

DAS GEDÄCHTNIS

DER STEINE

DAS GEDÄCHTNIS DER STEINE

DAS GESICHT DER ERDE VOR JAHRMILLIONEN

DERYA GÜRER

Sich bewegende steinerne Platten prägen das Gesicht der Erde – und das sowohl über lange geologische als auch über kurze menschliche Zeiträume hinweg. Doch ist die Bewegung der Erdplatten ein stetiger Prozess, oder gibt es plötzliche Ereignisse, bei denen sich die Dynamik der Platten abrupt verändert? Ein Forschungsteam der Geowissenschaften an der Universität Heidelberg geht diesen Fragen an Plattengrenzen in Gebirgsregionen und in den Tiefen der Ozeane nach. Das Ziel ist es, sowohl die aktuellen geodynamischen Prozesse zu entschlüsseln als auch die Geschichte der Erde im langen geologischen Zeitrahmen zu dokumentieren.

D

Die felsige Außenhülle der Erde, die Lithosphäre, ist nicht statisch – sie ist in ständiger Bewegung. Unterteilt ist sie in tektonische Platten unterschiedlicher Größe, die fest und starr sind, so dass sie auf dem zähflüssigen, vergleichsweise weichen äußersten Teil des Erdmantels, der Asthenosphäre, gleiten. Der deutsche Meteorologe und Polarforscher Alfred Wegener, der Anfang des 20. Jahrhunderts die Kontinentalverschiebungstheorie formulierte, fand noch keinen Mechanismus, der die Bewegung der Platten – die sogenannte Plattentektonik – erklären konnte. Erst geophysikalische und geologische Beweise wie die Entdeckung von Magnetanomalien im Ozeanboden führten in den 1960er- und 1970er-Jahren zur vollständigen Entwicklung der Plattentektoniktheorie, bei der Geolog:innen wie Arthur Holmes, Bruce

Herzen oder Marie Tharp eine wichtige Rolle spielten. Heute gilt die Plattentektonik als eine der wichtigsten Theorien in der Geowissenschaft und bildet eine grundlegende Erklärung für viele geologische Phänomene.

Es gibt zwei Arten tektonischer Platten: Platten, die hauptsächlich aus ozeanischer Kruste bestehen, sind dünner, dichter und schwerer als kontinentale Kruste, wie sie beispielsweise unsere Kontinente prägt. Die einzelnen Platten bewegen sich voneinander weg, aufeinander zu oder gleiten aneinander vorbei; durch ihre Interaktion kommt es an den Plattengrenzen zu verschiedenen geologischen Phänomenen wie Erdbeben und Vulkanismus oder Entstehung von Gebirgen oder Tiefseegräben.

Da die ozeanischen Platten schwerer und kompakter sind als die kontinentalen Platten, tauchen sie am Rand einer kontinentalen Platte unter diese ab. Dieses Abtauchen – Subduktion genannt – ist ein fundamentaler Prozess der Plattentektonik: An den sogenannten Subduktionszonen wird Lithosphäre kontinuierlich in den inneren Erdmantel zurückgeführt und so recycelt. Neue ozeanische Lithosphäre entsteht durch Meeresbodenspreizung an den „Mittelozeanischen Rücken“, den Plattengrenzen. Während ihrer Entstehung zeichnet die ozeanische Lithosphäre die Geschichte der Umkehrun-

„In der Geologie ist die Vergangenheit der Schlüssel zur Zukunft: Nur durch das Verständnis vergangener geologischer Ereignisse und Prozesse können wir die Vorgänge der Erde heute begreifen und zukünftige Entwicklungen vorhersagen.“

gen des Erdmagnetfeldes auf. Da die magnetischen Pole der Erde zwischen Nord- und Südpol hin und her wechseln, sieht das Muster, das auf dem Meeresboden aufgezeichnet wird, letztlich wie ein Barcode aus. Mit anderen Worten, die magnetische Geschichte, die in der ozeanischen Lithosphäre aufgezeichnet wird, ist eine Chronik vergangener plattentektonischer Bewegungen, die in Gestein geschrieben ist.

