

Abb. 1: Der Stern β -Pictoris mit seiner im Infrarot-Bereich angedeuteten Staubscheibe (aus PAILER 1994).

Mit dieser Erklärung werden Messungen gestützt, die man mit dem Infrarotsatelliten IRAS gemacht hat. Besonders bekannt geworden ist die „Staubscheibe“ um β -Pictoris mit einer Gesamtmasse von 1000 Erdmassen, die in Abb. 1 gezeigt wird (PAILER 1994). Im Mai 1991 gelang die Entdeckung silikatischer Konturen im Spektrum des Sternlichts (Abb. 2). Als Quelle für Staubteilchen in zirkumstellaren Scheiben werden Kometen diskutiert.

Die lange und intensive Suche der Astronomen hat damit wohl ihr Ziel zunächst erreicht: Es sind endlich Planeten in den Weiten des Alls gefunden worden. „Sie umkreisen jedoch keinen normalen Stern, sondern einen Millisekundenpulsar. Wenn es einen Ort gibt, an dem die Astronomen ganz bestimmt keinen Planeten erwartet hatten, dann in unmittelbarer Nähe einer Sternruine. Die Entwicklungsgeschichte dieser Objekte ist derart gewalttätig, daß ursprünglich vorhandene Planeten dadurch unweigerlich zerstört worden wären. Sie sind also im Gegensatz zu den kleineren Körpern, die unsere Sonne umkreisen, nicht mit ihrem Muttergestirn zusammen entstanden. Zumindest in diesem Sinne sind es also doch keine normalen Planeten. Ihre Entstehungsgeschichte muß sich fundamental von der unserer Erde und ihrer Geschwister unterscheiden“ (BASTIAN 1994b).

Literatur

- BASTIAN U (1994a) Pulsar PSR 1257 +12: Er hat wirklich Planeten. *Sterne und Weltraum* 7/94, 510.
BASTIAN U (1994b) Die ersten Planeten außerhalb des Son-

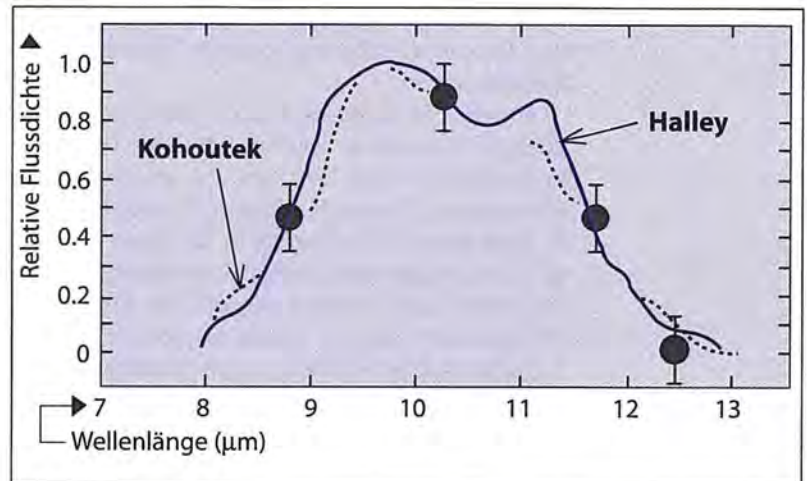


Abb. 2: Vergleich der relativen Flußdichte von β -Pictoris (ausgefüllte Kreise) mit Spektren der Kometen Halley (durchgezogene Linie) und Kohoutek (gestrichelte Linie) (aus PAILER 1994).

nensystems. *Sterne und Weltraum* 11/94, 774-782.

PAILER N (1994) Neues aus der Planetenforschung. *Neuhausen*.

ULBIG S (1994) Pulsar mit Planetensystem: Entdeckung bestätigt. *Physikalische Blätter* 50/94, 638.

Überraschungen bei Tiefbohrung

Im Oktober 1994 hatte die Kontinentale Tiefbohrung bei Windischeschenbach in der Oberpfalz das gesteckte Ziel erreicht: die Bohrphase wurde in genau 9.101 m Tiefe beendet. Im größten geowissenschaftlichen Forschungsprojekt der Bundesrepublik Deutschland wollte man bis zu der Tiefe vorstoßen, in der die Temperatur bei 300°C liegt; neben der Erkundung der Gesteinseigenschaften unter diesen Bedingungen sollten auch die Meßgeräte und die Bohrtechnik diesen extremen Verhältnissen entsprechend konzipiert werden. Nicht zuletzt versprach man sich mit der Beherrschung

des technischen Know-how internationale Konkurrenzfähigkeit bei zukünftigen Projekten. Die bewilligten Finanzmittel für die Zeit von 1984 bis 1994 beliefen sich auf knapp 500 Millionen DM.

