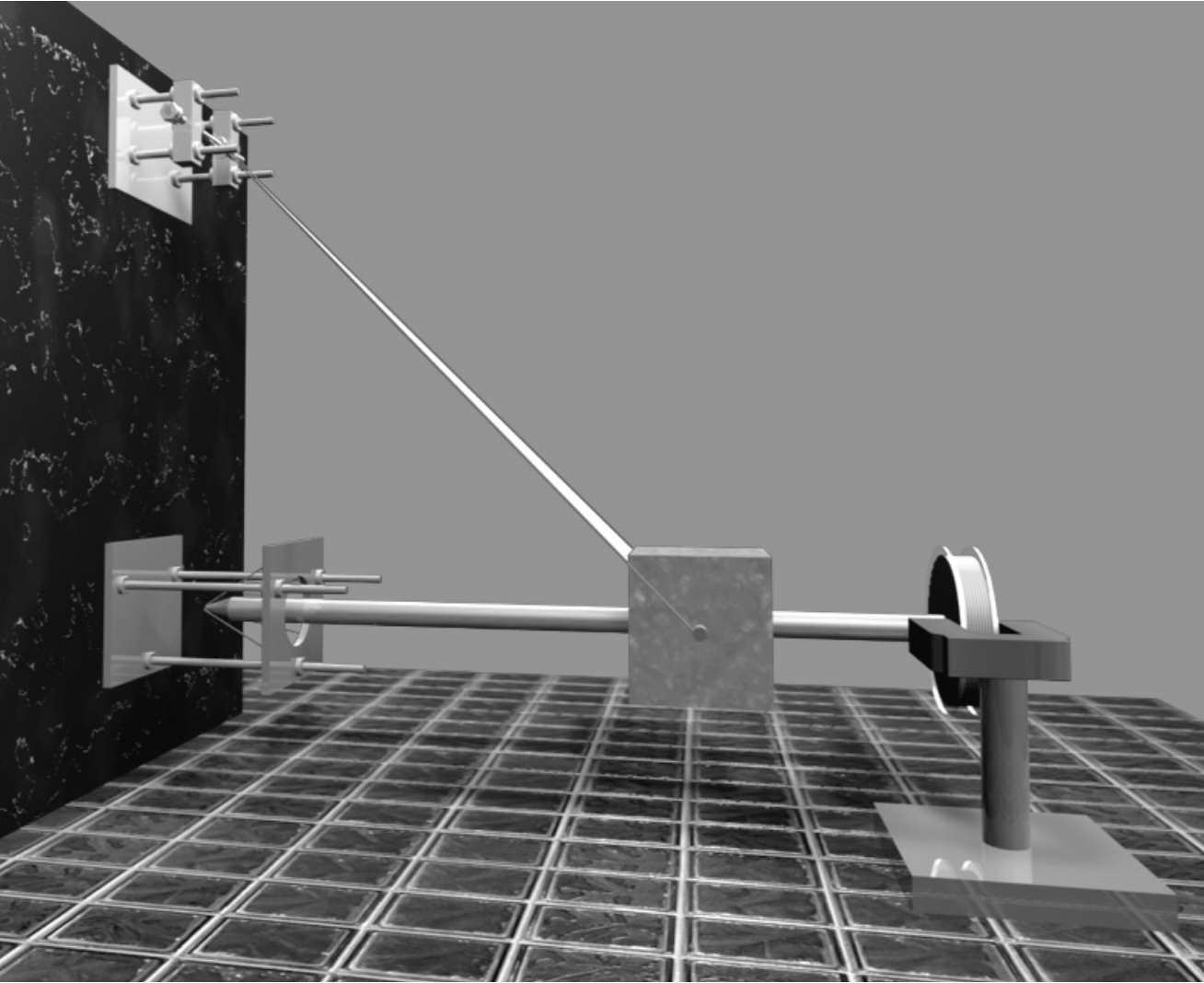




Erdbebenmessung in Deutschland

Lernziele

Die erdbebengefährdeten Gebiete Deutschlands und die tektonische Lage Europas kennen lernen; verstehen wie Erdbeben entstehen; verschiedene Arten von Erdbebenwellen kennen lernen; das Prinzip der Trägheit der Masse verstehen; ein Seismometer in einer Schule und eine professionelle Erdbebenstation kennen lernen; erfahren, wie Erdbeben lokalisiert werden und deren Magnitude auf der Richter-Skala bestimmt wird.

