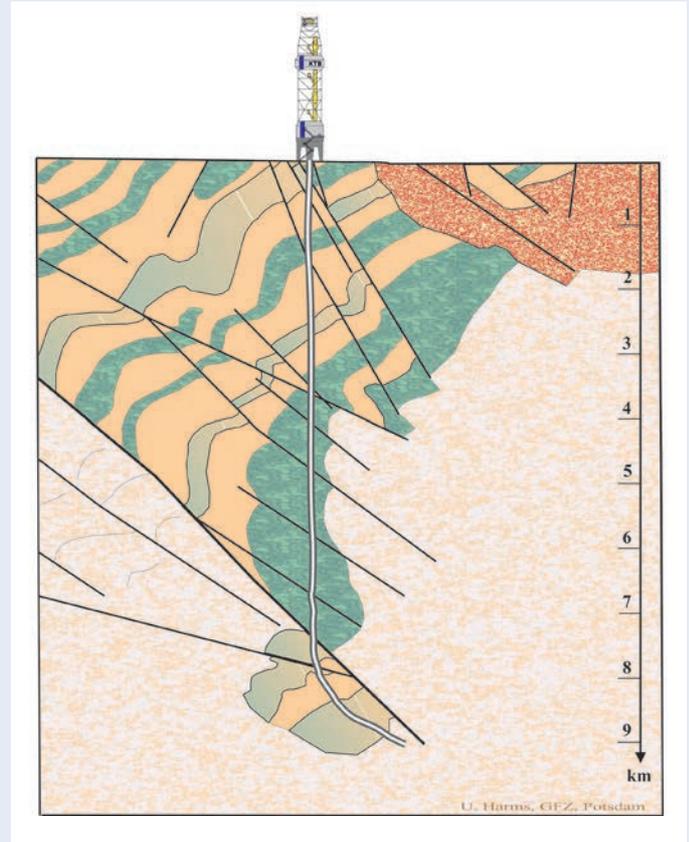
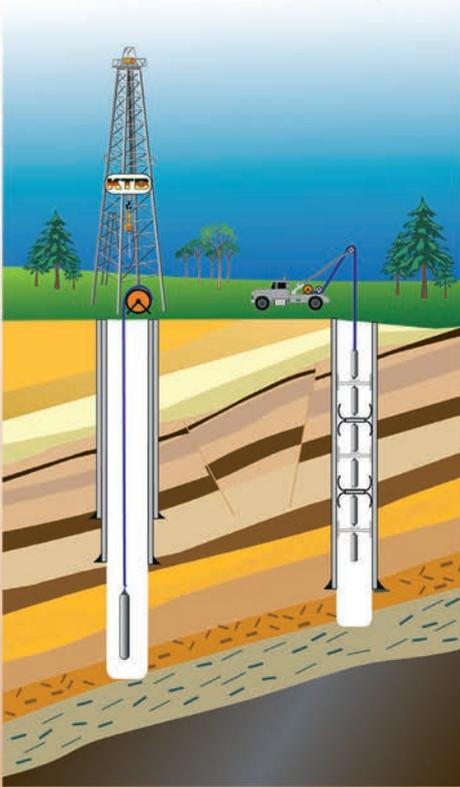


Abb. 4: Bohrlochverlauf der KTB-Hauptbohrung mit der Tiefe, dargestellt in einem West-Ost-Schnitt. Bis etwa 7500 m Tiefe verlief das Bohrloch durch aktive Steuerung mit weniger als 10 m Abweichung von der Vertikalen, während in größerer Tiefe eine starke Neigung aufgebaut wurde, die in 9101 m Tiefe zu einer Abweichung von 250 m führte.

Fig. 4: Drill path of the KTB Main Well shown in an East-West section. Down to 7500 m depth the borehole was deviated less than 10 m from vertical through active steering while the deviation increased to about 250 m distance at 9101 final depth due to malfunction of steering systems at greater depth.

Beispiel sind Steuersysteme, mit denen die Richtung des Bohrlochverlaufs kontrolliert werden kann. Um Reibung zwischen Bohrlochwand und Gestänge zu minimieren, muss die Bohrung möglichst senkrecht verlaufen. In den steilstehenden, metamorphen Gesteinen der Oberpfalz läuft der Bohrmeißel aber in Richtung auf die Senkrechte zur Schieferung, was zu starken Abweichungen von der Vertikalen führt. Aus diesem Grund wurde für KTB ein Vertikalbohrsystem mit aktiver Steuerung der Bohrrichtung entwickelt, gefertigt und erfolgreich eingesetzt (Abb. 4). Diese aus KTB hervorgegangene technische Innovation zur aktiven Steuerung der Bohrrichtung ist heute eine Standardtechnologie in Horizontalbohrungen zur Kohlenwasserstoffförderung.