Zu Beginn der 80er Jahre waren vier Zielgebiete für eine Tiefbohrung in der Diskussion; ab 1983 konzentrierten sich die Untersuchungen auf den Schwarzwald und die Oberpfalz. Im Herbst 1986 entschied man sich schließlich für die Oberpfalz. Zunächst sollte eine Vorbohrung in 3-5 km Tiefe niedergebracht werden und ab 1989 wollte man in der Hauptbohrung bis in 14 km Tiefe vorstoßen. Im internationalen Vergleich wäre das ein Tiefen-Weltrekord gewesen, denn die bislang tiefste Bohrung auf der Kola-Halbinsel erreichte 12,2 km.

Mit dem Kontinentalen Tiefbohrprogramm (kurz: KTB) war bezweckt, die Nahtstelle zwischen zwei Kontinentblöcken, dem Saxothuringikum (Ur-Europa) und dem Moldanubikum (Ur-Afrika), zu

erforschen; nach plattentektonischen Vorstellungen sind diese Blöcke vor ca. 320 Millionen Jahren kollidiert und haben sich ineinander verkeilt. In einem umfangreichen Meßprogramm sollten die physikalischen und chemischen Bedingungen innerhalb der kontinentalen Kruste erkundet werden. Neben dem Aufbau der Kruste versprach man sich wertvolle Informationen über ihre Entwicklung, die Ursachen der seismischen Reflektoren, der magnetischen und gravimetrischen Anomalien und der hohen elektrischen Leitfähigkeit, über den Fluidgehalt und dessen Einfluß auf die Lagerstättenbildung, die Wärmeproduktion und -leitung, den Gehalt an Radionukliden und das Alter der Gesteine u.v.m.

Bereits die Ergebnisse der Vorbohrung waren ebenso faszinierend wie ernüchternd: Von allen Vorhersagen haben sich nur die anzutreffenden Gesteinsarten bestätigt: Paragneise und Metabasite. Ungewöhnlich die Lagerung der Gesteine: Wie an einem Schaschlikspieß treten sie wiederholt auf. Die verfalteten Schichten winden sich schraubenförmig in die Tiefe, z.T. stehen sie senkrecht.

Im Verlauf der Vorbohrung wurde klar, daß die geplante Endtiefe von 14 km nicht zu erreichen sein wird, der Grund: die Temperatur nahm mit der Tiefe schneller zu als erwartet. Anstatt der geschätzten 90°C in 4000 m Tiefe waren es fast 120°C. Eine Extrapolation in die Tiefe ließ die Zieltemperatur von 300°C schon bei 10 km wahrscheinlich sein. Damit betrug die neue Zieltiefe jetzt 10 km – mit einer Option auf 12 km. Auch diese Absicht mußte während der Hauptbohrung noch einmal korrigiert werden, denn bereits bei 9.000 m war die kritische Temperaturgrenze fast erreicht. Zuletzt war das unter hohem Druck stehende Gestein bereits so plastisch, daß das Bohrloch nach jedem Wechsel der Bohrkronen inzwischen wieder verstopft war. Noch ist nicht geklärt, ob man tatsächlich in die Übergangszone vom spröden zum duktilen Verhalten der Materie eingedrungen ist oder ob Flüssigkeiten das Nachrücken des Gesteins erleichtern und diese Zone nur vortäuschen. Zur Zeit werden in dem Bohrloch weitere Experimente durchgeführt.

Die anfängliche Fehleinschätzung des Temperaturverlaufs hat ihre Ursache in den unzureichenden Informationen aus Flachbohrungen. Bis in 500 m Tiefe sorgt zirkulierendes Grundwasser für einen Temperatúrausgleich, also einer Abführung der aus dem Erdinnern und vom radioaktiven Zerfall stammenden Wärme. Der in den Vorerkundungen ermittelte Temperaturgradient von nur 22°C/1000 m gab seinerzeit den Ausschlag für die Oberpfalz als Bohrlokalität und die projektierte Zieltiefe von 14 km. Ab einer Tiefe von 500 m stieg der Temperaturgradient aber rasch auf 29°C/1000 m an.

