

NEUMAYER-STATION III

Foto: AwI / Jölund Asseng

GEOPHYSIKALISCHES OBSERVATORIUM

GEOPHYSIK

Wie funktioniert unsere Erde?

Seit Urzeiten versuchen die Menschen, Naturphänomene zu verstehen und bauen Observatorien für deren exakte Beobachtung. Zu den ersten bekannten Observatorien gehört Stonehenge in England, das vermutlich zu genauen astronomischen Beobachtungen und damit exakten Zeitmessungen und Erstellung von Kalendariendiente.

Aber auch Naturkatastrophen wurden bereits früh aus der Ferne beobachtet. Erste Messungen von Erdbeben etwa wurden bereits im 2. Jahrhundert in China gemacht. Mit einfachen Instrumenten konnten große Beben in mehreren Tagesritten Entfernung gemessen und sogar ihre Richtung bestimmt werden.

Observatorien der Neuzeit entstanden Mitte des 19. Jahrhunderts. Britische magnetische Observatorien bestimmen seit 1836 regelmäßig die Abweichung des magnetischen Kompasses von geografisch Nord und können so eine zuverlässige Navigation von Schiffen sicherstellen.

Das zeigt, dass das Verständnis der Natur enormen praktischen Nutzen hat. Die Basis dafür bildet die Grundlagenforschung mit der Suche nach Antworten auf elementare Fragen, wie:

Wie sieht es im Inneren unserer Erde aus? Warum gibt es Erdbeben? Wo und in welcher Stärke erwarten wir Erd-

beben? Warum sind Vulkane dort, wo sie sind? Wie hoch ist das Risiko von neuen Ausbrüchen? Wie entsteht das Erdmagnetfeld? Wie verändert sich das Magnetfeld? Welche Folgen hat das für uns? Um diese Fragen beantworten und Risiken abschätzen zu können, müssen wir die Prozesse im Erdinnern verstehen. Das Geophysik Observatorium an der Neumayer-Station III trägt dazu mit Langzeitmessungen seit 1990 bei und legt den Fokus auf die Beobachtung des Erdmagnetfeldes und die Registrierung von Erdbeben.

Warum brauchen wir geophysikalische Langzeitbeobachtungen in der Antarktis?

Viele Prozesse in unserem Erdsystem laufen auf langen Zeitskalen ab. Sie reichen von Tagen über Jahre und Jahrzehnte bis hin zu Jahrtausenden und Jahrmillionen. Um diese Prozesse zu erkennen und zu beschreiben, werden lange Zeitreihen in hoher Präzision benötigt. Zeiträume über Jahrmillionen können wir natürlich nicht messen, aber Veränderungen auf diesen Zeitskalen haben ihre Spuren in Gesteinen hinterlassen, so dass wir ihre Geschichte rekonstruieren und dann mit heutigen Daten vergleichen können. Durch historische Messungen ist zum Beispiel belegt, wie sich das Erdmagnetfeld über Jahrhunderte verändert hat.

Zum Verständnis von globalen Prozessen werden auch globale Messnetze benötigt. Die Datenabdeckung und räumliche Verteilung von Instrumenten spielt eine wichtige Rolle bei der Beobachtung von diversen Phänomenen. So werden beispielsweise Polarlichter als Ausdruck starker Wechselwirkungen des Sonnenwindes mit dem Erdmagnetfeld meistens nur in Polarregionen beobachtet. Daten aus der Antarktis sind hierfür besonders wertvoll, da es in dieser Region nur sehr wenige Stationen gibt. In der Antarktis gibt es etwa 43 ganzjährig besetzte Stationen, aber nur 14 davon messen Erdbeben und sogar nur 7 das Erdmagnetfeld. Zum Vergleich: Im flächenmäßig etwa gleich großen Europa gibt es 33 Magnetik-Observatorien und über 1800 permanente Erdbebenobservatorien.

Magnetik

Was ist das Erdmagnetfeld?

Das Erdmagnetfeld ähnelt in erster Näherung einem Dipolfeld, also dem Feld eines Stabmagneten. Es umschließt die Erde und dehnt sich bis weit in den Weltraum aus. Seinen Ursprung hat es in elektrischen Strömen im flüssigen äußeren Erdkern, die das Feld erzeugen und für dessen räumliche und zeitliche Veränderungen sorgen. Besonders spannend sind dabei Abweichungen vom klassischen symmetrischen Dipolfeld, die zu den sogenannten magnetischen Anomalien führen, das sind Gebiete mit besonders starkem oder schwachem Magnetfeld. Neben den räumlichen Veränderungen gibt es auch zeitliche Veränderungen. So führen derzeit langsame Veränderungen im Erdinneren zu einer Abschwächung des Feldes von etwa 7% pro Jahrhundert und zu schnellen Wanderungen der magnetischen Pole von etwa 130m pro Tag.