Vorkenntnisse

Grundlagen der Plattentektonik; topographische Lage der vorgestellten erdbebengefährdeten Gebiete (Oberrheingraben, Hohenzollerngraben, Rurtalgraben, Egergraben); mechanische Schwingungen erzeugen, hören, fühlen.

Zum Inhalt

1. Erdbeben in Deutschland

Erdbeben sind in Deutschland keine Seltenheit. Pro Jahr ereignen sich in und um Deutschland etwa 30 Beben mit einer Magnitude größer 3. Besonders häufig betroffen ist die *Alpenregion*, von hier zieht sich entlang des *Rheingrabens*, vom Oberrhein bis zur Niederrheinischen Bucht, ein Gebiet erhöhter Erdbebenaktivität. Östlich des Oberrheins, in der Schwäbischen Alb, liegt der *Hohenzollerngraben*. 1978 bebte hier (Albstadt) die Erde mit einer Magnitude von 5,9. Westlich der Stadt Köln beginnt der *Rurtalgraben*, der bis in die Niederlande reicht und ebenfalls häufig von Erdbeben betroffen ist. Das Beben von Roermond 1992 mit einer Magnitude von 5,9 erschütterte die Region so stark, dass es selbst in London und in München spürbar war. Auch der *Egergraben* und das Vogtland im deutsch-tschechischen Grenzgebiet werden von vielen schwachen Erdbeben heimgesucht, die in sehr kurzen Zeitabständen auftreten. Diese als

Schwarmbeben bezeichneten Erdbeben entstehen an zuletzt vor 1,5 Millionen Jahren aktiven Vulkanen, deren langsam zusammenfallende Magmareservoirs für die Erdbeben verantwortlich sind.

Ursache für die meisten Erdbeben ist jedoch die *geotektonische Lage Mitteleuropas*. Die Afrikanische Platte wandert langsam Richtung Norden und übt so Druck auf die Eurasische Platte aus. Aufgrund dieser Bewegung sind im Laufe der letzten 30 Millionen Jahre durch Hebungsprozesse die Alpen entstanden. Dieser Prozess hält noch heute an - in manchen Regionen mit bis zu 3 mm pro Jahr - und ist die Ursache für die hier registrierten Erdbeben. Auch Dehnungsprozesse werden durch die Bewegung der Afrikanischen Platte verursacht. Die Eurasische Platte versucht, dem Druck auszuweichen, eine Schwächezone der Erdkruste entsteht. Hier entstehen besonders viele Risse in der Kruste, so genannte *Verwerfungen*.

Spannungen werden im Gestein auch über größere Distanzen übertragen, so dass auch weit entfernt von Gebirgen oder Schwächezonen Verwerfungen entstehen können. Entlang aktiver Verwerfungen bewegen sich einzelne Bruchstücke der Erdkruste. Während der Bewegung verhaken sie sich aufgrund der Festigkeit ihres Gesteins. Eine Verformung setzt ein, bis der Druck nicht mehr kompensiert werden kann und die Bruchstücke sich schlagartig voneinander lösen. *So entsteht ein Erdbeben.*

