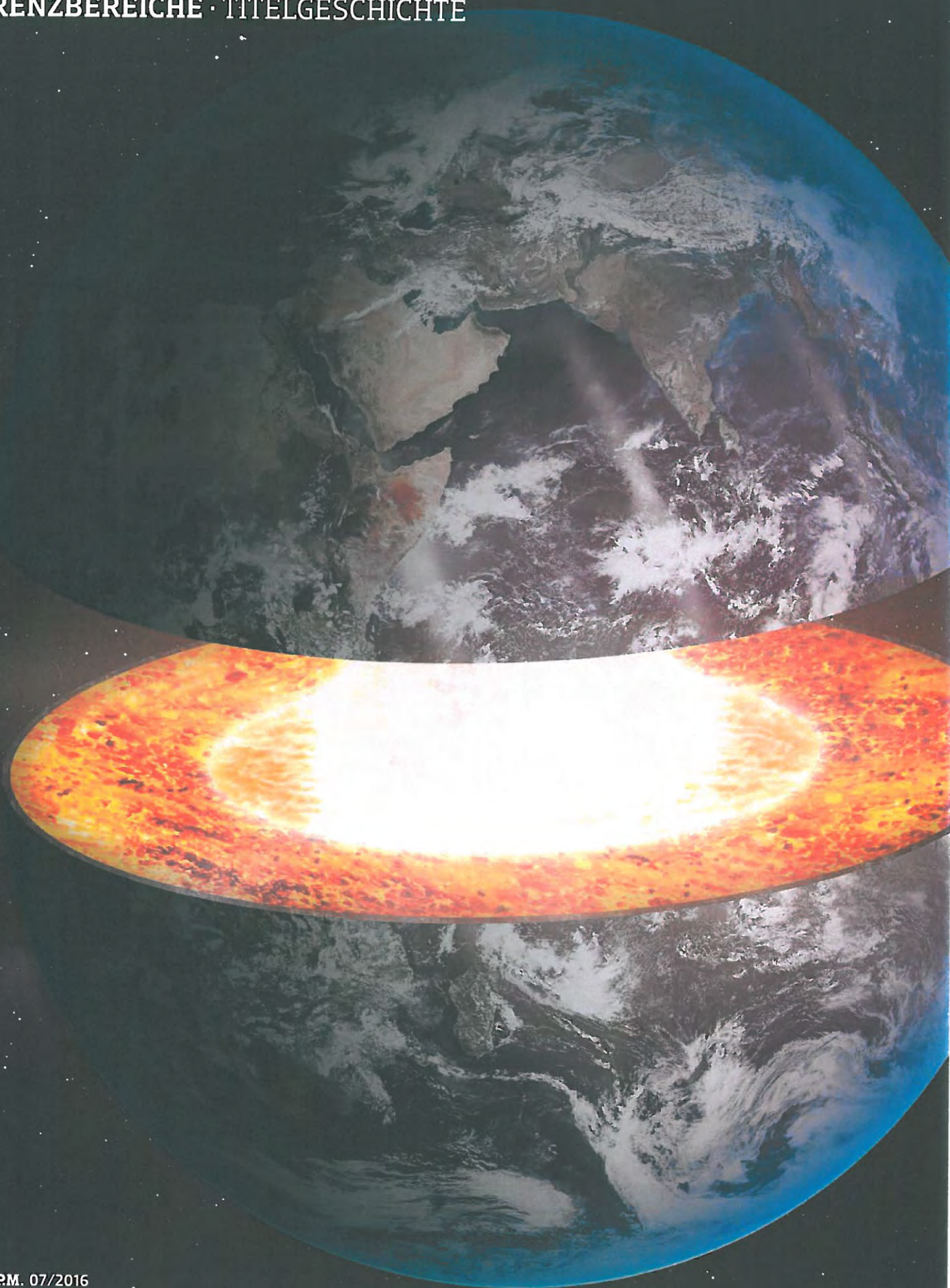


GRENZBEREICHE · TITELGESCHICHTE



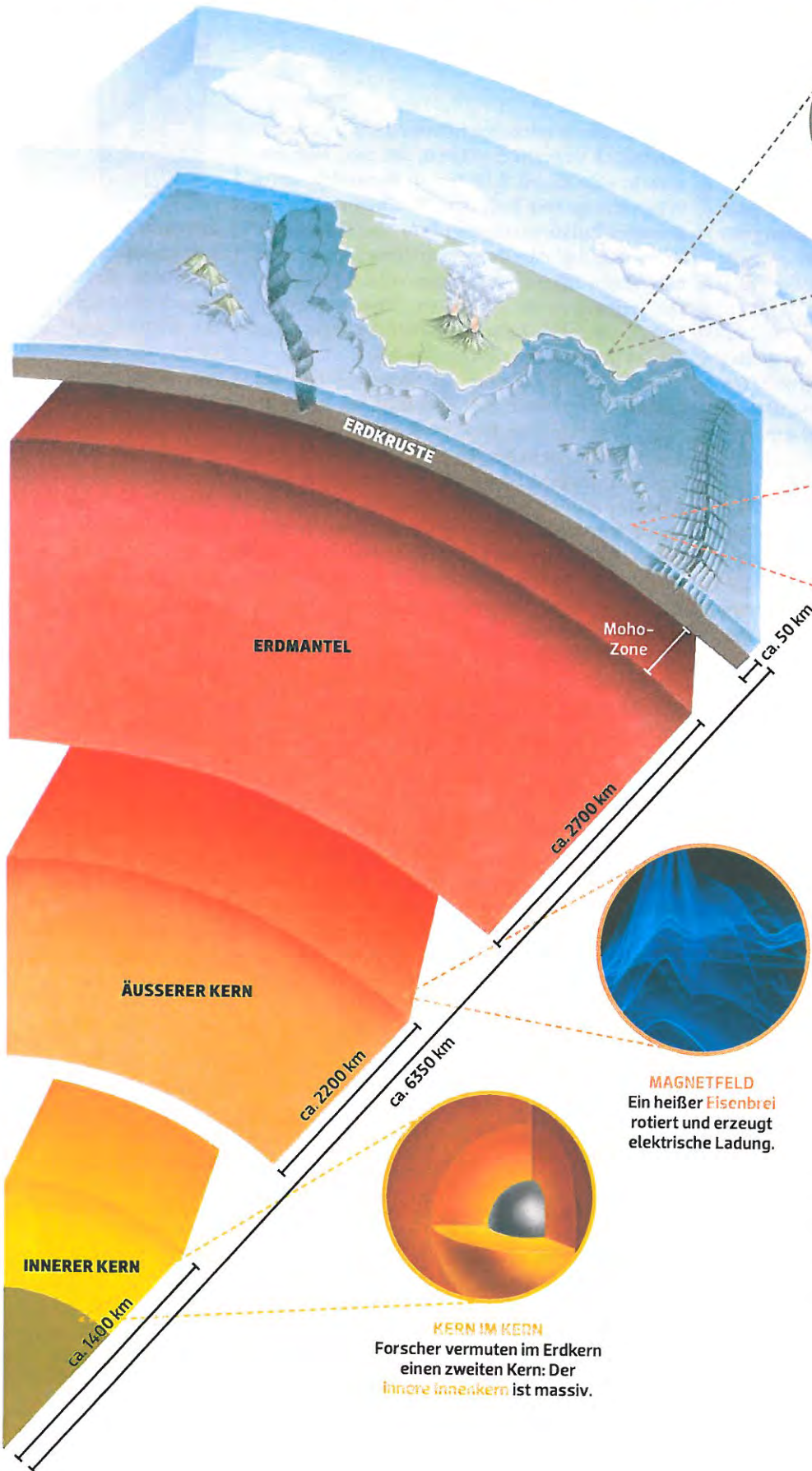


REISE IN DIE MITTE DER ERDE

Bis zum Kern unseres Planeten sind es knapp 6400 Kilometer. Die tiefste Bohrung der Menschen erreichte aber gerade mal zwölf Kilometer. Wie sieht es also im Inneren der Erde aus? Und woher weiß man das?

TEXT: MARTIN TZSCHÄSCHEL

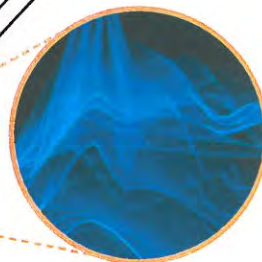
DICKE DER ERDSCHICHTEN: 0–3,6 km 3,6–50 km 50–300 km 300–3000 km 3000–5000 km 5000–6370 km



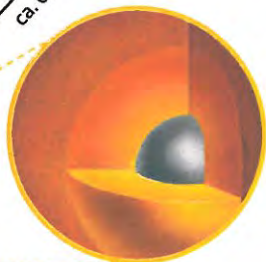
DIE KOLA-BOHRUNG 1989 kamen Forscher in Russland 12,2 km tief – Rekord bis heute.



MISSION MOHOLE Von einem Bohrschiff aus soll der Erdmantel erkundet werden.



MAGNETFELD Ein heißer Eisenbrei rotiert und erzeugt elektrische Ladung.



KERN IM KERN Forscher vermuten im Erdkern einen zweiten Kern: Der innere innerkern ist massiv.

Von der Kruste zum Kern