Mehr als die Hälfte der Erdoberfläche wird auf diese Weise alle rund 200 Millionen Jahre neu geformt. Das macht es Wissenschaftler:innen schwer, die plattentektonische Vergangenheit der Erde zu rekonstruieren: Jenseits von etwa 200 Millionen Jahren wird es unmöglich, allein die „Tapisserie“ der ozeanischen Lithosphäre zu verwenden. Weiter in der Zeit greifen Wissenschaftler:innen daher auf Informationen aus der kontinentalen Lithosphäre und Fragmenten der ozeanischen Lithosphäre zurück, die an Land erhalten sind, da sie während Gebirgsbildungsprozessen auf die Kontinente geschoben wurden.

Die Forschungsvorhaben der von mir geleiteten neuen Gruppe „Geodynamik“ am Institut für Geowissenschaften der Universität Heidelberg konzentrieren sich auf die Untersuchung von Plattengrenzen, an denen Lithosphäre entsteht und wieder zerstört wird. Die konstruktiven und destruktiven Plattengrenzen sind diejenigen Regionen, an denen tektonische Plattenbewegungen der Erdoberfläche mit der Dynamik im Erdinneren verknüpft werden können. Es sind die Orte des globalen Recyclings von Materie und Energie; sie sind verbunden mit Mineralvorkommen, Erdbeben und Vulkanausbrüchen. Somit spielen sie nicht nur wissenschaftlich, sondern vor allem auch sozioökonomisch eine große Rolle. Trotz ihrer Bedeutung bleiben viele der komplexen Prozesse, die an Plattengrenzen stattfinden, rätselhaft.

Paläomagnetik als wichtiges Puzzleteil

Eines der großen Ordnungsprinzipien der Geowissenschaften ist die Zeit. Die zeitabhängige Position der ozeanischen und kontinentalen Lithosphäre ist entscheidend für das Verständnis der Entwicklung der Erdoberfläche und des Erdinneren und hat Rückkopplungseffekte, die das globale Klima und chemische Kreisläufe beeinflussen. Wie gut wir den Zeitpunkt und die Geschwindigkeit dieses dynamischen Geschehens einschätzen können, ist also entscheidend für unser Verständnis nicht nur der geodynamischen Prozesse, sondern auch derer in der Atmosphäre und Biosphäre.

Um die Zeitskalen geologischer Prozesse nachzuvollziehen, die die Lithosphäre einst geformt haben, ist es notwendig, die Plattengrenzen von der Gegenwart bis weit in die erdgeschichtliche Vergangenheit zu rekonstruieren. Gelingen kann dieser Blick zurück mit Gesteinen und Sedimenten – den unmittelbaren Zeugen und Archivaren vergangener Ereignisse. Gesteine und Sedimente speichern die Richtung des Erdmagnetfeldes, das zum Zeitpunkt ihres Entstehens vorherrschte,



PROF. DR. DERYA GÜRER leitet die neue Forschungsgruppe „Geodynamik“ und das neue Labor für Erdmagnetismus „hei-MAG“ im Institut für Geowissenschaften der Universität Heidelberg. Bevor sie 2024 nach Heidelberg kam, war sie Lecturer für Erd- und Meereswissenschaften an der University of Queensland (Australien). Sie ist weiterhin Gastwissenschaftlerin an der Australian National University. Nach dem Studium der Geowissenschaften an den Universitäten Bonn und Oslo (Norwegen) wurde sie 2017 an der Universität Utrecht (Niederlande) promoviert. Ihre Forschung auf dem Gebiet der Tektonik konzentriert sich auf die Verformung der Erdlithosphäre entlang von Plattengrenzen über verschiedene Zeitskalen hinweg. Die Forschungsgruppe „Geodynamik“ kombiniert dazu feldbasierte Beobachtungen mit Laborexperimenten an winzigen magnetischen Mineralen.

