

GEODYNAMIK

# Eigenschwingungen der Erde in Berchtesgaden

DAS DEUTSCHE GEODÄTISCHE FORSCHUNGSINSTITUT BETREIBT IM SALZBERGWERK BERCHTESGADEN EIN ERDGEZEITENLABOR MIT EINEM 30-METER-VERTIKALPENDEL, UM EIGENSCHWINGUNGEN DER ERDE ZU MESSEN.

VON MATHIS BLOSSFELD  
UND MICHAEL SCHMIDT

Im Salzbergwerk Berchtesgaden betreibt das Deutsche Geodätische Forschungsinstitut (DGFI) ein Erdgezeitenlabor. Der Standort Berchtesgaden wurde für ein solches Labor gewählt, weil aus geologischer Sicht das Gestein dieser Gegend eine gute Ankopplung an die Erdkruste hat und somit eine gute Übertragung von Bewegungen der Erde auf die Erdkruste erfolgt. Zudem bietet sich im dort gelegenen Salzbergwerk die Möglichkeit, die geodätischen Instrumente in einem von der Öffentlichkeit abgeschirmten Bereich zu betreiben. Der nicht mehr bewetterte Schacht, in dem die Instrumente stehen, bietet einen guten Schutz vor Temperatur- oder Luftdruckschwankungen, und das hygroskopische Gestein hält die Luftfeuchtigkeit im Messlabor auf einem konstant niedrigen Niveau.

## Ein 30 Meter langes Pendel im Salzbergwerk

Unter anderem ist im Bereich dieses Labors ein 30 Meter langes Pendel senkrecht aufgehängt, das es erlaubt, Bewegungen des Untergrundes, also der Erdkruste, sehr genau zu messen. Diese Bewegungen können eine Vielzahl von Ursachen haben. Zum einen wird die Erde durch äußere Kräfte und Drehmomente und zum anderen durch schlagartige Ereignisse wie z. B. ein Erdbeben in Schwin-

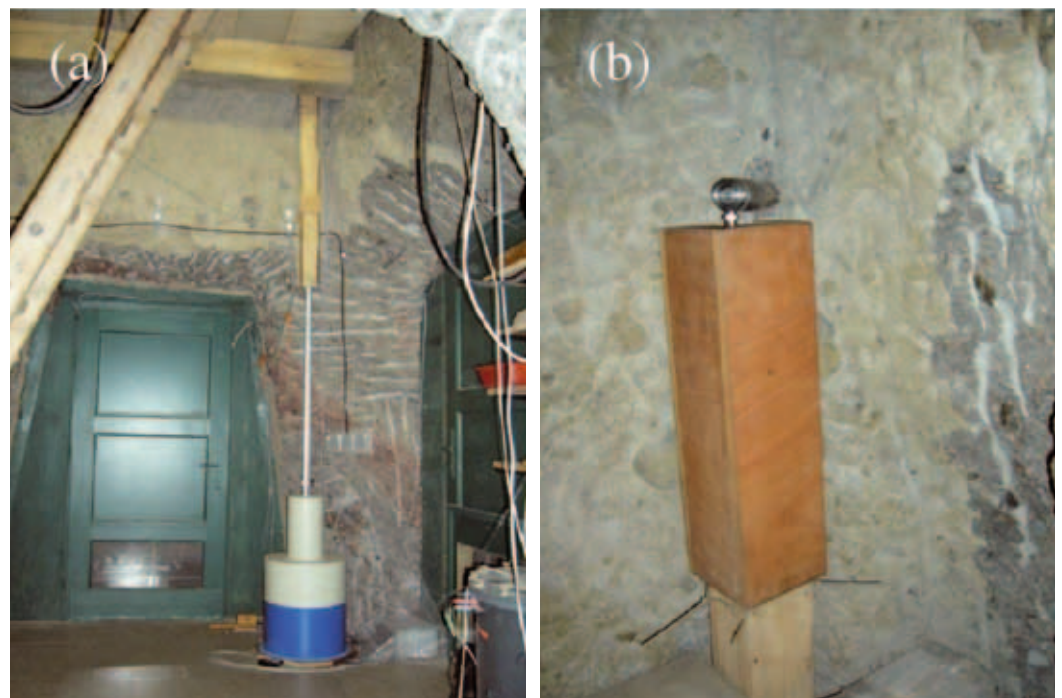
gungen versetzt, die global mit verschiedenen Instrumententypen messbar sind. Unter äußere Kräfte und Drehmomente fallen z. B. die Anziehungskräfte von Sonne und Mond auf den Erdkörper. Aber auch innerhalb der Erde gibt es Anregungsmechanismen, die Einfluss auf das Rotationsverhalten der Erde und die Deformationen der Erdkruste haben. Wäre die Erde ein anelastischer Körper und würden keine ozeanischen oder atmosphärischen Anregungsmechanismen wirken, wäre die Periode der Kreisbewegung der Rotationsachse um den Pol nach Euler ungefähr 305 Tage. Da die Erde aber ein deformierbarer Körper ist und die oben genannten Anregungen auf die Erdrotation wirken, braucht die