FEUERBALL Mit zunehmender Tiefe wird die Erde immer heißer: Während die Temperatur in der relativ dünnen Erdkruste bis zu 1500 Grad beträgt, erreicht sie im Kern um die **6000 Grad**. Zunehmender Druck der Gesteinsmassen, aber auch radioaktive Prozesse sind dafür verantwortlich – und Restwärme, die nach der Entstehung der Erde immer noch vorhanden ist. Mehr als zwei Drittel der **Gesamtmasse** der Erde entfallen auf den Erdmantel. Ihn direkt zu erforschen ist wegen der Hitze und des großen Drucks unmöglich, aber die Übergangszone (Moho) soll angebohrt werden.

Z

wei Welten, sie könnten unterschiedlicher nicht sein: eine helle und eine dunkle. Während die Wolkenkratzer in Südafrikas größter Stadt Johannesburg der Sonne entgegenragen, liegt 60 Kilometer entfernt ein Ort der Finsternis, tief unter der Erde. Über eine Stunde dauert die senkrechte Fahrt nach unten, vorbei an endlosen grauschwarzen Wänden, an Tunneln und Schächten. Einige der stickigen Stollen sind verlassen, in manchen hausen geisterhafte Gestalten – Obdachlose, die seit Wochen kein natürliches Licht gesehen haben. Vor allem aber wird hier unten gehämmert und gebohrt.