Um diese Veränderungen messen zu können und damit zukünftige Entwicklungen zu prognostizieren, werden Langzeitobservatorien benötigt, die möglichst gleichmäßig über den Globus verteilt sind, also auch die Antarktis und Arktis abdecken. Seit 1983 wird an Neumayer das Magnetfeld beobachtet und seit 2014 sind wir, in Kooperation mit dem GFZ, ein Mitgliedsobservatorium von INTERMAGNET, der internationale Vereinigung, die die Datengrundlage und -qualität für globale Erdmagnetfeldmodelle sichert.

Welchen Einfluss hat das Erdmagnetfeld?

Schon seit langer Zeit wird das Magnetfeld der Erde zur Orientierung mittels Kompass genutzt und spielte eine entscheidende Rolle in der Entwicklung der Seefahrt. Aber selbst heute, in Zeiten der einfachen Positionierung durch GPS, ist die präzise Richtungsbestimmung per Kompass nicht wegzudenken. Wenn Satelliten ausfallen, ist die klassische Navigation die einzig verlässli-

che. Ob Smartphones, Navigationssysteme in Luft- und Seefahrt oder Bohrungen und Bergbau, sie alle stützen sich auf das „International Geomagnetic Reference Field“, das alle fünf Jahre auch mit Daten von der Neumayer-Station III in einer internationalen Kooperation erstellt wird. Mit diesem Model werden die Messwerte von Kompassen korrigiert und so eine exakte Richtungsbestimmung ermöglicht.

Das Magnetfeld hat aber noch eine weitere wichtige Funktion: Es schützt unsere Erde vor dem Sonnenwind, einem hochenergetischen Teilchenstrom, der von der Sonne ausgeht. Da die Teilchen elektrisch geladen sind, werden sie vom Erdmagnetfeld ablenkt und gelangen nur selten bis zu uns auf die Erdoberfläche.

Bei besonders starker Sonnenaktivität, wird der Sonnenwind zum Sonnensturm und es entstehen male-riche Polarlichter. Für unsere technische Welt sind diese Sonnenstürme jedoch nicht immer harmlos. Die hochenergetischen, geladenen Teilchen können Satelliten beschädigen, Kommunikationsgeräte stören und Stromnetze lahmlegen. Der letzte starke Sonnensturm mit größeren technischen Ausfällen war der sogenannte Halloween-Sturm 2003, der unter anderem mehrere Satelliten beschädigte.

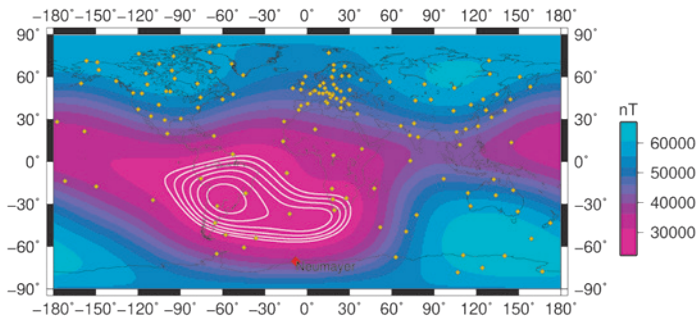


Langzeitbelichtung eines Polarlichtes an Neumayer während eines Sonnensturms. Foto: AWI / S. Christmann

Welche Folgen hat die Abnahme des Erdmagnetfeldes?

Die Stärke des Erdmagnetfeldes nimmt seit mindestens 200 Jahren kontinuierlich ab. Dadurch wird dieses Schutzschild der Erde schwächer und es wird erwartet, dass Sonnenstürme häufiger zu technischen Schäden führen werden als bisher.

Aus paläomagnetischen Studien wissen wir, dass sich das Erdmagnetfeld in der Vergangenheit immer wieder umgepolt hat. Statistisch gesehen, ist eine erneute Umpolung seit etwa 530.000 Jahren überfällig. Wie genau so ein Polsprung abläuft, wissen wir nicht. Verschiedene Modellrechnungen prognostizieren einen chaotischen Zwischenzustand mit Ausbildung von Quadrupolen, dessen Schutzwirkung gegen Sonnenwind stark gemin-



Feldstärke des Erdmagnetfeldes nach dem IGRF-Model (International Geomagnetic Reference Field) mit den Magnetik-Observatorien in gelb und Neumayer in rot. Die weißen Konturen heben das ungewöhnlich schwache Feld im Bereich der Südatlantik-Anomalie hervor und zeigen die besondere Lokation unseres Observatoriums.

derzeit ist. Derzeit beobachten wir eine markante Schwächung des Magnetfeldes über dem Südatlantik, die die beginnende Ausbildung eines Quadrupols sein könnte. Hier sind die Daten des Observatoriums der Neumayer-Station besonders wertvoll, da es kaum Stationen am Südrand dieser Anomalie gibt.