Die in der Verformung angesammelte Spannungsenergie wird dabei schlagartig in Wärme und *seismische Wellen* umgewandelt und freigesetzt. Von der Verwerfung ausgehend breiten sich unterschiedliche Wellentypen aus. Sie unterscheiden sich durch das Verhältnis von Ausbreitungsrichtung zur Schwingungsrichtung und durch ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit. Die mit 6-13 km/s

schnellsten Wellentypen sind die *P-Wellen* (Primär-Wellen), es sind Kompressionswellen (wie der Schall). Ihre Schwingungsrichtung verläuft parallel zur Ausbreitungsrichtung. Sie werden bei einem Erdbeben als erstes wahrgenommen, meist als dumpfes Grollen. Danach kommen die mit 3-7 km/s halb so schnellen *S-Wellen* (Sekundär-Wellen). Ihre Schwingungsrichtung liegt senkrecht zu ihrer Ausbreitungsrichtung, sie können nur in festen Materialien auftreten. Ein starkes Rütteln des Erdbodens ist nun zu spüren, in der Regel etwas länger als bei P-Wellen. Kurz darauf treffen Love-Wellen, gefolgt von Raleigh-Wellen, ein. Beides sind *Oberflächenwellen*. Diese transportieren die frei gewordene Energie ausschließlich entlang oder nahe einer Grenzschicht; tiefer im Untergrund ist die Gesteinsbewegung meist sehr gering. Oberflächenwellen können daher sehr große Amplituden erreichen. Love-Wellen erzeugen horizontale Bewegungen des Erdbodens, die lange andauern können und die schwersten Zerstörungen an Gebäuden anrichten. Raleigh-Wellen verursachen elliptische Bewegungen vertikal zur Oberfläche und ähneln Wasserwellen.

Ein Erdbeben besteht also aus einer Abfolge von unterschiedlichen Bodenbewegungen: Zunächst ein dumpfes Grollen oder kleinere Auf- und Abwärtsbewegungen durch die P-Wellen. Dann folgt ein starkes Rütteln durch die S-Wellen, gefolgt von den lang anhaltenden, bebenden und rollenden Bewegungen der Oberflächenwellen. Dies ist der Hauptteil eines Erdbebens. Den Abschluss bildet immer eine Mischung aus allen Wellentypen, die durch Reflektionen, mehrfache Brechungen und komplexe Gesteinsstrukturen erst verzögert eintreffen.

2. Erste Messungen

Schon von frühester Zeit an wurde versucht, das Phänomen Erdbeben messbar zu ma-

chen. Aber erst in den 90er Jahren des 19. Jahrhunderts wurden verlässliche Geräte zur Messung von Erdbebenwellen entwickelt: In England erfand Prof. John Mile zusammen mit James Ewing und Thomas Gray den Ewing-Seismographen. In Deutschland veröffentlichte Prof. Emil Wiechert 1903 am Institut für Geophysik in Göttingen seine „*Theorie der automatischen Seismographen*“. Sie wurde die Grundlage zur Entwicklung weiterer Instrumente.

1906 verwüstete ein Beben der Stärke 7,9 große Teile von *San Francisco* und die Erdbebenforschung wurde forciert. In der Nähe San Franciscos verläuft die San-Andreas-Störung, eine sehr aktive Verwerfung. Sie trennt zwei Bruchstücke der Erdkruste, die seitlich aneinander vorbeigleiten (Animation Entstehung) und jederzeit starke Erdbeben auslösen können.

Zur Messung der Bodenbewegung während eines Erdbebens muss die Bewegung des Seismometers relativ zu einem ruhenden Objekt aufgezeichnet werden. Dieses wird in allen Seismographen mit Hilfe einer kräftefrei gelagerten Masse realisiert. Die physikalische Eigenschaft der *Trägheit* bewirkt, dass eine Masse in ihrer Ruhelage bleibt, solange keine äußere Kraft auf sie einwirkt. In dem *Modell-Seismometer* wird dies durch eine federnd aufgehängte Kugel realisiert. Erdbebenwellen, die den Ort des Seismometers passieren, bewegen das Seismometer auf und ab, die Kugel jedoch verharrt in Ruhe. Dazu muss das System Kugel-Feder so eingestellt sein, dass um die Gleichgewichtslage herum die Federkräfte praktisch konstant sind, also die Gewichtskraft der Masse genau kompensiert wird. Die Bewegung der Masse relativ zum Seismometer wird aufgezeichnet, so entsteht ein Seismogramm. Seismometer, die mit Hilfe von federnd aufgehängten Massen Bewegungen messen, werden benutzt, um in direkter Nä-