... KTB-Tiefenlabor für Experimente, Tests und Messungen



Das KTB-Tiefenlabor des GFZ steht insbesondere industriellen Nutzern für unterschiedliche Test- und Entwicklungsaufgaben zur Verfügung:

- Erprobung geophysikalischer Messmethoden und von technischem Equipment unter *In-situ*-Bedingungen
- *In-situ*-Tests von Sensoren und Housings bis in große Tiefe, unter hoher Temperatur und hohem Druck (6,7 km, 190 °C, 67 MPa)
- Ausdrillen von Kabeln (Cable Seasoning) bis zu einer Länge von 6,7 km
- Test neuer Kabeltechnologien
- Verifizierung von Messungen neuer und existierender Sonden in den umfassend charakterisierten Bohrungen
- Mehrtägige, auch zeitlich lange Wiederholungsmessungen
- Tests in einer oder beiden Bohrungen

Interessenten wenden sich an:
 Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ
 Wissenschaftliches Bohren
 Telegrafenberg
 14473 Potsdam

Ansprechpartner:
 Jochem Kück
 Tel.: (0331) 288-1087
 E-Mail: jochem.kueck@gfz-potsdam.de

Die beiden nach Abschluss der Bohrarbeiten offen gelassenen KTB-Bohrungen sind ein weltweit einmaliges *In-situ*-Labor für Bohrlochexperimente, Tests und Messungen, das auch Firmen und kommerziellen Anwendern zur Verfügung steht (siehe Infografik 1 „KTB-Tiefenlabor“). In den benachbarten Bohrungen mit 4 und 9,1 km Tiefe können langdauernde und ungewöhnliche Bohrlochexperimente unter idealen Bedingungen und geringen Kosten erfolgen. Die gut überwachten Bohrungen sind seit mehr als 20 Jahren standsicher und leicht zugänglich.

ICDP

Das KTB-Projekt brachte führende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus zahlreichen Ländern zusammen, da einzigartige Proben aus großer Tiefe und zwei Bohrlöcher für spezielle Experimente zur Verfügung standen. Die sich daraus ergebenden internationalen Kooperationen waren ausschlaggebend für die Entwicklung eines internationalen Tiefbohrprogramms. Noch während des KTB wurde 1993 eine große internationale Konferenz in Potsdam (Zoback und Emmermann, 1994) abgehalten, die schließlich zur Gründung des ICDP mit den USA, China und Deutschland 1996 führte. Das GFZ trägt seitdem gemeinsam mit der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG den

deutschen Mitgliedsbeitrag und hat zusätzlich im ICDP zwei zentrale Aufgaben. Als Exekutivagentur des ICDP ist das GFZ mit der Geschäftsführung des Programms betraut, schließt Verträge zur Mitgliedschaft im ICDP, erhebt die Mitgliedsbeiträge und verteilt die Mittel an Projekte nach Entscheidung der ICDP-Gremien. Zudem stellt das GFZ eine Unterstützungsgruppe, die als Operational Support Group ICDP (OSG) sowohl den Gremien des Programms organisatorisch beisteht als auch die beteiligten internationalen Wissenschaftsteams bei der Durchführung ihrer ICDP-Projekte berät und aktiv unterstützt (vgl. Artikel von Giese und Kück in diesem Heft). Diese technisch-wissenschaftliche Unterstützung der ICDP-Projekte durch die OSG umfasst:

- Bohrtechnik und Engineering,
- Bohrlochmessungen und Tests,
- Bohrlochinstallationen und Monitoring,
- Informationsmanagement, Probenbearbeitung und Datenbanken und
- Fortbildung, Trainingsprogramme und Öffentlichkeitsarbeit.