TIEFE: 0–3,6 KM

Damit die 4000 Männer in Mponeng ihren Job in der schweißtreibenden Hitze aushalten, werden oberirdisch Tag für Tag Hunderte Tonnen Eis produziert. Mit Salz vermischt, wird es in die Goldmine gepumpt, wo Luft darüber strömt und die Temperatur senkt. Von 55 auf 28 Grad.

»Sie stehen jetzt am tiefsten Punkt der Welt« heißt es auf einem Schild, 3612 Meter unter der Oberfläche. Kein Mensch ist jemals tiefer ins Erdreich vorgedrungen. Würde man hier den Pariser Eiffelturm elfmal aufeinanderstapeln, käme die oberste Spitze nicht ans Tageslicht.

Aber was sind schon 3,6 Kilometer Tiefe? Forscher, die wissen wollen, wie die Erde in ihrem Inneren aufgebaut ist, würden gern viel weiter in sie eindringen. Bis zu ihrem Mittelpunkt sind es 6370 Kilometer, genauso weit wie von Berlin nach New York. »Der Weg zum Erdkern bleibt uns für immer verborgen«, sagt der Geochemiker Jürgen Koepke. »Wir werden eher ferne Planeten erreichen als das, was tief unter unseren Füßen liegt.«

Doch zumindest in Gedanken können Experten wie der Hannoveraner Uni-Professor zum Mittelpunkt der Erde reisen. Vom Weg und dem Ziel haben sie eine klare Vorstellung – dank raffinierter Methoden, mit denen sie unserem Planeten erstaunliche Geheimnisse entlocken. Und wenn eine große, internationale Expedition klappt, die für die kommenden Jahre geplant ist, werden noch einige besonders aufsehenerregende Einblicke folgen.

TIEFE: 3,6–50 KM

Die größten Erkenntnisse gewinnen die Wissenschaftler, indem sie Naturereignisse auswerten, die anderen Leid, Not und Tod bringen: Erdbeben.

Rund 50 dieser seismischen Erschütterungen werden täglich weltweit registriert, alle paar Tage verursacht eine davon Schäden an Gebäuden. Jedes Beben erzeugt eine Reihe von Schallwellen, die den gesamten Erdkörper durchziehen. Ihre Frequenzen sind so niedrig, dass das menschliche Ohr sie nicht hören kann – aber Messstationen rund um den Globus registrieren die Laufzeiten, Echos und Streuungen. Sie geben Aufschluss über die Dichte und Art des Gesteins, das sie durchlaufen.

Im Jahr 1909 machte der kroatische Forscher Andrija Mohorovičić eine sensationelle Beobachtung: Er stellte fest, dass seismische Wellen von einem Erdbeben in der Nähe Zagrebs unterhalb einer Tiefe von etwa 50 Kilometern rund 30 Prozent schneller unterwegs waren als darüber. Es gab nur eine Erklärung: Das tiefergelegene Gestein musste dichter (fester) sein als das Material darüber.

Bis dahin hatten die Wissenschaftler sich vor allem mit der Erdkruste beschäftigt, mit der Oberfläche unseres Planeten. Doch nun stellte sich heraus: Wenn man 30 oder 50 Kilometer in die Tiefe reisen könnte, würde man auf eine vollkommen andere Schicht treffen – den Erdmantel. Die Grenze zwischen Kruste und Mantel wird heute Mohorovičić-Diskontinuität genannt, kurz Moho.

Doch seismische Messungen allein führen nicht immer zum Ziel. Auf der russischen Halbinsel Kola zeigten zum Beispiel Erdbebenwellen in einer Tiefe zwischen drei und sechs Kilometern auffällige Veränderungen. Für die Forscher ein klarer Hinweis, dass anstelle von Granit, wie weiter oben, hier unten eine schwerere Basaltschicht existieren müsste. Erst bei einer Bohrung stellte sich heraus: Wie tief man auch in die Kola-Erdkruste vorstieß – es gab keinen Basalt, sondern immer nur Granit. Er besaß allerdings eine andere Dichte als weiter oben, womit niemand gerechnet hatte.

Seitdem wissen die Forscher: Keine noch so gute Theorie über das Innere der Erde kann eine Bohrung ersetzen. Eigentlich sollte das Kola-Loch bis an den Rand des Erdmantels in mehr als 30 Kilometer Tiefe reichen, bis zur Moho.



Jules Vernes aufregende Reise

Der Hamburger Professor Lidenbrock und sein Neffe Axel sind die Helden in »Reise zum Mittelpunkt der Erde«. Jules Verne schrieb den Roman 1864 – bis heute ist das Buch des Franzosen eine Ikone der fantastischen Literatur.

Ein Ozean und Stürme: So stellte sich der deutsche Gelehrte Athanasius Kircher 1678 das Erdinnere vor.



ILLUSTRATION VORHERIGE SEITE: VADIM SADOVSKI/IZSRF; FOTOS DIESE SEITE: GETTY IMAGES (3), SCIENCE PHOTO LIBRARY, ESA, SPL/AGENTUR FOCUS, BRIDGEMAN IMAGES

DICKE DER ERDSCHICHTEN: 0–3,6 km 3,6–50 km 50–300 km 300–3000 km 3000–5000 km 5000–6370 km



Der Entdecker des Erdmantels

Der kroatische Geophysiker Andrija Mohorovičić (1857–1936) erkannte, dass Erdbebenwellen in größerer Tiefe anders verlaufen als weiter oben – es muss also unter der Erdkruste eine andere Schicht geben: den Erdmantel. Die Übergangszone wird heute nach ihrem Entdecker kurz »Moho« genannt.