he des Epizentrums eines Erdbebens Bodenbewegungen zu registrieren. Sehr schnelle Bodenbewegungen (hohe Frequenzen) können so registriert werden. Ist das Epizentrum des Erdbebens weit entfernt vom Standort des Seismometers, so wird das seismische Signal durch den Weg innerhalb der Gesteinsschichten verzerrt (Dispersion). Es wird in die Länge gezogen. Ein Seismometer, welches weit entfernt stattfindende Erdbeben aufzeichnen soll, muss also empfindlich für langsame Bodenbewegungen (niedrige Frequenzen) sein.

3. Ein Schulseismometer

20 km südlich von Aachen in der Eifel liegt die Stadt Monschau. Schüler des *St. Michael Gymnasiums Monschau* entwickelten nach dem Roermond-Beben von 1992 ein Seismometer, das zum einen eine genaue Vermessung von Erdbeben erlaubt, zum anderen aus herkömmlichen Materialien besteht. 1994 gewannen die Schüler damit den Landestitel in Nordrhein-Westfalen und bundesweit den zweiten Platz im Wettbewerb „Jugend forscht“ im Bereich Geowissenschaften.

Der grundsätzliche Aufbau orientierte sich an einem 1979 vorgeschlagenen Amateur-Seismometer. Um Schwingungsperioden von bis zu 20 Sekunden messen zu können, wird ein Pendel nach dem Prinzip eines schiefen Gartentores benutzt. Die Masse, deren Trägheit zur Messung genutzt wird, besteht aus einem Granitwürfel, der an einer Stange befestigt ist. Ein Draht, der an beiden Seiten der Masse befestigt ist, wird an einer Wand bzw. an einem fest verankerten Punkt angebracht. Die waagerechte Stange wird mit drei straff gespannten dünnen Drähten gelagert, um eine möglichst geringe Reibung im Aufhängepunkt zu erreichen. Dieser liegt nicht direkt unter dem oberen Aufhängepunkt, sondern ist leicht

versetzt, genau wie bei einem schief eingebauten Gartentor. Schief eingebaute Gartentore können im Gegensatz zu gerade eingebauten Gartentoren um ihre Ruhelage schwingen. Für ein Seismometer bedeutet dies eine Vergrößerung der Eigenschwingung, das heißt sehr langsame Bewegungen des Erdbodens können registriert werden. Es sind so genannte *Fernbeben-Seismometer*. In der Formel zur Berechnung der Schwingungsdauer kann das mathematisch als Verringerung der Erdbeschleunigung (Astasierung) zusammengefasst werden. Die Aufzeichnung der Bewegung der Masse relativ zum Erdboden erfolgt über eine Kupferdrahtspule. Bewegt sie sich im Magnetfeld des Hufeisenmagnetes, der fest mit der Erde verankert ist, so wird ein Strom im Kupferdraht induziert. Die Schwankungen von Stromstärke und Stromrichtung können dann als elektronisches Seismogramm aufgezeichnet werden.

Im Keller des Gymnasiums sind drei solcher Seismometer fest installiert, zwei für horizontale und eines für vertikale Bewegungen. So ist eine kontinuierliche Überwachung der an der Schule eintreffenden seismischen Wellen möglich. Störende Signale für die Erdbebenaufzeichnung entstehen jedoch in vielen Situationen (Straßen- und Schienenverkehr, Treppensteigen, etc.) und haben meist hohe Frequenzen. Bei diesen kurzen, schnellen Impulsen bewegen sich Spule und Hufeisenmagnet praktisch nicht gegeneinander und die Störsignale werden in der Aufzeichnung vermieden. So ist in Monschau praktisch eine weltweite Überwachung der Erdbebentätigkeit möglich.