Rotationsachse ungefähr 435 Tage (Chandler-Periode) für einen Umlauf um den Pol.

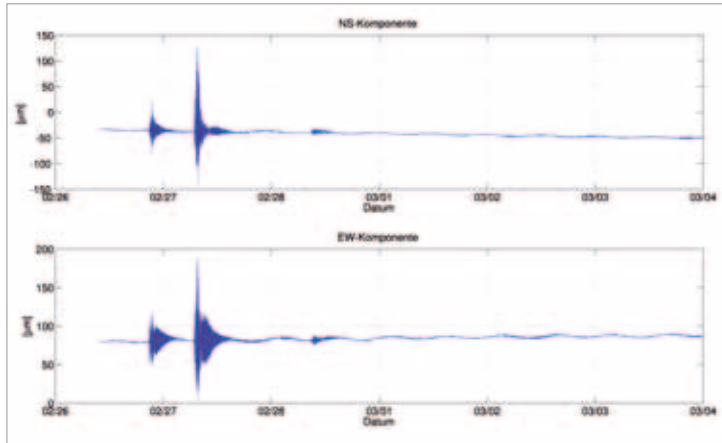
## Kreisel- und elastische Eigenschwingungen der Erde

Die Schwingungen, die durch externe Kräfte angeregt werden, nennt man Kreiseleigenschwingungen. Bewegungen, die durch schlagartig auftretende Ereignisse wie z. B. ein Erdbeben angeregt werden, nennt man elastische Eigenschwingungen. Diese werden aber nur angeregt, wenn das Erdbeben eine Magnitude von größer als 6,5 auf der Richter-Skala hat. Allgemein unterteilt man die Eigenschwingungen ihrer Bewegungsrichtung nach in sphäroidale

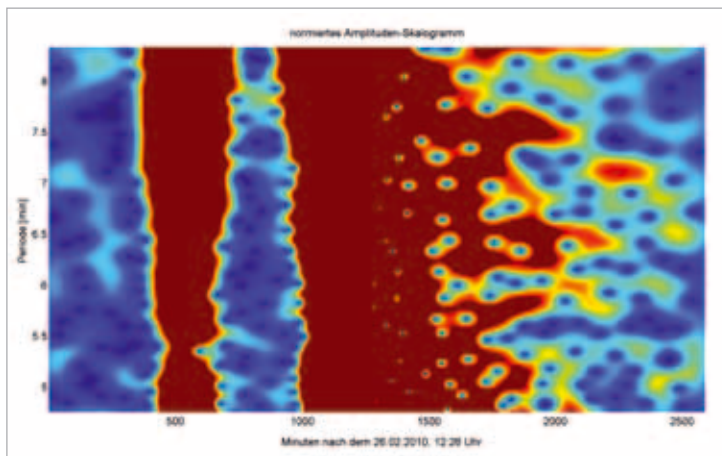
**Abb. 1: (a) Messkammer im Salzbergwerk Berchtesgaden mit der Schutzvorrichtung, unter der die Pendelmasse und die Ableseeinheit sitzen. (b) Die Aufhängung des Pendels in 30 m Höhe.**



**Abb. 2:** Oben das gemessene Pendelsignal in Nord-Süd-Richtung (NS-Komponente) und unten in Ost-West-Richtung (EW-Komponente) über einen Zeitraum von sechs Tagen vom 26. 2. 2010 bis zum 4. 3. 2010.