Doch nach 12,2 Kilometern war Schluss, weiter kam man im Jahr 1989 nicht. Niemand hatte mit den hohen Temperaturen von 180 Grad im Gestein gerechnet, die das Bohrmaterial – unter anderem Aluminium – extrem beanspruchten.

Die Kola-Bohrung war damals eine enorme technische Leistung, bis heute gibt es keinen tieferen Vorstoß in die Erde. Doch würde man zum Vergleich das Innere einer zehn Zentimeter großen Orange erforschen wollen, indem man ein maßstabsgerechtes Loch in ihre Schale bohrt – es wäre es nur 0,2 Millimeter tief.

TIEFE: 50–300 KM

Ein Teil des oberen Erdmantels (ab ca. 50 Kilometer Tiefe) ist für die Wissenschaft sehr interessant – weil sich hier eine Art Motor befindet, der Kontinente bewegt und Erdbeben erzeugt. Es ist die Asthenosphäre, die etwa 100 Kilometer unter der Erdoberfläche beginnt und ungefähr 200 Kilometer dick ist.

Da sich die Erdkruste, die auf dieser Zone liegt, bewegt, wissen die Forscher, dass die Asthenosphäre nicht aus starrem Gestein bestehen kann. Vermutlich ist sie eine zähe Masse. In tieferen Schichten unter ihr muss ein hoher Druck existieren. Zusammen mit der Restwärme, die noch heute von der Erdentstehung übrig geblieben ist, bewirkt der Druck, dass sich Gesteinsmaterial erhitzt. Es dehnt sich aus und steigt empor, wodurch es nicht nur die Asthenosphäre selbst in Bewegung versetzt, sondern auch die auf ihr liegenden Kontinentalplatten.

Die verschieben sich zwar nur sehr langsam, aber kontinuierlich: Die Entfernung von Frankfurt nach New York nimmt Jahr für Jahr um zehn Zentimeter zu. Während sich der Atlantik vergrößert, schrumpft auf der anderen Seite des Globus der Pazifik. Indien schiebt sich allmählich unter das Himalaja-Gebirge. Australien driftet nach Norden.

Wenn bei solchen Verschiebungen zwei große Erdplatten gegeneinander geraten, entladen sich die dabei auftretenden Spannungen: Die Erde bebt – und liefert den Forschern wieder einmal nützliche Daten aus ihrem Inneren.

Doch Daten sind nicht alles. Die Wissenschaftler brauchen auch handfestes Material, das sie betrachten und analysieren können. Das liefern zum Beispiel Vulkane. »Vulkanausbrüche, bei denen Stücke von Mantelgestein mitgerissen und an die Erdoberfläche geschleudert werden, sind für uns eine ganz wichtige Quelle«, sagt Jürgen Koepeke.



Auf dem Bohrschiff: Schon 1961 drangen Forscher von hier aus in die Erde vor – weit kamen sie aber nicht.



Abstieg zum tiefsten Ort: Südafrikas Goldmine Mponeng liegt 3,6 Kilometer unter der Erdoberfläche.



FOTOS: ARG IMAGES/NATIONAL GEOGRAPHIC CREATIVE, REDUX/LAIF, SPL/AGENCY FOCUS

TIEFE: 300–3000 KM

Durch eine Vulkaneruption kam vor zwei Jahren in Brasilien ein winziger Diamant an die Oberfläche. Für die Schmuckindustrie hat der drei Millimeter große Splitter keinen Wert, für die Wissenschaftler dafür umso mehr: In seinem Inneren entdeckten sie das Mineral Ringwoodit, das man bisher nur in Meteoriten gefunden hatte.

Diamanten können ebenso wie Ringwoodit nur unter sehr hohem Druck entstehen. Deshalb nimmt man an, dass das winzige Fundstück aus rund 500 Kilometer Tiefe stammt – aus der Übergangzone zwischen dem oberen und unteren Erdmantel. Gestein aus dieser Zone kommt nur selten ans Licht. Doch die eigentliche Sensation des Fundes ist eine andere: Der Krümel enthält etwa 1,4 Prozent Wasser.

Die mit Infrarot-Spektroskopie ermittelte Entdeckung deutet darauf hin, dass es in der unteren Übergangzone des Erdmantels riesige Mengen von eingeschlossenem Wasser gibt: Im Gestein des Erdmantels könnte sogar dreimal so viel Flüssigkeit gebunden sein wie in allen Ozeanen zusammen.

Vulkanausbrüche sind gewaltige Ereignisse. Doch manchmal präsentiert die Erde auch auf sanfte, unspektakuläre Art, was in ihr steckt. Jürgen Koepke deutet auf einen flachen Stein, der in einem Regal neben seinem Schreibtisch liegt: graugrün, etwa so groß wie ein Taschenbuch, aber viel schwerer. Seine glatte Oberfläche fühlt sich angenehm an. »Ein Serpentin aus den Schweizer Alpen«, erklärt der Geochemiker. Er wurde durch Erdbebewegungen, sogenannte tektonische Prozesse, nach oben gehoben. »Vor 160 Millionen Jahren gehörte er noch zum Erdmantel unter dem Ozean.«

Im arabischen Hadjar-Gebirge, im Oman, kommt derartige Material aus dem Erdmantel immer wieder an die Oberfläche – für Wissenschaftler eine Fundgrube. Aber das Gestein ist Millionen Jahre alt und stark verwittert. Zudem hat es eine größere, unbekannt Menge Kohlendioxid aus der Luft aufgenommen. Die Forscher wünschen sich deshalb, endlich einmal frisches, unbelastetes Mantel-Material untersuchen zu können.