4. Eine professionelle Erdbebenstation

Professor Erhard Wielandt ist Direktor des Instituts für Geophysik der Universität Stuttgart. Im Laufe seiner Forschungsarbeiten entwickelte er eines der weltweit genau-

esten und kompaktesten Seismometer, das *Wielandt-Streckeisen-STS-2*. Dieses arbeitet als Feed-Back-System nach dem „Force Balance Prinzip“, das heißt, es wird die Kraft gemessen, die notwendig ist, die seismische Masse mit dem Seismometergehäuse mitzubewegen. Dies erfolgt blitzschnell durch eine elektronische Regelung (Feedback), die bei eintreffenden Schwingungen die seismische Masse in Position hält. So können Bewegungen von 1/100 Atomdurchmesser gemessen werden. Der Strom, der dazu aufgebracht werden muss, ergibt das seismische Signal. Drei solcher Sensoren sind in einem Winkel von 120 Grad zueinander in einem Gerät angeordnet. So können in einem Gerät Bewegungen in alle drei Raumrichtungen registriert werden. Dieses Messverfahren erlaubt es, sowohl die hochfrequenten Signale eines Nahbebens (Schwingungsdauer $\approx 0,02$ Sek.) als auch die fundamentalen Eigenschwingungen der Erde (Schwingungsdauer ≈ 1 Std.) zu messen. Es wird daher auch als Breitband-Seismometer bezeichnet. Das STS-2 wird inzwischen weltweit in großer Zahl eingesetzt.

Entscheidend über die Qualität einer seismischen Messung ist aber auch der *Standort* des jeweiligen Seismometers. Die Erdbebenstation des Instituts in Stuttgart liegt in einem ehemaligen Luftschutzbunker am Rande der Stadt. Störende Signale sind in den Tiefen des Bunkers nur noch stark vermindert vorhanden. Das Seismometer steht auf einem Sockel aus Beton, der direkten Kontakt zum anstehenden Gestein hat. Eine Fuge von einigen Zentimetern bewirkt, dass Schwingungen in der übrigen Bunkeranlage die Messung nicht beeinträchtigen können. Erdströme, die durch die Straßenbahn hervorgerufen werden (Erdung über die Schienen), werden durch ein Stahlgerüst mit einigen Kupferdrahtwicklungen (Faradayscher Käfig) abgeschirmt. Einfluss auf die Mes-

sung haben auch die Raumtemperatur und der Luftdruck. Deshalb ist die Messapparatur hinter mehreren Wärmeisolierungen in einem luftdichten Gehäuse gekapselt. Die Aufzeichnung der Seismometer läuft rund um die Uhr. Das elektrische Signal der Seismometer wird digitalisiert und mit genauen Zeitmarken versehen abgespeichert. Über das Internet können die Daten der Station zur weiteren Verarbeitung abgerufen werden.

5. Auswertung

In Deutschland gibt es mehr als 150 seismische Stationen, die rund um die Uhr die Bewegungen des Erdbodens überwachen. Die meisten werden von Hochschulen oder Landeserdbebeninstituten betrieben. Die Hauptaufgabe der seismischen Stationen ist die Auswertung der aufgezeichneten *Seismogramme*. Diese beginnen immer mit dem Eintreffen der P-Wellen, dem so genannten Ersteinsatz der P-Wellen. Etwas später treffen die S-Wellen und dann die Oberflächenwellen ein. Aus der Zeitdifferenz zwischen P- und S-Welle lässt sich die Entfernung der Erdbebenstation zum Erdbebenherd, die so genannte Herdentfernung bestimmen. Dazu wird die Zeitdifferenz in ein Laufzeitdiagramm eingetragen, das jeweils eine Kurve für P- bzw. S-Wellen enthält. Die Herdentfernung und die Herdzeit, die Zeit der Erdbebenentstehung, lassen sich hieraus ablesen. Um die Stärke eines Erdbebens vergleichen zu können, führten Benno Gutenberg und Charles Richter 1935 die „*Magnitude nach Richter*“ oder „*Richter-Skala*“ ein. Da die gemessenen Amplituden von Herdentfernung und Typ des Seismometers abhängen, wurde ein Standard festgelegt. Misst ein Seismometer des Typs Wood-Anderson in einer Entfernung von 100 km vom Erdbebenherd eine S-Welle mit einer Amplitude von 1 cm, so hat das Beben die Stärke 4.