Zusätzlich wird von der OSG der ICDP-Gerätepool betrieben, zu dem diverse Bohrlochmessgeräte mit Sonden, Winden und Mess-LKW gehören, die von der OSG an Bohrungen betrieben werden. Ein spezieller Seilkernbohrstrang von 5 km Länge ge-

hört ebenso zu diesem Pool wie auch das Deep Lake Drilling System (vgl. Artikel Harms et al. in diesem Heft). Des Weiteren stehen Instrumente wie optische und petrophysikalische Scanner zur Verfügung und auch Instrumente zur direkten Gasanalyse in der Bohrspülung, die nach Anleitung durch die OSG von den Teams an einer Bohrung eigenständig betrieben werden. Der Gerätepool wird je nach Bedarf erweitert: Benötigt ein Projekt Geräte, können diese mit Mitteln des ICDP beschafft werden und nach Ende der Bohrung für Folgeprojekte aus dem Gerätepool ausgeliehen werden.

Mittlerweile sind im ICDP 30 Projekte weltweit durchgeführt worden (Abb. 5). Zudem wurden über 60 Workshops von ICDP gefördert, um diese Projekte vorzubereiten und zu koordinie-

ren. Diese Vorhaben beleuchten z.B. die regionale Klima- und Umweltentwicklung der jüngeren Erdgeschichte, die insbesondere an Seesedimenten untersucht worden ist; genannt seien hier Baikalsee, Titicaca, Elgygytgyn, Van, Totes Meer oder Ohrid. Ein weiteres zentrales Forschungsobjekt des ICDP sind aktive Erdbebenzonen wie die San Andreas-Verwerfung, der Golf von Korinth, die Nordanatolische Bruchzone (vgl. Artikel von Bohnhoff et al. in diesem Heft) oder die Alpine Fault im Süden Neuseelands. Naturgefahren durch Vulkanismus konnten in Hawaii, am japanischen Vulkan Unzen und in den Campi Flegrei bei Neapel untersucht werden (vgl. Artikel von Wiersberg et al. in diesem Heft). Meteoritenkrater vom 200 km breiten Chicxulub-Einschlag in Mexiko bis zum nur 10 km großen Bosumtwi-Krater in Ghana wurden im ICDP erforscht ebenso wie die frühe

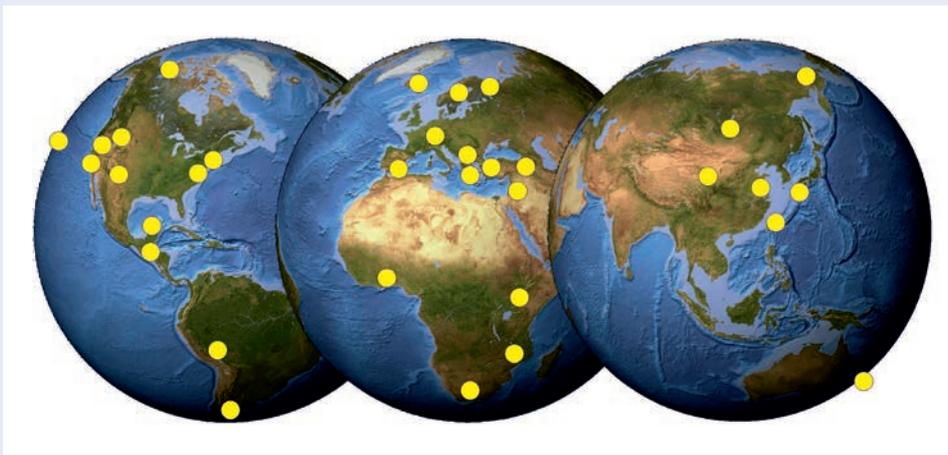


Abb. 5: Das Forschungsbohrprogramm ICDP hat mittlerweile 30 Projekte weltweit durchgeführt.

Fig. 5: The 30 projects of the International Continental Scientific Drilling Program, ICDP as of spring 2014.