Dabei helfen Vulkanausbrüche ebenso wenig wie seismologische Messungen oder tektonische Verschiebungen. So nützlich all diese Quellen sind, um das Innere der Erde zu erkunden – was Jürgen Koepke und seine Kollegen in aller Welt herbeisehen, ist eine Tiefenbohrung, die bis in den Erdmantel vordringt. Diese spektakuläre Aktion wird zurzeit geplant.



»Bitte mehr Atom-bombentests«

In den 50er-Jahren nutzten Forscher für ihre seismischen Messungen nicht nur Erdbeben, sondern auch die US-Atom-bombenversuche in der Südsee. Der Neuseeländer Keith Edward Bullen, führender Experte für Seismologie, schickte sogar Briefe an staatliche Stellen in London, Washington und Moskau mit der Bitte, erneut »eine oder mehrere Atombomben« explodieren zu lassen. Der Chef der US-Atomenergie-Kommission schrieb per Telegramm, dass es eine weitere Zündung geben werde.

DICKE DER ERDSCHICHTEN: 0–3,6 km 3,6–50 km 50–300 km 300–3000 km 3000–5000 km 5000–6370 km

Der Brite Damon Teagle, einer der beteiligten Forscher, sagt: »Ein Stück vom Erdmantel heraufzuholen wäre ein geologischer Schatzfund wie das Mondgestein, das die Apollo-Mission mitgebracht hat.« »Mission Mohole« nennen die Wissenschaftler aus Europa, Japan und den USA ihr Projekt; eine Zusammensetzung der Wörter »Moho« und »hole« (Loch).

Um nicht wie einst bei der russischen Kola-Bohrung auf halbem Weg zum Erdmantel stecken zu bleiben, wollen sich die Experten eine geologische Besonderheit zunutze machen: Die Moho liegt zwar unerreichbar tief 30 bis 60 Kilometer unter dem Festland der Kontinente – aber an manchen Stellen findet man sie nur vier Kilometer unter dem Meeresboden. Die Bohrung soll deshalb von einem Schiff aus erfolgen. Damon Teagle: »Das sieht dann so aus, als würde man mit einem Haar in einen zwei Meter tiefen Swimmingpool hinabstoßen und dort vom Boden aus drei Meter tief in den Untergrund bohren.«

Nach jahrelangen Voruntersuchungen sind mittlerweile noch drei Regionen im Pazifik übrig geblieben, die sich für eine solche Tiefenbohrung im Ozean eignen könnten. In der Nähe von Hawaii befindet sich laut Jürgen Koepke der zurzeit heißeste

Kandidat. Was nur im übertragenen Sinne gilt: Eine wichtige Voraussetzung für das Gelingen ist, dass die Temperatur an der Spitze des Bohrers 250 Grad nicht übersteigt. Der Bohrer selbst hält die Hitze zwar aus, aber diverse Messsonden könnten schlappmachen.

Auf der ganzen Welt gibt es nur ein Schiff, das sich für dieses Projekt eignet. Japan stellt es zur Verfügung: die »Chikyu« mit ihrem 130 Meter hohen Bohrturm, in dem ein Elektromotor das bis zu zehn Kilometer lange Bohrgestänge antreibt.

Damit die Rohre nicht brechen, wenn sie sich im harten Gestein drehen, muss das 210 Meter lange Schiff auch bei Wind und Wellen zentimetergenau seine Position über der Bohrstelle halten. Das geschieht mithilfe eines Autopiloten, der dank Computern, Sendern auf dem Meeresboden und Satellitennavigation bis zu sechs Schiffsschrauben gleichzeitig kontrolliert und steuert. Während der Bohrung wird das Bohrloch unter hohem Druck permanent freigespült.

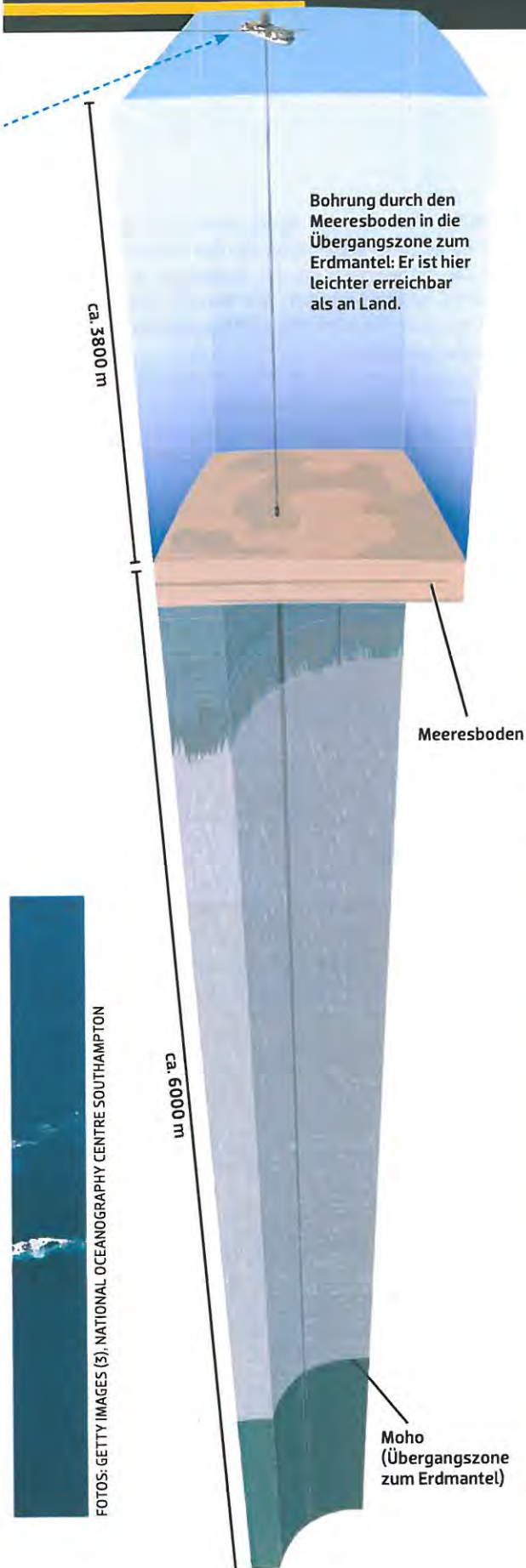
All das kostet viel Energie. »Einmal volltanken, und schon sind auch bei günstigen Spritpreisen schnell zwei bis drei Millionen Dollar weg«, sagt

