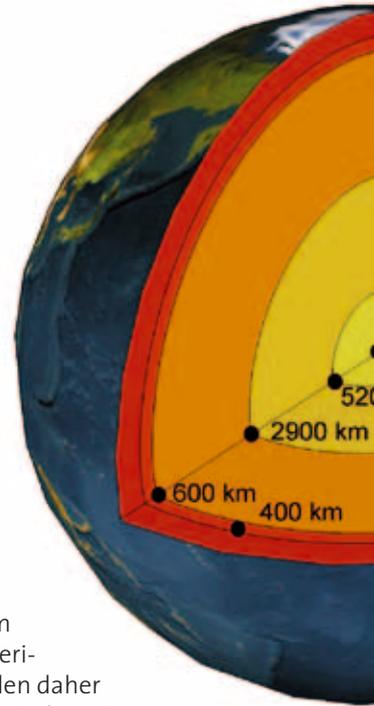


Wie sieht es im Inneren der Erde aus?

Die Zusammensetzung, Temperatur und Dynamik des tiefen Erdinneren stellen einen Grenzbereich der Wissenschaft dar, der noch viele Rätsel aufgibt. Am Bayerischen Geoinstitut der Universität Bayreuth wird dieser Bereich unseres Planeten in Experimenten untersucht, in denen zum Erdinneren vergleichbarer, extremer Druck und sehr hohe Temperatur erzeugt werden, um dann deren Auswirkungen auf Gesteine zu untersuchen.

VON DAN FROST



Schichten im Erdinneren. Die Platten der Erdkruste schwimmen über einem festen, aber plastisch fließenden Mantel aus Silikatmineralien. Vorhandene Proben des Erdmantels stammen aus maximal 200 km Tiefe. Am Bayerischen Geoinstitut werden die in Hochdruck- und Extremtemperaturexperimenten gewonnenen Daten genutzt, um die chemische Zusammensetzung des weitaus tieferen Erdinneren zu erforschen und zu bestimmen.

WIE UNSERE ERDE IN ihrem Inneren beschaffen ist, lässt sich von der Erdoberfläche aus nicht direkt erkunden. Die tiefste Bohrung reicht nur 12 km in den Untergrund, und auch vereinzelte Gesteinsproben, die durch Magma an die Erdoberfläche transportiert werden, stammen aus weniger als 100 km Tiefe. Das Zentrum unserer Erde liegt dagegen in einer Tiefe von 6.370 km. Der weitaus größte Teil der Erde ist also nicht direkt über Probenentnahmen greifbar oder beobachtbar. Dennoch sind die Zusammensetzung und die Dynamik des Erdinneren von immenser Bedeutung, da sehr viele Prozesse in der Tiefe einen großen Einfluss auf die Entwicklung der Erdoberfläche und deren Bewohnbarkeit haben. Außerdem sind die Prozesse im Inneren von Planeten auch dafür verantwortlich, dass sich die Planeten in unserem Sonnensystem sehr stark unterscheiden und dass die Erde so einzigartig ist.

Simulation des tiefen Erdinneren

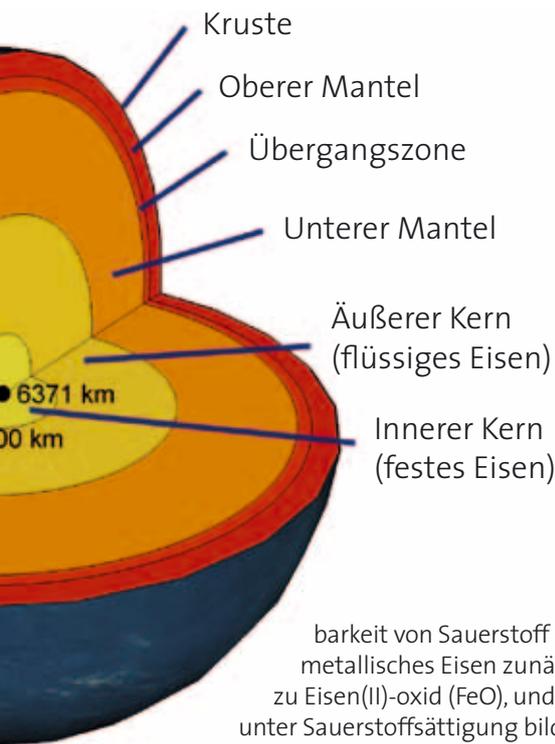
Wie kann es uns gelingen, diese Prozesse, die für uns ja nicht direkt erfassbar sind, zu verstehen? Einen wichtigen Beitrag zum Verständnis des Erdinneren liefern seismologische Forschungen: Wenn es zu einem Erdbeben kommt, breiten sich seismische Wellen durch das Erdinnere aus und können an der Erdoberfläche mittels Seismographen registriert werden. Die Geschwindigkeit, mit der sich diese Wellen durch die Erde fortpflanzen, und die Reflektion solcher Wellen an Grenzflächen verschiedener Schichten ermöglichen Erkenntnisse über die Struktur, Zusammensetzung und Temperatur im Inneren unseres Planeten.