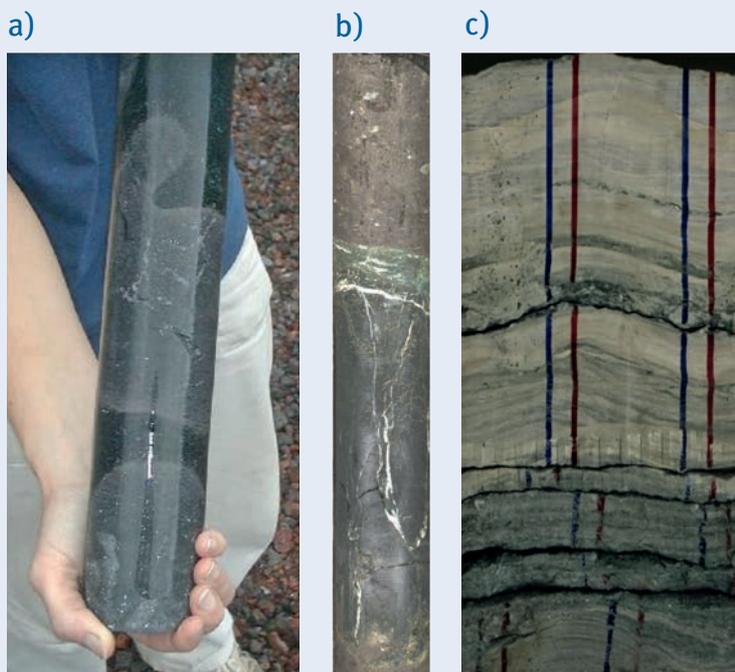
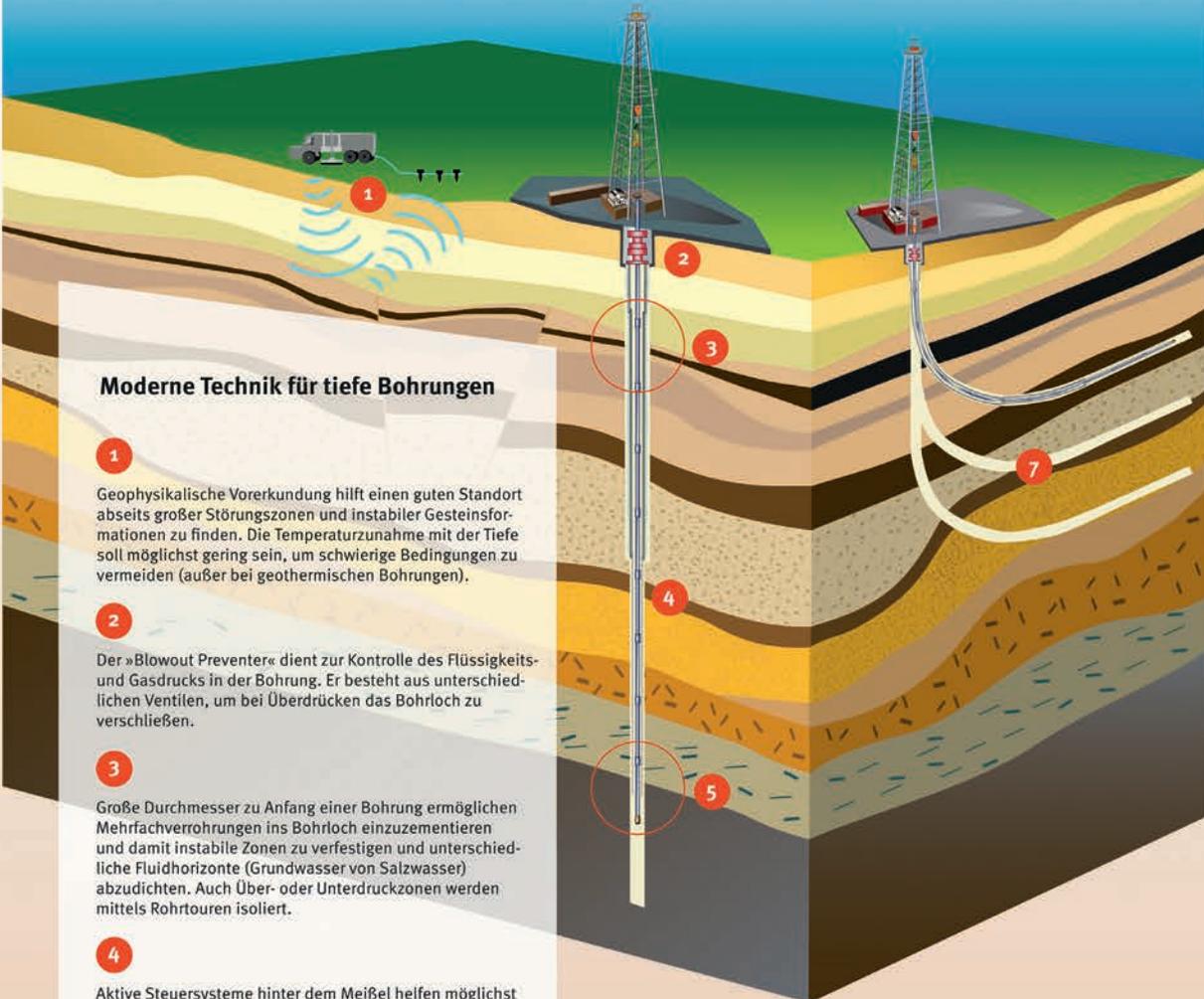