Noch sauber und unbenutzt: eine neue Bohrkronen an Bord des japanischen Bohrschiffs »Chikyu«. Darunter: ein Wissenschaftler im bord-eigenen Labor mit einer Erdprobe.



Hubschrauberplattform, Bohrturm und jede Menge High-tech: das japanische Bohrschiff »Chikyu«.





FOTOS: GETTY IMAGES (3), NATIONAL OCEANOGRAPHY CENTRE SOUTHAMPTON

Jürgen Koepke. Hinzu kommen die hohen Charterkosten: Würde ein kommerzielles Unternehmen die »Chikyu« mieten, müsste es 500 000 Dollar bezahlen. Pro Tag. Immerhin: Das internationale wissenschaftliche Konsortium bekommt Rabatt.

Bisher kam man bei Bohrungen im harten Gestein unter dem Ozean nur 2,1 Kilometer weit – wenn alles klappt, soll es innerhalb der kommenden vier bis sieben Jahre dreimal so tief gehen. »Das ist ein ehrgeiziges Projekt«, sagt Koepke. Für seinen Kollegen Henry Dick, mariner Geologe aus den USA und einer der Expeditionsleiter, ist die Erkundung der Moho »eine der größten wissenschaftlichen Anstrengungen des Jahrhunderts«.

Was die Forscher an der Grenze zwischen Erdkruste und Erdmantel zu finden hoffen, ist mehr als nur neues Wissen über altes Gestein. Existiert hier unten, unter dem gigantischen Druck der Masse und in großer Hitze, vielleicht sogar Leben?

Ausgeschlossen ist es nicht: Man hat am Meeresboden Bakterien gefunden, die mehr als 120 Grad aushalten. Und andere Mikroben, die elf Kilometer unter der Wasseroberfläche einen Druck von 1000 Bar überstehen – und ihn sogar brauchen, um zu existieren. »Mission Mohole führt uns an die Randzone des Lebens und lässt uns seine physiologischen Grenzen verstehen«, sagt der US-Forscher Matt Schrenk von der Michigan State University.

TIEFE: 3000–5000 KM

Bei einer Reise zum Mittelpunkt unseres Planeten würde man von der Moho und durch den unter ihr liegenden Erdmantel zum Erdkern gelangen. Obwohl er 3000 Kilometer entfernt ist, machen sich die Wissenschaftler auch von ihm ein Bild. Diesmal versuchen sie nicht, ihm möglichst nahe zu kommen: Sie erkunden ihn vom Weltraum aus. Die Geophysiker profitieren von den jüngsten Erkenntnissen der Astrophysik.

Drei Satelliten der europäischen Weltraumorganisation ESA kreisen zurzeit im Verbund über der Erde. Jeder ist 470 Kilo schwer und besitzt einen mehrere Meter langen Ausleger mit Sensoren, die das Magnetfeld der Erde im Visier haben. Bis Ende 2017 soll die Mission mit dem Namen »Swarm« (Schwarm) laufen.

Schon jetzt lässt sich eine Zwischenbilanz ziehen: Das Magnetfeld, das unseren Planeten vor kosmischer Strahlung und Sonnenstürmen schützt, schwächt sich ab. Mit Ausnahme einiger Re-

