

## Einführung

Fast regelmäßig hören wir in den Nachrichten von großen Erdbeben, die signifikanten Schaden anrichten. Die Schlagzeilen der tragischen Konsequenzen sind aber meist nur für kurze Zeit zu lesen. Leider neigen wir dazu, schnell zu vergessen, bis die nächste Katastrophe passiert. Tatsächlich machen aber Erdbeben den größten Teil der Naturkatastrophen aus, die ökonomischen Schaden verursachen und viele Menschenleben fordern. Deshalb verdienen sie nicht nur von der Wissenschaftlergemeinschaft eine ständige Aufmerksamkeit, sondern auch von der Gesellschaft. Wir hoffen, dass eine Ausstellung über Erdbeben dazu beitragen kann, das öffentliche Bewußtsein hinsichtlich dieses wichtigen Naturphänomens zu verbessern, welches Teil unseres Lebens ist.

Warum aber gerade eine Ausstellung an einem scheinbar so ruhigen Ort wie Bergen in Norwegen? Als Erstes, Norwegen ist nicht so ruhig wie man erwartet. Auf dem Festland, nahe der Küste, können wir Erdbeben bis zur Magnitude 6 erwarten. Wenn wir die arktischen Inseln einbeziehen, können sich sogar vulkanische Eruptionen und Erdbeben bis zu einer Magnitude 7 ereignen. Norwegen hat verglichen mit seinen skandinavischen Nachbarn und den meisten Ländern Europas mehr Beben und größerer Magnituden zu verzeichnen. Dies wurde schon früh durch den Wissenschaftler C.F. Kolderup erkannt. Genau vor 100 Jahren im Jahre 1905 gründete er die erste seismische Station in Norwegen in genau diesem Museum.

Die aktuelle Ausstellung „Wenn die Erde bebt“ soll einen generellen Überblick über Erdbeben als Naturphänomen geben, deren Konsequenzen zeigen und erklären wie wir die Gesellschaft auf bevorstehende Naturkatastrophen vorbereiten können. Die grundlegenden Prinzipien von Erdbeben werden durch Beispiele demonstriert und erläutert. Ein Teil der Ausstellung ist dazu gedacht, interaktiv etwas über Erdbeben zu lernen. Wir nutzen gleichzeitig die Gelegenheit um unser einhundertjähriges Jubiläum unserer ersten Seismographen- Station zu feiern, die in Bergen in Norwegen installiert wurde. Das allein ist ein guter Grund 100 Jahre instrumentelle Seismologie in Bergen zu datieren. Seit 1905 haben die Seismologie und das Seismologische Observatorium sich zu einem dynamischen und produktiven Umfeld mit exzellenter Beobachtung, Forschung und Ausbildungsmöglichkeit zusammen mit der Universität in Bergen entwickelt.

Seismologie (die Wissenschaft der Erdbeben) wird oft als eine wenig relevante Wissenschaft außerhalb ihres Bereiches betrachtet. Das stimmt nicht. Seismische Wellen, die durch große Erdbeben erzeugt werden durchlaufen das Innere der Erde und liefern nützliche Informationen über die Vorgänge tief in der Erde. Dank der frühen globalen Untersuchungen der Aufzeichnungen von Seismographen wissen wir, dass sich die Erde aus verschiedenen Schichten aufbaut. Das sind die Kruste, der Mantel und der Kern mit jeweils unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften. Technologische Entwicklungen im 21. Jahrhundert erlauben es uns den Mond und andere Planeten zu erforschen, dennoch sind immer noch die Erdbebendaten die primären Informationsquellen um das Innere der Erde zu verstehen.

Frühere wissenschaftliche Hypothesen wurden durch moderne Instrumente der Seismologie kritisch getestet und untersucht. Die Theorie der Plattenbewegung ist die weltumspannende Theorie, die die geologischen Prozesse der Erde erklären soll. Sie ist eine der bemerkenswertesten Erfolge der Seismologie. Durch systematische Beobachtungen von Erdbeben rund um den Globus, war es möglich die Plattengrenzen und deren Deformation zu bestimmen.