Schon in der Vorbohrung traf man mit zunehmender Tiefe auf ein ausgeprägtes System feiner Risse und Klüfte im Gestein. Das Gestein wird von

meterdicken Zermürbungsbahnen durchzogen, in denen selbst die einzelnen Minerale zertrümmert oder zerrieben sind. In diesen Zonen finden sich auch bis zentimeterdicke Graphitadern, die als Ursache der hohen elektrischen Leitfähigkeit angesehen werden. Vermutlich stammt der Graphit aus der Reaktion von Kohlendioxid mit Methan. Der Fluidgehalt (gemeint sind Flüssigkeiten und Gase) nahm ab einer Tiefe von 3.200 m fast sprunghaft zu; aus 3.900 m Tiefe konnten während eines Pumpversuchs 75.000 Liter hochsalinarer Lauge aus dem Erdinneren gefördert werden. Der Kochsalz-Gehalt der Lauge entsprach etwa dem Doppelten der Konzentration in Meerwasser; überraschend blieb der Fluidgehalt auch bei zunehmender Tiefe während der Hauptbohrung hoch. Eine Besonderheit ist außerdem, daß seismische Befunde einen Wechsel der Gesteinsarten bei 3.200 m vermuten ließen. Anstelle eines anderen Gesteins fand man jedoch eine Zunahme des Flüssigkeitsgehalts – der indirekten Erkundung der Erdkruste mittels seismischer Messungen sind damit unerwartete Grenzen gesetzt. Neben der hohen Fluidkonzentration waren die hohen Anteile von Methan und Stickstoff in den unterirdischen Gasen nicht erwartet worden; auch hier steht die Erklärung aus.

Ein weiterer Fund in den Bohrkernen war rätselhaft: die Paragneise enthalten 400 Millionen Jahre alt datierte Mikroorganismen; die Gneise sind ehemalige Ablagerungsgesteine, die nach geologischer Datierung vor 380 Millionen Jahren metamorphisiert wurden, d. h. eine Umwandlung bei hohen Drücken und Temperaturen erfahren haben. Die Metamorphose muß bei Drücken erfolgt sein, die einer Tiefe von über 30 km entsprechen. Aber wie ist das Gestein in nur 20 Millionen Jahren in diese Tiefen gelangt? Überraschend ist auch, daß die Mikrofossilien überhaupt noch erhalten sind.

„Die Geologie-Lehrbücher müssen umgeschrieben werden“

Ausblick. Ob alle Beobachtungen in die derzeit anerkannten Modelle befriedigend eingegliedert werden können, muß bezweifelt werden. Vermutlich bedürfen unsere Vorstellungen von den geodynamischen Prozessen in der Erdkruste einer grundlegenden Überarbeitung. Das KTB hat ebenso wie die wenigen anderen Tiefbohrungen deutlich gemacht, daß unsere Kenntnisse vom geologischen Bau und den Vorgängen in der Tiefe noch recht dürftig sind – und dabei hat man im Grunde nur an der äußeren Schale der Erde gekratzt. Jedenfalls übertreffen die Ergebnisse einer Tiefbohrung

bei weitem den Beobachtungshorizont von mehreren Flachbohrungen. Gerade die Abweichungen von den erwarteten Befunden werden von den beteiligten Forschern außerordentlich positiv gewertet, denn eine großangelegte Bohrung, die lediglich alle indirekt gewonnenen Erkenntnisse bestätigt, wäre ausgesprochen langweilig. Welche Folgerungen sich aus den jüngsten Resultaten für das globale Bild von der Erde, ihrer geologischen Entwicklung und speziell von den Prozessen in der Erdkruste ergeben, wird die Aufarbeitung der neuen Daten in den nächsten Jahren zeigen. Vorläufiges Resümee von Peter KEHRER, eines am KTB beteiligten Wissenschaftlers: „Die Geologie-Lehrbücher müssen umgeschrieben werden“ (KERR 1994).

Die Notwendigkeit eines internationalen Bohrprogramms haben letztes Jahr Forscher aus über 25 Ländern während eines Treffens im GeoForschungsZentrum in Potsdam (GFZ) hervorgehoben (ZOBACK & EMMERMANN 1994). Der wissenschaftliche und technische Erfolg des KTB hat die Geowissenschaftler stimuliert – nicht in den Weiten des Welt-

alls, sondern nur wenige Meter unter unseren Füßen harrt eine geheimnisvolle Welt ihrer Entdeckung.