Direkte Satelliten-Messungen der solaren Aktivität zusammen mit Messungen erdgebundener Observatorien ermöglichen es, den Einfluss von Sonnenstürmen auf das Erdmagnetfeld immer besser vorherzusagen. Somit können auch die Folgen eines schwächer werdenden Magnetfeldes besser prognostiziert werden.

Seismologie

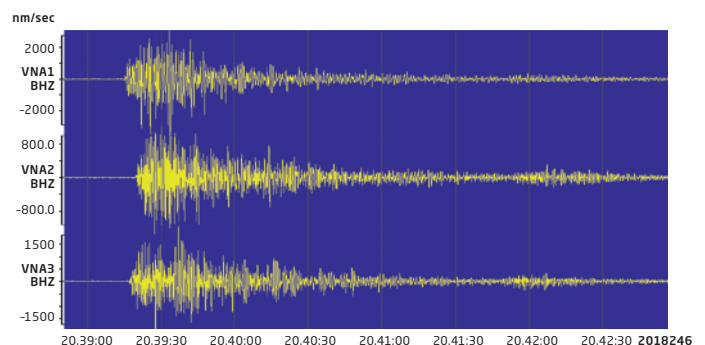
Was ist Seismologie?

Seismologie ist die Lehre von Erdbeben. Sie stützt sich auf Messungen von Bodenbewegungen, die von modernen Seismometern im Bereich von Nanometern registriert werden können. So werden größere Erdbeben, die lokal verheerende Schäden anrichten können, auf der gesamten Erde erfasst. An der Neumayer-Station III beobachten wir zum Beispiel viele Erdbeben aus dem 15.000 km entfernten Japan. Zu den wichtigsten Aufgaben der Seismologie gehören die genaue Berechnung von Erdbebenorten (Epi- und Hypozentrum) und die Abschätzung der Erdbebengefährdung.

Erdbeben sind zwar auf der einen Seite zerstörerisch, senden aber auf der anderen Seite seismische Wellen aus, die durch den gesamten Erdkörper laufen und Aussagen über den Aufbau des Erdinneren ermöglichen. So wissen wir aus Erdbebenaufzeichnungen, dass die Erde schalenförmig aufgebaut ist, der äußere Erdkern flüssig ist und deshalb das Erdmagnetfeld erzeugen kann.

Um ein detailliertes Bild des Erdinneren zu bekommen, benötigen wir ein möglichst dichtes, gleichverteiltes

Netz von Messstationen. Durch das stark gewachsene globale Netzwerk von Seismometern konnte im letzten Jahrhundert gezeigt werden, wie zum Beispiel Vulkanismus aus dem Erdinneren gespeist wird. Moderne Auswertungen dieser Messungen verdeutlichen, wie stark die Prozesse im Erdinneren mit Vorgängen an der Oberfläche gekoppelt sind und geben Antworten auf grundlegende und praktische Fragen, wie: Warum bewegen sich die Kontinente? Warum gibt es Zonen mit verstärkter Erdbebenaktivität und Vulkanismus? Welches Risiko besteht für die Zukunft?



Registrierung eines Erdbebens an den drei AWI-Stationen VNA1, VNA2 und VNA3

Welchen Einfluss haben Krusteneigenschaften?

Durch seismologische Messungen können nicht nur globale Erdmodelle berechnet, sondern auch Rückschlüsse auf lokale Eigenschaften der Erdkruste gezogen werden. Dabei sind die Mächtigkeit der Erdkruste und die Fließfähigkeit des darunter liegenden Erdmantels besonders wichtig. Mit dem Wissen um die Verformbarkeit der Erdkruste können Aussagen über ihr Verhalten bei Veränderungen des Eisschildes gemacht werden. Eine Abnahme der antarktischen Eismasse entlastet die darunterliegende Erdkruste und führt zu deren Hebung. Das Verständnis dieser Prozesse und deren Dynamik ist grundlegend für eine bessere Berechnung der Massenbilanz der Eisschilde und die Abschätzung der davon ausgehenden globalen Folgen, wie die Veränderung des Meeresspiegels.

Welche Bedeutung haben lokale Beben in der Antarktis?