Seismologie als Wissenschaft wird auf Grund ihrer Schlüsselrolle hinsichtlich der Suche nach Öl weitgehend in Norwegen genutzt. Es ist heute das Rückgrat des ökonomischen Erfolges Norwegens. Das seismologische Observatorium der Universität Bergen ist dennoch eines der wichtigsten nationalen Institute. Wann immer Erschütterungen gefühlt werden oder ein großes Erdbeben passiert, werden öffentliche Anliegen und Nachfragen dort zusammen bearbeitet. Durch einige Ereignisse erfuhr die Seismologie eine große Aufmerksamkeit, wie zum Beispiel der Tsunami im Indischen Ozean im Dezember 2004 oder der Untergang des Handelsschiffes Rocknes im Januar 2004. Beide Ereignisse wurden auf unseren Instrumenten registriert und Seismologen konnten mit wichtigen Informationen einen Beitrag für die Gesellschaft leisten.

Um zu verstehen was ein Erdbeben wirklich ist, haben wir die Ausstellung in verschiedene Themengebiete unterteilt. Zunächst behandeln wir Erdbeben als Naturphänomen und erklären die physikalischen Voraussetzungen, die zu einem Erdbeben führen. Damit befassen wir uns im Teil „Erdbeben als Naturphänomen“.

Historisch gesehen ist die Geschichte der Seismologie älter als 100 Jahre. Die wichtigen Ereignisse, die mit signifikanten Entdeckungen einhergehen, werden im Abschnitt „Geschichte der Seismologie“ dargestellt. Zusätzlich zu internationalen Meilensteinen werden auch die Entwicklungen in Norwegen in einer chronologischen Reihenfolge gezeigt. Damit soll dem Besucher erklärt werden, warum wir in Norwegen ein so ausgeprägtes Interesse an Erdbeben haben. Warum bekam die Seimologie vor 100 Jahren solch einen Aufschwung? Das liegt hauptsächlich daran, dass Bodenbewegungen mit Seismographen aufgezeichnet werden konnten und dadurch detaillierte Studien über Erdbeben selber, aber auch den Untergrund angefertigt wurden. Außerdem war nicht zuletzt das Vorhandensein von Seismologen, die bereit waren bei dem Abenteuer Öl teilzunehmen, ausschlaggebend für Norwegens starke Leidenschaft nach der Ölsuche. Deshalb war es auch schwierig Seismologen zu finden, die sich mit Erdbeben ansich beschäftigen wollten. Später als man Ölplattformen baute, wurden Untersuchungen zu Erdbeben wieder wichtig, da viele Plattformen in Gebieten hoher Seismizität errichtet wurden. Die Plattformen mußten so gebaut werden, dass sie den größtmöglichen Erdbeben widerstehen konnten. Deshalb wurde Fachwissen über norwegische Erdbeben zunehmend erforderlich. Aus diesem Grund unterstützt die norwegische Ölindustrie die Arbeit des Nationalen Seismischen Netzwerkes schon seit 25 Jahren und die Universität Bergen besitzt heute eines der modernsten seismischen Netzwerke mit über

30 Stationen, die ganz Norwegen sowie küstennahe Gebiete und die arktischen Inseln überdecken. Folglich sind die seismischen Instrumente auch ein wichtiger Teil der Ausstellung.

Die erste seismographische Station vor 100 Jahren verhalf Norwegen zu einer starken Position einerseits in der Seismologie und andererseits in der Ölexploration. Wir hoffen, dass die Ausstellung nicht nur einzelne interessierte Personen anzieht, sondern auch die jüngere Generation motiviert sich uns anzuschließen, um Erdbeben zu erforschen.