Dieser Standard kann für jedes Seismometer berechnet werden und wird als *Nomogramm* bezeichnet. In dieses Nomogramm trägt man die Herdentfernung und die größte Amplitude der gemessenen S-Wellen ein. Verbindet man beide Punkte durch eine Gerade, so ergibt der Schnittpunkt der Geraden mit der Magnitudenskala die Magnitude nach Richter an. Die Richter-Skala ist eine logarithmische Skala: Ein Beben der Magnitude 6 setzt hundertmal mehr Energie frei als ein Beben der Magnitude 4.

Eine genauere Analyse der Seismogramme erlaubt inzwischen auch Abschätzungen darüber, wie sich der Boden in der Umgebung der Seismometer verhalten hat. Umfangreiche Informationen über die lokale Bodenbeschaffenheit müssen dazu vorliegen. Dann kann das Verhalten einzelner Gebäude während eines Erdbebens berechnet werden. Die *Berechnungen für den Kölner Dom* zeigen ein stark unterschiedliches Schwingungsverhalten der beiden Glockentürme. In der 500 Jahre langen Bauzeit wurden hier unterschiedliche Materialien verwendet. Dies kann bei einem stärkeren Erdbeben als 1992 zu einer ernststen Gefahr für das imposante Gebäude werden. Die für das Roermond-Beben von 1992 verantwortliche Verwerfung, der Erft-Sprung, beginnt 20 km vom Zentrum der Stadt Köln entfernt. Etwa alle 20 Jahre kann hier ein Beben der Magnitude 5 und größer auftreten.

Zur Verwendung

Der Film ist klar strukturiert und kann mit den Schülerinnen und Schülern gut schrittweise erarbeitet werden. Die einzelnen Kapitel sind durch Zwischentitel gekennzeichnet, die im Rahmen der DVD-Video über die Kapitelanwahl direkt aufrufbar sind.

- 1) *Erdbeben in Deutschland* (Überblick über die erdbebengefährdeten Gebiete Deutschlands; Ursache der Erdbebentätigkeit in Mitteleuropa; Entstehung von Erdbeben; verschiedene Typen seismischer Wellen)
- 2) *Erste Messungen* (Erdbeben von San Francisco 1906; „Theorie der automatischen Seismographen“ von Prof. Emil Wiechert aus Göttingen 1903; Funktion eines Seismometers im Modell; Trägheit der Masse; Seismogramm)
- 3) *Ein Schulseismometer* (Aufbau des Fernbeben-Seismometers am St. Michael Gymnasium in Monschau in der Eifel)
- 4) *Professionelle Erdbebenstation* (Erdbebenstation Stuttgart; Abschirmung von störenden Faktoren; Funktion des Seismometers)
- 5) *Auswertung* (Auswertung der Seismogramme; Lokalisierung von Erdbeben; Bestimmung der Magnitude; Richter-Skala; Simulation der Bewegungen des Kölner Doms während des Roermond-Bebens 1992).

Zur Vertiefung und Erweiterung des Themas können die Arbeitsvideos „Erdbeben“ (42 02601) und Plattentektonik (42 02041) herangezogen werden. Umfangreiches interaktives Zusatzmaterial (Karten, Bilder, Grafiken, Animationen) bietet die Multimedia-CD-ROM „Erlebnis Erde: Unruhiger Planet“ (66 00480). Bei leistungsstarken Klassen (Sekundarbereich II) können auch die ergänzenden Informationen „Zum Inhalt“ aus dem Beiheft (s.o.) eingebracht werden.