Kontakt: derya.guerer@geow.uni-heidelberg.de

als „magnetisches Gedächtnis“. Dieses Gedächtnis lässt sich mit der sogenannten Paläomagnetik entschlüsseln – der Untersuchung der in Gesteinen und Sedimenten gespeicherten magnetischen Signale.

Die Paläomagnetik ist die einzige geowissenschaftliche Disziplin, die die zeitabhängige Position tektonischer Platten mit der Rotationsachse der Erde verknüpfen kann. Anhand der magnetischen Ausrichtung kann die ehemalige Position von Gesteinen und Kontinenten in Raum und Zeit rekonstruiert werden – es ist gleichsam so, als könne man mit Google Earth tief in die Vergangenheit zurückgehen und das Aussehen der Erdoberfläche vor Millionen von Jahren betrachten. Mit der Analyse paläomagnetischer Daten ist es also möglich, die Gesteine nicht nur zu datieren (durch die Verwendung der magnetischen Zeitskala, die einem schwarz-weißen Barcode ähnelt), sondern auch die Position vergangener Kontinente und Ozeane zu bestimmen.

Für unsere Forschungsarbeiten kombinieren wir die Ergebnisse paläomagnetischer Untersuchungen mit geologischen Aufzeichnungen von kontinentaler und ozeanischer Kruste. Damit wollen wir zur „Paläogeographie“ beitragen, demjenigen Teilgebiet der Geowissenschaften, das erforscht, wie die Erde in der tiefen Vergangenheit ausgesehen hat. Diese Forschung kann das derzeitige Wissen über die älteste erhaltene Ozeankruste hinaus erweitern – was die Grundlage für künftige Arbeiten in der Tektonik und Geodynamik bildet.

Unsere Gruppe „Geodynamik“ baut für ihr Forschungsvorhaben das neue „hei-MAG“-Labor für Erdmagnetismus auf. Es verfügt über eine moderne paläomagnetische Ausrüstung, darunter ein empfindliches supraleitendes Quanteninterferenz-Magnetometer, das präzise Magnetfeldmessungen an Sediment- und Gesteinsproben ermöglicht. In Kombination mit den bereits vorhandenen Geo- und Thermochronometern, den Instrumenten zur Mikrobildgebung sowie den Mikroanalysetechniken wird die neue Ausstattung die Untersuchung geodynamischer Prozesse sowohl an der Erdoberfläche als auch in der Tiefe ermöglichen – von der Skala kleiner Körner bis zu ganzen Platten und über Zeiträume von Sekunden bis zu Millionen von Jahren.

Proben vom Meeresgrund

Trotz ihrer großen zerstörerischen Kraft und Bedeutung für das Verständnis der Plattentektonik bleiben die komplexen zugrunde liegenden Prozesse von an Plattengrenzen gebundenen Erdbeben größtenteils rätselhaft. Als Teil eines internationalen Forschungsteams war ich im Herbst 2024 zwei Monate lang auf dem japanischen Tiefseeforschungsschiff „Chikyu“. Ziel dieser Forschungsexpedition war es, die Bedingungen, Prozesse und Eigenschaften großer flacher Verwerfungen in Subduktionszonen, die zu Tsunamis führen können, zu entschlüsseln. Das internationale Wissenschaftler:innenteam der Expedition 405 „JTRACK“ (Tracking Tsu-

„Die magnetische Geschichte, die in der ozeanischen Lithosphäre aufgezeichnet wird, ist eine Chronik vergangener plattentektonischer Bewegungen, die in Gestein geschrieben ist.“

namigenic Slip Across the Japan Trench) untersucht speziell die Subduktionszone, die mit dem Tōhoku-oki-Seebeben in Verbindung steht, das sich im März 2011 im Japangraben ereignete und zu einer dreifachen Katastrophe führte: Der mit dem Beben mit einer Magnitude von 9.0 verbundene Tsunami erreichte Höhen bis zu 40 Meter, verwüstete die Nordostküste Japans auf einer Fläche von 500 Quadratkilometern, forderte mehr als 20.000 Menschenleben und löste die Reaktorkatastrophe im Atomkraftwerk Fukushima aus.