Um jedoch diese indirekten seismologischen Beobachtungen richtig zu interpretieren und damit das Erdinnere sozusagen geologisch auskartieren zu können, braucht man Informationen über die

Minerale und Gesteine, aus denen das Erdinnere vermutlich besteht. Im Hochdrucklabor des Bayerischen Geoinstituts werden daher Experimente durchgeführt, die mit großen Pressen die Drücke des tiefen Erdinneren simulieren. Auf eine nur wenige Millimeter große Hochdruckkammer wird ein Druck von bis zu 250.000 Bar ausgeübt. Gleichzeitig können die Proben bis auf mehrere tausend Grad Celsius erhitzt werden.

Mittels dieser besonderen Technik kann man so Gesteine im Erdinneren identifizieren, die zuvor von der Erdoberfläche entlang von Subduktionszonen in das Innere der Erde transportiert wurden. An diesen Subduktionszonen wird ozeanische Erdkruste zurück in das Erdinnere gebracht, wobei nicht nur Erdkrustenmaterial mitgenommen wird, sondern auch wichtige Anteile des Ozeanbodens wie Wasser und Kohlendioxid. Seismologen können mit diesen Experimenten nun ihre Ergebnisse als Funktion der chemischen Zusammensetzung interpretieren und die Wege, die subduziertes Material durch die tiefe Erde nimmt, nachzeichnen.

Ein anderer Forschungsschwerpunkt befasst sich damit, wie sich unterschiedliche Regionen des Erdinneren im Verlauf der Erdgeschichte in ihrer Zusammensetzung verändert haben. Ein wichtiger Ansatzpunkt ist hier die Frage, wie sich Sauerstoff während der frühen Entwicklung der Erde verhalten hat. Es gelang, einen Zusammenhang mit der Bildung von Eisenoxid unter hohen Drücken herzustellen. Abhängig von der Verfüg-



barkeit von Sauerstoff oxidiert metallisches Eisen zunächst zu Eisen(II)-oxid (FeO), und nur unter Sauerstoffsättigung bildet sich Eisen(III)-oxid (Fe₂O₃). Wir konnten zeigen, dass unter sauerstoffarmen Bedingungen, aber unter hohen Drücken metallisches Eisen und Eisen(III)-oxid in bestimmten mineralischen Phasen gemeinsam stabiler sind als Eisen(II)-oxid. Für die Entwicklung der Erde bedeutet das, dass bei Erreichen eines gewissen Durchmessers Eisen(II)-oxid zu Eisen(III)-oxid und metallischem Eisen reagiert. Als sich der metallische Kern der Erde bildete, hat sich demnach das metallische Eisen zum Kern hin getrennt, während das Eisen(III)-oxid im Erdmantel verblieb und diesen so mit Sauerstoff anreicherte. Dies ist deshalb von Bedeutung, weil sich die Erde – wie andere Planeten auch – ursprünglich aus relativ sauerstoffarmem Material gebildet hat und vulkanische Ausgasungen daher ebenfalls zu sauerstoffarm gewesen wären, um

die heutige Atmosphäre zu erzeugen. Unsere Ergebnisse bieten dagegen einen einfachen Erklärungsansatz, wie sich aufgrund der Größe der Erde und des dadurch bedingten hohen Drucks Sauerstoff tief im Erdmantel anreichern konnte, um dann über Ausgasungen an die Oberfläche zu gelangen und die Erdatmosphäre zu bilden – der wichtigste Schritt zur Entstehung eines bewohnbaren Planeten.

In einer weiteren Studie, die zusammen mit David Rubie am Bayerischen Geoinstitut entstand, gelang es zu zeigen, dass ein gewisser Teil des Sauerstoffs unter hohen Drücken und Temperaturen dennoch auch in den metallischen Erdkern abgegeben wurde. Dadurch ist insgesamt weniger Eisenoxid im Mantel verblieben als z. B. im Mantel des Mars: Im wesentlich kleineren Mars, in dem auch entsprechend niedrigere Drücke und Temperaturen herrschten, wurde weniger Sauerstoff in den Kern abgegeben, und mehr eisenhaltiges Material verblieb im Mantel. Das bietet eine einfache Erklärung dafür, dass der Mars heute wesentlich eisenhaltiger ist und als „Roter Planet“ gilt.

Erforschung ganz neuer Materialien

Obwohl diese Forschungen maßgeblich auf ein Verständnis der Erde und unseres Sonnensystems ausgerichtet sind, ermöglichen die Experimente auch Forschung an neuen Materialien: Unter hohem Druck bilden sich neue atomare Strukturen, die wertvolle physikalische Eigenschaften haben, etwa extrem hohe Härte. Dafür entwickelten wir am Geoinstitut in Zusammenarbeit mit einer ortsansässigen Firma grundlegende Hochdruckapparaturen, die zur Produktion solcher neuer Materialien eingesetzt und weltweit exportiert werden.

DER AUTOR

Dr. Dan Frost ist seit 1997 Akademischer Rat am Bayerischen Geoinstitut der Universität Bayreuth. Für seine Arbeiten zum Verständnis des Erdmantels und zum Vergleich des Erdmantels mit dem Mantel des Mars erhielt er am 3. Dezember 2011 den Arnold Sommerfeld-Preis der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.



Das Hochdrucklabor am Bayerischen Geoinstitut. Hochdruckpressen produzieren einen Druck und eine Temperatur wie im Erdinneren durch die Fokussierung von tausenden von Tonnen auf wenige Millimeter.

Dan Frost vor der 5.000-Tonnen-Hochdruckpresse. Diese Presse kann einen Druck herstellen, wie er im unteren Erdmantel herrscht, und erreicht Temperaturen bis zu 3.000° Celsius.