Herausgabe

FWU Institut für Film und Bild, 2005

Produktion

BOLDSCHOOL

Industriesauger-TV

Buch und Regie

Martin Ziebell

Kamera

Konrad Müller

Franz Lindinger

Karsten Dzalas

Ton

Franz Lindinger

Animation

Martin Ziebell

Sebastian Kaltmeyer

Archivmaterial

Library of Congress, Nation Picture Broadcasting
and Recorded Sound Division
Universität Göttingen

Begleitkarte

Martin Ziebell

Bildnachweis

BOLDSCHOOL

Industriesauger-TV

Pädagogische Referentin im FWU

Dr. Gabriele Thielmann

Verleih durch Landes-, Kreis- und Stadtbildstellen,
Medienzentren

Verkauf durch FWU Institut für Film und Bild,
Grünwald

Nur Bildstellen/Medienzentren: öV zulässig

© 2005

FWU Institut für Film und Bild
in Wissenschaft und Unterricht
gemeinnützige GmbH
Geiseltasteig
Bavariafilmplatz 3
D-82031 Grünwald
Telefon (0 89) 64 97-1
Telefax (0 89) 64 97-300
E-Mail info@fwu.de
vertrieb@fwu.de
Internet <http://www.fwu.de>



FWU Institut für Film und Bild
in Wissenschaft und Unterricht
gemeinnützige GmbH
Geiseltasteig
Bavariafilmplatz 3
D-82031 Grünwald
Telefon (0 89) 64 97-1
Telefax (0 89) 64 97-300
E-Mail info@fwu.de
Internet <http://www.fwu.de>

**zentrale Sammelnummern für
unseren Vertrieb:**

Telefon (0 89) 64 97-4 44
Telefax (0 89) 64 97-2 40
E-Mail vertrieb@fwu.de

Laufzeit: 18 min
Kapitelanwahl auf DVD-Video
Sprache: deutsch

**Systemvoraussetzungen
bei Nutzung am PC**
DVD-Laufwerk und
DVD-Player-Software,
empfohlen ab WIN 98

GEMA

Alle Urheber- und
Leistungsschutzrechte
vorbehalten.
Nicht erlaubte/geneh-
migte Nutzungen wer-
den zivil- und/oder
strafrechtlich verfolgt

**LEHR-
Programm
gemäß
§ 14 JuSchG**

FWU - Schule und Unterricht

- **VHS 42 10503**
- **DVD-VIDEO 46 10503**
- ■ **Paket 50 10503** (VHS 42 10503 + DVD 46 10503)

18 min, Farbe

Erdbebenmessung in Deutschland

Beinahe täglich bebt in Deutschland die Erde - meist kaum spürbar. Etwa alle 20 Jahre aber sind Beben zu verzeichnen, die auch deutliche Schäden hinterlassen. Der Film zeigt die erdbebengefährdeten Gebiete Deutschlands und erklärt die Ursachen der Erdbeben. An einem Fernbeben- Seismometer in einer Schule in der Eifel wird die Messung von Bodenbewegungen erläutert. Vom Aufbau eines Seismometers (Erdbebenstation Stuttgart) über die Auswertung der Messungen geht es bis hin zur Simulation der Bewegungen des Kölner Doms während des Erdbebens von Roermond 1992.

Schlagwörter

Erdbeben, Erdbebengebiet, Plattentektonik, Naturgewalt, Verwerfung, Seismograph, Seismometer, Seismogramm, Welle, Amplitude, Magnitude, Richter-Skala, Grabenbruch, Oberrheingraben, Hohenzollerngraben, Rurtalgraben, Egergraben, San Francisco

Geographie

Geologie • Tektonik, Vulkanismus
Bundesrepublik Deutschland • Allgemeines
Europa • Allgemeines

Physik

Klassische Mechanik • Schwingungen, Wellen, Akustik

Allgemeinbildende Schule (7-13)
Erwachsenenbildung

Weitere Medien

42 02601 Erdbeben. Arbeitsvideo / 11 Kurzfilme. VHS 33 min, f
32/42 10364 Plattentektonik - Unruhige Erde. 16-mm-Film/
VHS 15 min, f
42 02041 Plattentektonik. Arbeitsvideo / 9 Kurzfilme. 28 min, f
66 00480 Erlebnis Erde: Unruhiger Planet. CD-ROM