**Abb. 3:** Normiertes Amplituden-Skalogramm der gemessenen Erdbebensignale. Dunkelrot bedeutet eine hohe Amplitude, blau ist eine niedrige Amplitude.



Mode mit einer Periode von ungefähr 20 Minuten, bei der die Erde sich wie ein Ballon aufbläht.

**Messung des Erdbebens in Chile**

Am 27. Februar 2010 ereignete sich an der Küste von Chile ein Erdbeben mit einer Magnitude von 8,8 auf der Richter-Skala. Die Stärke des Erdbebens war ausreichend groß für eine Anregung von elastischen Eigenschwingungen. Die Schockwellen des Erdbebens liefen ausgehend vom Erdbebenherd sternförmig entlang der Erdoberfläche (Oberflächenwellen) und durch die Erde hindurch (Raumwellen) auseinander.

Wie in Abbildung 2 zu erkennen ist, gab es in der Nacht vom 26. auf den 27. Februar 2010 innerhalb von ein paar Stunden zwei verschiedene Erdbeben. Der erste Ausschlag des Pendels gehört zum Erdbeben auf den Ryukyu Inseln in Japan, der zweite Ausschlag des Pendels sind die in Berchtesgaden ankommenden Wellen des Erdbebens in Chile. Die maximale Auslenkung im Salzbergwerk betrug in Nord-Süd-Richtung 0,15 mm, in Ost-West-Richtung 0,1 mm.

In Abbildung 3 ist das gemessene Signal als Wavelet-Skalogramm dargestellt. In diesem Skalogramm kann man die Perioden der Eigenschwingungen und das zeitliche Verhalten ihrer Amplituden nachvollziehen. Man kann deutlich die zwei aufeinander folgenden Erdbeben anhand ihrer hohen Amplituden (rot eingefärbt) erkennen. Die Eigenschwingungen werden nach dem zweiten Beben angeregt und klingen mit der Zeit ab. Aufgrund des für jeden Messort charakteristischen Abklingverhaltens kann man Rückschlüsse über geophysikalische Parameter der inneren Erde wie z. B. Elastizität oder Viskosität ziehen.



und toroidale Moden. Sphäroidale Moden beschreiben dabei Bewegungen mit, relativ zur Erdkruste gesehen, radialen und tangentialen Bewegungskomponenten, welche nur mit Gravimetern und Seismographen messbar sind. Toroidale Moden hingegen beschreiben eine tangentiale Bewegung, die mit Pendeln und mit Spannungsmessern gemessen werden kann. Ein Spannungsmesser misst dabei die Abstandsänderung zwischen zwei fest mit dem Boden verbundenen Punkten, die je nach Gerät Zentimeter oder Kilometer voneinander entfernt sind.

Das vertikale Pendel ist in einer Höhe von ungefähr 30 m über dem Boden an einem Aufhängedorn befestigt. Von dort aus führt ein 30 m langer Draht, der aus verformungs-

armem Invar besteht, bis knapp über den Boden der Kammer (siehe Abb. 1). Am Ende dieses Drahts hängt eine 20 kg schwere Pendelmass, an deren unterem Ende zwei senkrecht aufeinander stehende Metallbolzen befestigt sind. Diese Metallbolzen sind genau nach Norden bzw. Osten ausgerichtet und ermöglichen es, das gemessene Signal in zwei senkrecht aufeinander stehende Bewegungskomponenten aufzuteilen.

Die tiefste Frequenz (Periode von 54 Minuten) der Eigenschwingungen der Erde hat die so genannte „Football“-Mode. Bei ihr schwingt die Erde stark übertrieben zwischen der Form eines amerikanischen Footballs und eines Kürbisses hin und her. Nur radiale Bewegungskomponenten hat die „breathing“-

*Die beiden Autoren sind wissenschaftliche Mitarbeiter des Deutschen Geodätischen Forschungsinstituts (DGFI), das der Deutschen Geodätischen Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften angegliedert ist.*