Abb. 6: Wichtige Bohrkerne aus ICDP-Projekten: a) Kissenlaven des Mauna Kea, Hawaii Scientific Drilling Project, b) Serpentinite in der aktiven Bruchzone der San Andreas-Störung in Kalifornien, c) Kreide-Tertiär-Grenze aus dem Chicxulub-Einschlagkrater in Mexiko (Fotos: ICDP-Archiv)

Fig. 6: Important drillcores of the ICDP: a) Pillow lavas from Mauna Kea, Hawaii, b) Serpentinite in the active trace of the San Andreas Fault Zone, California, c) Cretaceous-Tertiary Boundary from the Chicxulub Impact Crater in Mexico

Wie tief kann man bohren?



Moderne Technik für tiefe Bohrungen

- 1**

Geophysikalische Vorerkundung hilft einen guten Standort abseits großer Störungszone und instabiler Gesteinsformationen zu finden. Die Temperaturzunahme mit der Tiefe soll möglichst gering sein, um schwierige Bedingungen zu vermeiden (außer bei geothermischen Bohrungen).
- 2**

Der »Blowout Preventer« dient zur Kontrolle des Flüssigkeits- und Gasdrucks in der Bohrung. Er besteht aus unterschiedlichen Ventilen, um bei Überdrücken das Bohrloch zu verschließen.
- 3**

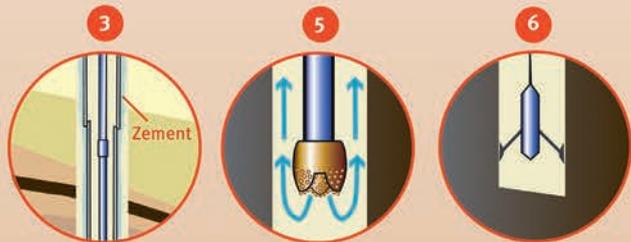
Große Durchmesser zu Anfang einer Bohrung ermöglichen Mehrfachverrohrungen ins Bohrloch einzuzementieren und damit instabile Zonen zu verfestigen und unterschiedliche Fluidhorizonte (Grundwasser von Salzwasser) abzudichten. Auch Über- oder Unterdruckzonen werden mittels Rohrtouren isoliert.
- 4**

Aktive Steuersysteme hinter dem Meißel helfen möglichst senkrecht nach unten zu bohren, wodurch die Reibung zwischen Bohrgestänge und Bohrloch minimiert wird. Dadurch bleibt die Bohrlochwand stabil.
- 5**

Die Bohrspülung dient nicht nur zum Austragen des Bohrkleins, sie kühlt auch den Meißel, verringert die Reibung, treibt den Untertagemotor, balanciert Druckdifferenzen und stabilisiert Bohrlochwandungen. Die Spülung muss daher kontinuierlich chemisch und rheologisch überwacht und angepasst werden.
- 6**

Bohrlochmessungen und Tests helfen das Gestein, die Fluide und das Reservoir zu charakterisieren und die Bohrung sicher zu erstellen und zu nutzen.
- 7**

Gesteuert gebohrte Horizontalbohrungen mit bis zu 10 km weiten Ablenkungen und multiple Re-Entry-Verfahren ermöglichen den Zugang zu entfernten Formationen und verbesserte Nutzung von Öl- und Gasfeldern.



Mit diesen modernen technischen Möglichkeiten lässt sich in geeigneten Gebieten mit stabilen Gesteinsformationen und geringem Temperaturgradienten bis zu 12 km tief bohren. Allerdings steigen die Kosten exponentiell mit der Tiefe an, daher muss jedes Bohrprojekt sorgfältig geplant werden.

Entwicklung des Lebens vor 2,5 Mrd. Jahren (Beispiele siehe Abb. 6). Das kontinentale Forschungsbohrprogramm ICDP hat aber auch zur Erforschung potentieller Energiequellen, wie Gas-hydrate unter Dauerfrostböden in Kanada, sowie zur Nutzung magmatischer Geothermie auf Island beigetragen.