Eine Verwerfung mit einem Versatz von bis zu 50 Metern entlang der Subduktionsgrenze führte zur Verlagerung des Meeresbodens in der Nähe des Tiefseegrabens und verursachte den Tsunami. Ein derart großer Tsunami und ein so umfangreicher Verwerfungsversatz waren für die Region nicht vorhergesagt – was die Grenzen des Verständnisses der Mechanik von Subduktionszonen-Erdbeben verdeutlicht. Um diese Prozesse besser zu verstehen, entnahm das Forschungsteam auf der „Chikyu“ Bohrkerne von der Plattengrenze aus Wassertiefen bis zu 7.000 Metern und 900 Metern unter dem Meeresboden.

Wenn Gesteine während eines Erdbebens abrupt aneinander vorbeigleiten, werden große Mengen an Energie frei. Die Reibung, die mit dieser Bewegung verbunden ist, erzeugt Wärme und zermürbt Gestein, was neue Wegsamkeiten für Flüssigkeiten schafft. Dadurch kann es zur Bildung und Veränderung von Mineralen kommen, einschließlich magnetischer Minerale. Anhand charakteristischer Signaturen, die von magnetischen Mineralen in der Schadenszone aufgezeichnet wurden, werde

ich die Hitze entlang der Verwerfungen und die Bedingungen des Flüssigkeitsflusses während des Tōhoku-oki-Bebens rekonstruieren.

Zurück an unseren jeweiligen Heimatinstitutionen konzentrieren meine Teamkolleg:innen der Expedition und ich uns darauf, Beobachtungen über verschiedene räumliche und zeitliche Skalen hinweg zu integrieren – von der Korngröße bis hin zur Plattengröße und von Sekunden bis zu Millionen von Jahren. Die neuen Erkenntnisse werden es uns letztlich ermöglichen, die Faktoren einzugrenzen, die zu großen, flachen Erdbeben in Subduktionszonen führen, und die Magnitude zukünftiger Ereignisse genauer abzuschätzen.

In der Geologie ist die Vergangenheit der Schlüssel zur Zukunft: Nur durch das Verständnis vergangener geologischer Ereignisse und Prozesse können wir die Vorgänge der Erde heute begreifen und zukünftige Entwicklungen vorhersagen. ●

CARVED IN STONE

THE FACE OF THE EARTH THROUGH THE AGES

DERYA GÜRER

Tectonic plates are in perpetual motion, constantly reshaping the Earth's surface over vast geological – and even within short human – timescales. How do tectonic plates shuffle and shape the face of our planet? Is it a steady, gradually evolving process, or are there sudden events where pronounced changes in the motion of tectonic plates take place? A research team from the Department of Earth Sciences at Heidelberg University is investigating these questions at plate boundaries in mountainous regions and in the depths of the oceans. Their goal is to decipher current geodynamic processes while also documenting the Earth's history over long geological timescales. ●

PROF. DR DERYA GÜRER heads the new research group “Geodynamics” and the new lab for Earth magnetism “hei-MAG” at Heidelberg University’s Institute of Earth Sciences. Prior to moving to Heidelberg in 2024, she was a lecturer in Earth and Marine Science at the University of Queensland (Australia). She remains a visiting fellow at The Australian National University. After studying Earth Sciences at the universities of Bonn and Oslo, she received her PhD in tectonics at Utrecht University in 2017. Her research in the field of tectonics focuses on the deformation of Earth’s lithosphere along plate boundaries over various timescales. Derya Güler’s research combines field-based observations with laboratory-based experiments.

Contact: derya.guerer@geow.uni-heidelberg.de

“In geology, the past is our key to the future: only by understanding past geological activities and processes can we comprehend present events and predict future developments on Earth.”