Thomas Fritzsche

Literatur

- Anonymus (1987) Start der KTB-Vorbohrung. Geowissenschaften in unserer Zeit 5, 184.
 EMMERMANN R (1986) Das deutsche Kontinentale Tiefbohrprogramm. Forschungskonzeption und Zielsetzungen. Geowissenschaften in unserer Zeit 4, 19-33.
 EMMERMANN R (1990) Vorstoß ins Erdinnere: das Kontinentale Tiefbohrprogramm. Spektrum der Wissenschaft, Okt., 60-70.
 FRITZ P & LODEMANN M (1990) Die salinaren Tiefenwässer der KTB-Vorbohrung. Die Geowissenschaften 8, 273-278.
 KERR RA (1994) German super-deep hole hits bottom. Science 266, 545.
 ZOBACK MD & EMMERMANN R (1994) Toward establishing an international continental scientific drilling program. EOS 75 (40), 461.

War Australopithecus robustus ein Werkzeughersteller?

Menschen sind nicht die einzigen Lebewesen, die Werkzeuge verwenden. Schimpansen stellen sogar gelegentlich einfache Werkzeuge aus Rohmaterialien selbst her (BECKER 1993). Doch während der Werkzeuggebrauch bei Schimpansen nicht unbedingt erforderlich zu sein scheint, ist er für den heutigen Menschen lebensnotwendig. Das erste Auftreten von Werkzeugen wird deshalb als ein entscheidender Schritt in der Evolution zum Menschen angesehen.

Die frühesten bekannten Steinwerkzeuge sind in geologischen Schichten geborgen worden, die auf ca. 2,5 Millionen Jahre datiert werden (Abb. 1). Im allgemeinen werden diese Werkzeuge *Homo habilis*, dem frühesten und bis heute umstrittenen Vertreter der Gattung *Homo* zugeschrieben. Jüngst vertrat SUSMAN (1994) die These, daß unter den frühen Hominiden auch *Australopithecus robustus* zu den Benutzern und Herstellern dieser Werkzeuge gehörte. Diese Behauptung ist erstaunlich zu einem Zeitpunkt, da sich die Indizien

dafür verdichten, daß seine grazilen Verwandten (von denen reichhaltigeres Fundmaterial vorliegt als von den robusten *Australopithecinen*) dem Menschen in vielen Merkmalen unähnlicher sind als zunächst angenommen.

Was sind nun aber die Daten, auf die sich SUSMAN stützt?

Die menschliche Hand besitzt spezielle Anpassungen für die Herstellung und Benutzung von Werkzeugen. Eines der wichtigsten Merkmale ist dabei die stark entwickelte Daumenmuskulatur. Der Mensch kann wie viele andere Primaten den

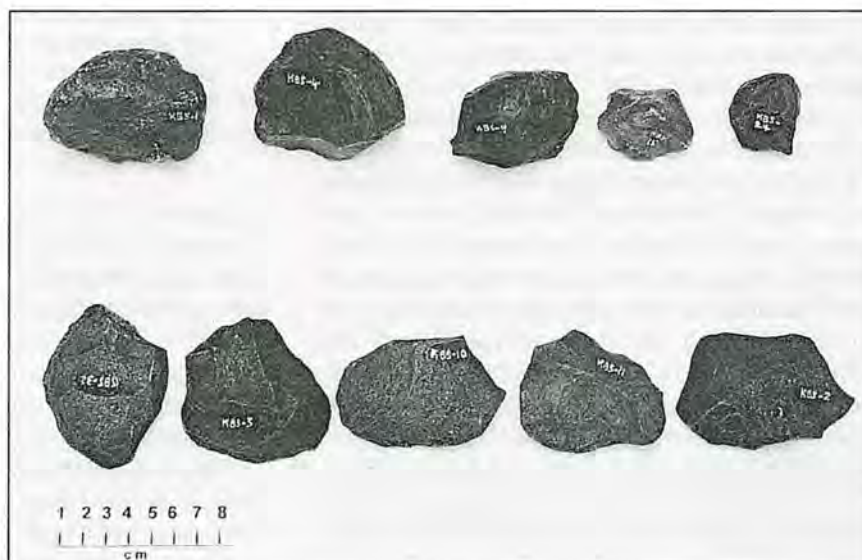


Abb. 1: Abgüsse von ältesten Steinwerkzeugen aus Koobi Fora (Kenia). Oben: Haumesser (Choppers). Unten: Splitter (Flakes)