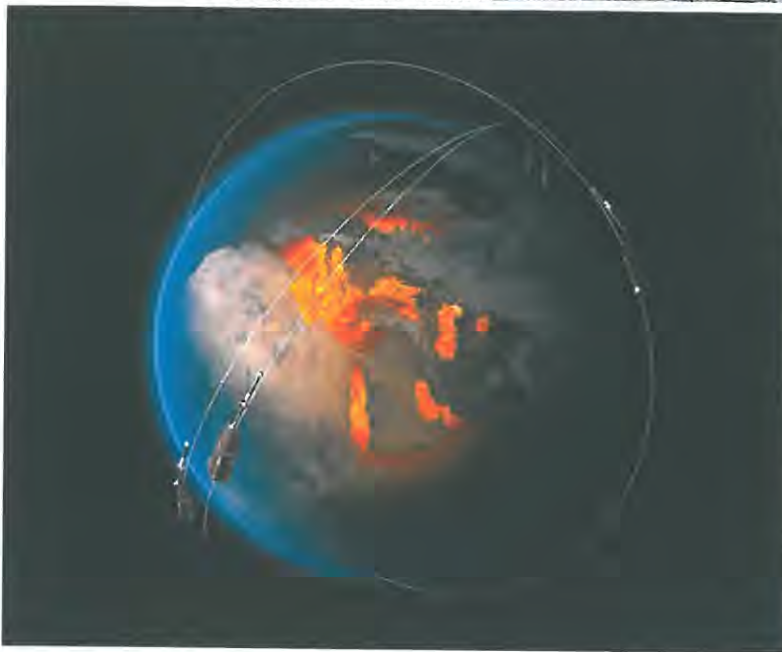


Jürgen Koepke

Der Geochemiker arbeitet als Professor am Institut für Mineralogie der Leibniz Universität Hannover. Bei Forschungsexpeditionen auf einem Bohrschiff hat ihn beeindruckt, dass es ganz ruhig und waagrecht auf dem Wasser lag – trotz Wind und Wellen.

DICKE DER ERDSCHICHTEN: 0–3,6 km 3,6–50 km 50–300 km 300–3000 km 3000–5000 km 5000–6370 km

Weltraummission »Swarm«:
Drei Satelliten der ESA umkreisen derzeit in 500 km Höhe die Erde, um ihr Magnetfeld zu vermessen. Sein Ursprung ist der heiße Erdkern.



gionen wie dem südlichen Indischen Ozean, wo es stärker wird. Warum? Bislang ist das ein Rätsel.

Wie überhaupt die Vorgänge mysteriös sind, die tief im Erdinneren, an der Grenze zwischen Mantel und Kern, zur Bildung des Magnetfeldes führen. Die Vorstellung der Wissenschaftler: Je weiter man sich dem Erdmittelpunkt nähert, desto größer wird der hier existierende Druck, desto dichter das Material. Der Dichte-Unterschied an der Grenze zwischen Erdmantel und Kern ist vermutlich sogar größer als der zwischen Luft und Erdoberfläche.

Simulationen mit Hochdruck-Pressgeräten, sogenannten Diamantstempelzellen, haben ergeben, dass im äußeren Erdkern kein Gestein mehr existiert. Sondern Minerale, die auf der Erdoberfläche nicht vorkommen, weil der fehlende Druck sie in anderes Material umwandeln würde.

Aber auch bekannte Elemente wie Eisen enthält der Erdkern. Jürgen Koepke erklärt, woher man das weiß: Durch Berechnungen kennt man die Masse

und durchschnittliche Dichte der Erde – doch auf ihrer Oberfläche findet man überwiegend Material, das leichter als der Durchschnitt ist. Was oben fehlt, muss also in der Tiefe umso mehr vorhanden sein. »Wir wissen von Meteoriten, dass die näheren Planeten unseres Sonnensystems Eisen und Nickel enthalten. Da in der Kruste der Erde kaum Eisen zu finden ist, muss es sich weiter unten befinden. Das ist vor allem eine Frage der Massenbilanz.«

Die Metalle des äußeren Erdkerns bilden einen bis zu 5000 Grad heißen, rotierenden Brei, der sich an dem darüberliegenden festen Material des Erdmantels reibt. Diese Reibung, so die Theorie, erzeugt Ströme und das unsichtbare Magnetfeld unseres Planeten.

Und nicht nur das Magnetfeld spricht dafür, dass der äußere Erdkern flüssig ist. Nach einem Erdbeben entstehen zuerst Primärwellen (P-Wellen), danach folgen etwas verzögert sogenannte Sekundärwellen (S-Wellen). »Die S-Wellen werden in flüssigem Material nicht übertragen, und da man sie im äußeren Erdkern nie findet, muss er flüssig sein«, sagt Jürgen Koepke. »Ein perfekter Beweis ist das zwar nicht – aber den haben wir ja sowieso nicht.«

Der äußere, breiartige Teil des Erdkerns wird eines Tages erstarren, weil das Erdinnere sich allmählich abkühlt. Darin sind sich alle Experten einig. Nach neuesten Berechnungen, die ein internationales Team kürzlich im Wissenschaftsmagazin »Nature« veröffentlicht hat, wird es rund eine Milliarde Jahre dauern, bis es so weit ist. Die Forscher haben alte Gesteine untersucht und schließen aus dem Grad ihrer Magnetisierung nicht nur auf die Vergangenheit, sondern auch auf die Zukunft.

TIEFE: 5000–6400 KM

An der Grenze vom äußerem zum innerem Erdkern ist es offenbar 1000 Grad heißer, als man noch vor Jahren dachte. Das haben französische Forscher mit einem Experiment herausgefunden, bei dem sie im Labor Eisen schmelzen ließen: Ein winziges Eisenteilchen wurde in Grenoble von zwei spitzen Diamanten zusammengepresst, mit einem Druck, der zwei Millionen Mal höher ist als der Luftdruck auf der Erdoberfläche. Gleichzeitig erhitze ein Laser das verwendete Eisenteilchen – erst jenseits von 4800 Grad begann es zu schmelzen. Einen weiteren Anstieg hätte die Apparatur nicht ausgehalten. Doch Hochrechnungen haben ergeben, dass an der Grenze zwischen äußerem und innerem Erdkern rund 6000 Grad herrschen müssen.



Als er einmal das nieder-sächsische Atommüll-lager Asse besuchte, wunderte sich Martin Tzschaschel, wie warm es da unten war – dabei kam er nur 750 Meter tief.