### **Danksagung**

Die finanzielle Unterstützung wird bereit gestellt vom Institut für Geowissenschaften der Universität Bergen, dem Bergen Museum, dem Bergen Universitätsfond und der Oljeindustriens Landsforening (OLF).

Der Text wurde hauptsächlich von der Seismologie-Gruppe des Institutes für Geowissenschaften der Universität Bergen verfasst. Die französische Übersetzung lieferte Jeannette Havskov, Spanisch von Carolina Granado und Deutsch von Julia Schinkel. Das Korrekturlesen übernahmen Eirik Sundvor, Inge Aarseth, Laila Havskov, Katarina Wolff and Erna Atakan.

Viele Personen der Institutes für Geowissenschaften und des Bergen Museums haben mit verschiedenen Aspekten zu der Ausstellung beigetragen. Wir bedanken uns für den Einsatz und den Enthusiasmus während der Vorbereitungen für dieses Projekt.

Das sind in alphabetischer Reihenfolge:

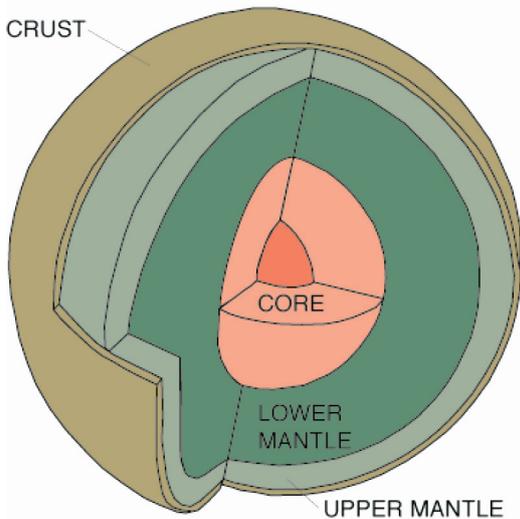
Anne Aspen  
Kuvvet Atakan  
Christian Bakke  
Eva Bjørseth  
Birgit Brühl  
Jane K. Ellingsen  
Grethe Elvenes  
Margareth Haugen  
Jens Havskov  
Kristina Holmefjord  
Geir Hovland  
Øystein Jansen  
Helge Johnsen  
Petter Jordan  
Anne Lise Kjærgaard  
Jozef Kusior  
Sven Maaløe  
Mette N. McDougall  
Jose Åsheim Ojeda  
Kåre Slettebakken  
Morten Steffensen  
Mathilde Bøttger Sørensen  
Terje Utheim

Produziert und veröffentlicht vom Institut für Geowissenschaften in Kooperation mit dem Bergen Museum, an der Universität in Bergen.

Adresse: Muséplass 3, 5007 Bergen, Norwegen.

## Erdbeben als Naturphänomen

Die Erde setzt sich zusammen aus einer Vielzahl von Schichten mit unterschiedlichen Eigenschaften, siehe unteres Bild. Grob gesehen kann man die Erde in 3 verschiedene Schichten unterteilen: den Kern („Core“), den Mantel („Mantle“) und die Kruste („Crust“). Der Kern liegt im Inneren der Erde und kann in einen flüssigen Außen- und einen festen Innenkern unterteilt werden. Ähnliches gilt für den Mantel. Es gibt einen oberen und einen unteren Mantel. Die Kruste ist die äußerste Schicht der Erde. Sie ist nur 10 bis 80 km dick und entspricht den Proportionen der Schale eines Apfels. Die Kruste setzt sich aus Platten zusammen, den sogenannten Kontinentalplatten, die sich relativ zueinander bewegen. Die meisten Erdbeben ereignen sich als Resultat dieser Plattenbewegungen.