Im ICDP organisieren führende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Ingenieurinnen und Ingenieure sowie Managerinnen und Manager aus 24 Ländern ein klar strukturiertes und hocheffizientes Forschungsprogramm. Das Programm bildet heute im Kern eine Infrastruktur zur Förderung von herausragender Wissenschaft und agiert international als die Plattform für Forschungsbohrungen auf Land. Die vom ICDP eingesetzten Mittel von fast 4 Mio. Dollar Jahresetat geben ihrerseits den Impuls für ein sehr viel höheres Drittmittelaufkommen. Dabei beträgt die ICDP-Förderung durchschnittlich nur etwa 20% der Bohrkosten; der Rest wird – angestoßen durch ICDP – aus anderen Quellen, meist nationaler Forschungsförderung oder Industriebeteiligungen, eingeworben.

ICDP wird gegenwärtig nach einer exzellenten internationalen Begutachtung in eine neue Phase überführt. Im November 2013 fand dazu am GFZ die Konferenz „Imaging the Past to Imagine our Future“ statt, mit der der Startschuss für den neuen Wissenschaftsplan des ICDP gegeben wurde. Darin werden drei zentrale Forschungsthemen für der Zukunft definiert:

1. Klima und Ökosysteme, einschließlich Paläoklimaforschung sowie das Ökosystem in der Erde,
2. Nachhaltige Ressourcen, einschließlich Vulkanismus sowie Geothermie und
3. Naturgefahren wie beispielsweise Erdbeben.

Prioritäten für die jeweiligen Forschungsprojekte werden dazu nach den herausragenden gesellschaftlichen Notwendigkeiten gesetzt. Nur Forschungsprojekte, die eine breite internationale finanzielle Unterstützung finden, können im ICDP mit dem Prinzip der Finanzierung aus diversen Quellen realisiert werden.

Ausblick

Wissenschaftliches Bohren integriert nicht nur ein breites Spektrum geowissenschaftlicher und weiterer naturwissenschaftlicher Felder, sondern benötigt ebenso ingenieurwissenschaftliche Entwicklungen. Bohrungen in instabile Zonen, bei hohen Temperaturen und mit hohen Fluidrücken müssen ermöglicht werden, um aktive Störungen und vulkanische Systeme zu beproben, zu vermessen und zu instrumentieren. Für die Umwelt- und Klimaforschung ist eine gesicherte und kontinuierliche Kernprobenahme von herausragender Bedeutung. Die dazu notwendigen technischen Entwicklungen werden gegenwärtig angestoßen und gehören zu den großen Herausforderungen des wissenschaftlichen Bohrens in den nächsten Jahren.

Literatur

- IODP - International Ocean Discovery Program (2011): Illuminating Earth's past, present, and future: the international ocean discovery program; exploring the earth under the sea; science plan for 2013-2023, Washington, DC: Integrated Ocean Drilling Program, 84 p., <http://www.iodp.org/Science-Plan-for-2013-2023/>
- Emmermann, R., Lauterjung, J. (1997): The German Continental Deep Drilling Program KTB: Overview and major results. - *Journal of Geophysical Research*, 102, B8, 18179-18201. DOI: <http://doi.org/10.1029/96JB03945>
- Harms, U., Koeberl, C., Zoback, M. D. (Eds.) (2007): *Continental Scientific Drilling: a decade of progress and challenges for the future*, Berlin [u. a.]: Springer, 366 p. DOI: <http://doi.org/10.1007/978-3-540-68778-8>
- Harms, U., Tobin, H. J. (2011): Deep Scientific Drilling - In: Gupta, H. K. (Ed.), *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics*, (Encyclopedia of Earth Sciences Series), Dordrecht: Springer, 91-103. DOI: http://doi.org/10.1007/978-90-481-8702-7_195
- Zoback, M. D., Emmermann, R. (Eds.) (1994): *Scientific rationale for establishment of an International Program of Continental Scientific Drilling*, International Meeting on Continental Scientific Drilling (Potsdam 1993), Potsdam: GeoForschungsZentrum, 194 p.

Kontakt:

International Continental Scientific Drilling Program

Dr. Ulrich Harms

E-Mail: ulrich.harms@icdp-online.org

Weiterführende Informationen:

<http://www.icdp-online.org>

Deutsches Forschungsbohrkonsortium GESEP e.V.

Dr. Ulrich Harms

E-Mail: u.harms@gesep.org

Weiterführende Informationen:

<http://www.gesep.org>