Anders als der äußere Kern scheint der innere Erdkern nicht flüssig, sondern fest zu sein. Die Geophysiker nehmen an, dass er nicht schmilzt, weil das Material, das ihn umgibt und zusammenhält, einen zu großen Druck ausübt: bis zu 3,6 Millionen Bar. So besteht der innere Erdkern vermutlich aus einer dicken Eisen-Nickel-Kugel.

Doch offenbar ist diese Kugel keineswegs so homogen, wie man lange annahm. Als US-Forscher im vergangenen Jahr mit einer neuen Methode die Nachschwingungen von Erdbeben analysierten, machten sie eine ungewöhnliche Entdeckung: Die Verlaufsform der Wellen veränderte sich innerhalb des Kerns. Die Wissenschaftler schließen daraus, dass nur im unmittelbaren Zentrum der Erde eine homogene Kugel existiert – der restliche innere Erdkern muss anders strukturiert sein.

Im tiefen Zentrum der Erde herrscht eine Temperatur, die ähnlich hoch ist wie auf der Oberfläche der Sonne. Und ein Druck, der dem Gewicht von zwanzig Blauwalen auf einer Briefmarke entspricht.

Doch nichts in der Erde ist von Dauer. Wenn eines Tages der flüssige Brei im äußeren Erdkern erstarrt ist, wird unser Planet kein schützendes Magnetfeld mehr haben. Bis dahin kommt es auch in den höher gelegenen Erdzonen immer wieder zu Umwandlungsprozessen. Gesteine werden in tiefere Schichten befördert, um Millionen Jahre später nach oben zurückzukehren. Gebirge, Schluchten und Täler entstehen. Und verschwinden. Ob der Mensch dann noch existieren wird?

»Nun komme ich zum Schluss meines Berichts, welchem manche, so sehr sie sich auch gewöhnt haben, über nichts zu erstaunen, den Glauben versagen werden« – so beschließt Jules Verne 1864 seinen Roman »Reise zum Mittelpunkt der Erde«. Seine Helden treffen im Inneren auf Riesenpilze, kämpfende Dinosaurier und Überreste von Urmenschen, ein großes Abenteuer. Ähnlich jenem der modernen Wissenschaftler – nur dass die modernen Forscher noch nicht am Ende ihrer Reise sind.

IN KOMPAKT

Auf dem Weg zum 6370 km entfernten **Erdmittelpunkt** kam der Mensch mit Bohrungen von Land aus bisher nur 12,2 km weit – das sind nur 0,2 Prozent des Weges.

Geoforscher nutzen deshalb indirekte Quellen, die Auskunft über das Erdinnere geben. Die wichtigste: **Erdbeben**.

Ein große internationale **Meeresbohrung** soll in den kommenden Jahren zum ersten Mal den **Erdmantel** erreichen.



Erdstöße werden oft durch Eingriffe in die Natur verursacht – wie hier wegen einer Talsperre in Südchina.

Beben von Menschenhand

DIE GEFAHREN DER TIEFE Nur ein leises Grollen ist am Anfang zu hören. Doch dann zerbricht der Boden mit ohrenbetäubendem Donnern auf einer Länge von 250 Kilometern und zerstört zahlreiche Städte. Das Erdbeben in der südchinesischen Provinz Sichuan im Mai 2008 hat die Wucht von 700 Millionen Tonnen TNT und fordert mehr als 90 000 Tote. Die Hauptursache: eine Talsperre. Zum Zeitpunkt des Bebens drückte hier Wasser mit einem Gewicht von 315 Millionen Tonnen auf den Untergrund. Chinesische Experten warnen: Die Wasserlast anderer Stauseen könnte ähnliche Folgen haben. Auch in Europa gibt es Beben, die Menschen verursacht haben. Zum Beispiel im niederländischen Huizingen. Seitdem hier 2012 die Erde zitterte, sind rund 90 000 Gebäude einsturzgefährdet. »Ursache war die Gasförderung«, erklärt Rene Peters vom niederländischen Forschungsinstitut TNO. Am 20. Oktober 2004 geschah auch in Hamburg, was in dieser Region als unmöglich galt: Ein Beben der Stärke 4,5 erschütterte die Stadt, Risse durchzogen die Wände von Häusern. Seismologen ermittelten, dass die Gasförderung im nahen Rotenburg der Auslöser war. Bei der Öl- und Erdgasförderung treffen die Bohrer manchmal auf die Erdkruste, die unter extremer Spannung steht – das kann verheerende Auswirkungen haben.

Menschengemachte Beben entstehen auch, wo Reststoffe im Untergrund entsorgt werden. Die Ölfirma Statoil pumpt seit 20 Jahren Kohlendioxid, das bei der Erdgasförderung anfällt, in den Boden der Nordsee vor der norwegischen Küste. Wissenschaftler wollen das klimaschädigende Gas auch auf dem Festland unter der Erde einschließen. Der Geophysiker Christian Klose warnt: Würden wie geplant an manchen Orten jährlich 30 000 Tonnen CO₂ in den Boden gepresst, wäre nach 30 Jahren ein kritischer Schwellenwert überschritten – wie 2008 in Südchina. »Das ist gerade deshalb gefährlich, weil Stätten für die CO₂-Entsorgung vor allem dort geplant sind, wo das Treibhausgas produziert wird«, sagt Klose. »In der Nähe von Siedlungen und Kraftwerken.«

DANIELE PALU