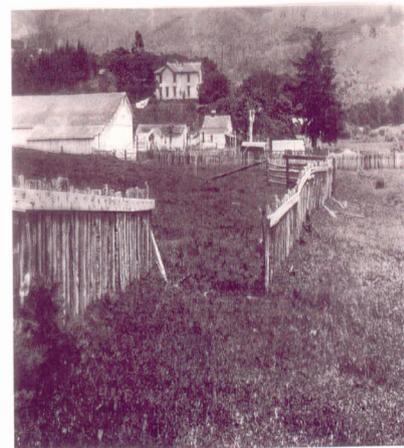
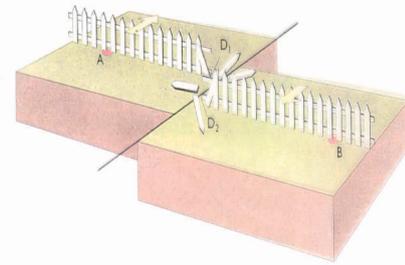
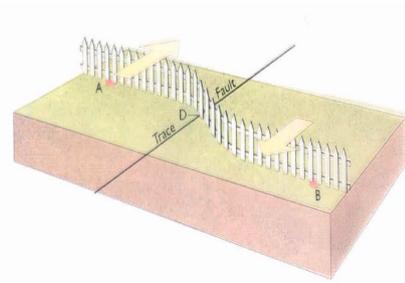
Querschnitt der Erde



Die Karte zeigt die Erde bei Nacht. Dicht besiedelte Gebiete erkennt man anhand der erhöhten Helligkeit. Die grünen Linien markieren Plattengrenzen. Dort können die größten Erdbeben auftreten. Die orangen Punkte zeigen Erdbeben und die rote Dreiecke Vulkane. Zukünftige Katastrophen werden sich dort ereignen, wo Erdbeben in dicht besiedelten Regionen auftreten.

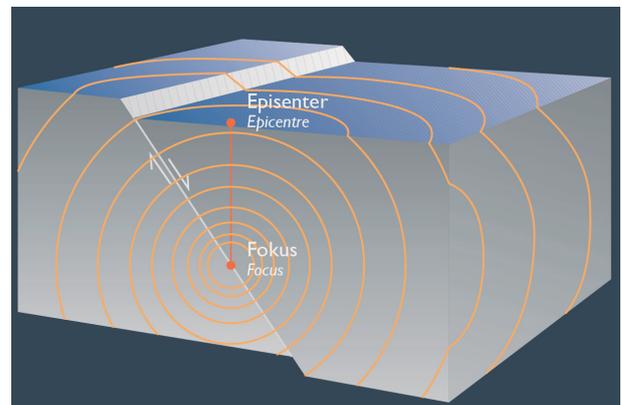
### Erdbebenstörungen

Durch Plattenbewegungen können sich Spannungen im Gestein aufbauen. Sie werden freigesetzt, wenn die Gesteine dem Druck nicht mehr Stand halten können. Das Ergebnis ist eine plötzliche Versetzung entlang einer Fläche, eine sogenannte Störung. Energie, die in Form von seismischen Wellen freigegeben wird, durchläuft die Kruste und wird als Bodenbewegung an der Oberfläche wahrgenommen.



Eine Störung

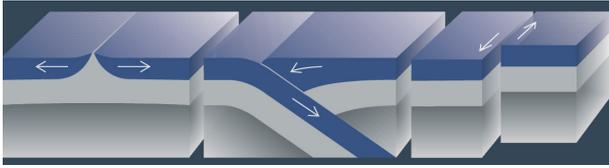
Der Erdbebenherd („hypocenter“) ist der Ort auf einer Störungsfläche („fault surface“), wo der Versatz ausgelöst wird. Das Epizentrum („epicenter“) ist der Punkt, der direkt über dem Herd auf der Erdoberfläche liegt. Die Störungsfläche wird durch die Richtung an der Oberfläche („surface“), die Neigung und der Richtung ihres Versatzes definiert. Der Versatz ist nicht an jeder Stelle gleich. Er ist von der Unebenheit der Störungsfläche abhängig. Der größte Teil der Energie wird dort freigesetzt, wo die Fläche sehr rau ist. Solche Gebiete nennt man „asperities“ (Unebenheiten) .