Obwohl die Gefährdung durch Erdbeben in der Antarktis sehr gering ist, ist der große Aufwand für seismologische Messungen hier gerechtfertigt. Die lokale Seismizität, also die Erdbebenhäufigkeit, gibt uns zum Beispiel Aufschluss über die Geologie der Antarktis, die sich wegen der Eisbedeckung einer direkten Beobachtung entzieht. Zonen mit hoher Seismizität deuten auf geologisch aktive Gebiete hin, die auch durch einen höheren geothermalen Wärmefluss charakterisiert sind. Dieser kann zu einem verstärkten Schmelzen an der Basis des Eisschildes führen. Subglaziale Seen wie Lake Vostok

sind ein typisches Beispiel hierfür. Ein Wasserfilm an der Basis von Eisströmen kann für ein beschleunigtes Fließen sorgen und somit für einen rascheren Anstieg des Meeresspiegels.

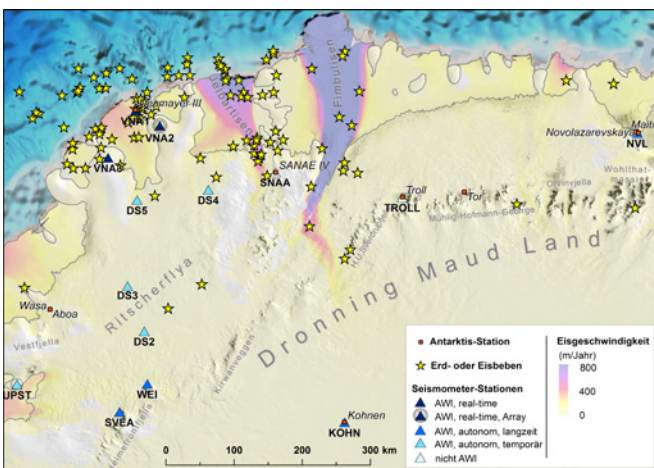
Lokale Beben weisen auch auf Hebungsereignisse des Kontinents hin. Zwar können wir Hebungsraten heute auch direkt mit GPS messen, allerdings sind nur 2% der Antarktis eisfrei und damit für GPS Messungen geeignet. Hebungsbeben können mit Seismometern aber überall gemessen werden und so auch Krustenblöcke mit unterschiedlicher Geologie und Hebungsraten abbilden.

Zum anderen hat sich in den letzten Jahren ein neues Forschungsfeld aufgetan, das sich mit Eisbeben be-

schäftigt, also Beben, die vom und im Eis erzeugt werden. Diese Eisbeben geben direkte Hinweise auf die Eisdynamik und eröffnen ganz neue Möglichkeiten, Prozesse in einem Eisschild zu verstehen. Wie werden zum Beispiel die schwimmenden Schelfeise von Meereszeiten beeinflusst? Können wir Schwächezonen erkennen und das nahende Abbrechen großer Schelfeise voraussagen? Wie verändert sich der Spannungszustand der Eisschilde? Wie gleiten große Eisströme über den Untergrund?

Was bringt die Zukunft?

Die geophysikalischen Beobachtungen der Neumayer-Station III leisten also einen wichtigen Beitrag zu einer Reihe von Fragestellungen. Die kontinuierlichen Messreihen in bekannter und gleichbleibend hoher Qualität ermöglichen erst, Veränderungen von Magnetfeld und Seismizität zu erkennen, die sich in den von uns überschaubaren Zeiträumen oft nur sehr langsam ereignen und sehr gering sind. Diese Veränderungen helfen, die zugrunde liegenden Prozesse im Erdsystem zu verstehen und sind für die Modellierung der zu erwartenden Veränderungen in der Zukunft von größter Bedeutung. Das begründet die anhaltende Notwendigkeit von Langzeitobservatorien. Ihr Wert wird im Vergleich zu kurzfristigen, projektgetriebenen Vorhaben häufig unterschätzt, erfordern sie doch deutlich längeren Atem und produzieren Erkenntnisse in größeren zeitlichen Abständen. Die Anwendung weiterentwickelter oder neuer Auswertemethoden im Zuge der digitalen Revolution sorgt für eine nachhaltige Nutzung der wertvollen Langzeitmessreihe.



Die Karte zeigt Epizentren von Eis- und Erdbeben, die an Neumayer gemessen wurden. Im Hintergrund ist die Fließgeschwindigkeit des Eises farblich kodiert dargestellt. Der Zusammenhang von Seismizität und Fließgeschwindigkeit wird besonders am Jelbartisen deutlich.



Wartungsaufenthalt an einer autonomen Seismometer-Station

Foto: AWI / J. Asseng

Kontakt zum AWI-Experten



Dr. Tanja Fromm
Tel: 0471 4831-2009
E-Mail: Tanja.Fromm@awi.de



Jölund Asseng
Tel: 0471 4831-2150
E-Mail: Joelund.Asseng@awi.de



Dr. Alfons Eckstaller
Tel: 0471 4831-1209
E-Mail: Alfons.Eckstaller@awi.de

Herausgeber: Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Am Handelshafen 12, 27570 Bremerhaven