Störungsfläche

Es gibt drei verschiedene Arten von Plattengrenzen. Je nach dem ob sich die Platten auseinander

(divergente Plattenränder), aufeinander zu (konvergente Plattenränder) oder aneinander vorbei (Transformalgrenzen) bewegen.

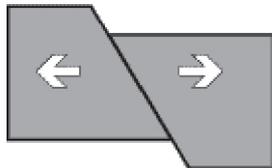


Verschiedene Arten der Plattenbewegung

Es gibt drei verschiedene Arten von Störungen: Abschiebung, Aufschiebung und Blattverschiebung.

Es passiert häufig, dass sich Störungen aus 2 verschiedenen Typen zusammensetzen. Die Art der Störung hängt von der tektonischen Spannung ab. Diese Spannung setzt sich aus dem regionalen Spannungsfeld und der jeweiligen Plattenbewegung zusammen. Im Folgenden werden die drei Arten der Störung gezeigt und beschrieben.

Abschiebungen entstehen, wenn Gesteine sich auf beiden Seiten der Störungsfläche voneinander weg bewegen und ein Block relativ zum anderen Block nach unten versetzt wird. An einer divergenten Plattengrenze bewegen sich zwei Platten auseinander und neues Material kann aus dem Mantel aufsteigen. Erdbeben treten gewöhnlich an Abschiebungen auf. Vulkane stehen ebenfalls oft in Verbindung mit divergenten Plattenrändern. Ein Beispiel für einen divergenten Plattenrand ist der Mittelatlantische Rücken. Island, das direkt auf dem Mittelatlantischen Rücken liegt, ist deshalb durch zahlreiche Vulkane und Erdbeben gekennzeichnet.



Abschiebung

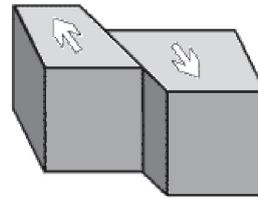


Das Bild zeigt eine Abschiebung in Verbindung mit einem zerstörerischen Erdbeben im November 1999 in der Nähe der Stadt Düzce in der Türkei.

Aufschiebungen stehen in Verbindung mit Erdbeben, wo Gesteine gegeneinander gepresst werden. Ein Block wird relativ zu dem anderen Block entlang der Störungszone nach oben versetzt.

An konvergierenden Plattengrenzen kollidieren zwei Platten. Eine Platte bewegt sich unter die andere und wird in den Mantel gedrückt und durch ihr eigenes Gewicht gezogen. Die Platte schmilzt bis zur vollständigen Auflösung, je weiter sie in den Mantel vordringt. Erdbeben, die in diesen Regionen auftreten

besitzen gewöhnlich Aufschiebungscharakter. Beispiele zu konvergenten Plattenrändern sind Alaska, Himalaja, Japan, Taiwan und der westliche Teil Südamerikas. An den sogenannten „Subduktionszonen“ findet weltweit die größte Erdbebenaktivität statt.

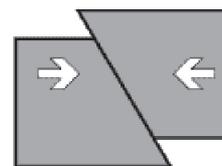


Aufschiebung



Das Bild zeigt eine Aufschiebung. Der Versatz entstand während des Chi Chi-Erdbebens 1999 in Taiwan.

Blattverschiebungen treten in Verbindung mit Erdbeben auf, wo die Gesteine horizontal in entgegengesetzte Richtungen verschoben werden. An einer Transformalgrenze gleiten die Platten aneinander vorbei. Es entsteht eine Blattverschiebung. Beispiele zu Transformalgrenzen gibt es in Kalifornien und in der Türkei.



Blattverschiebung

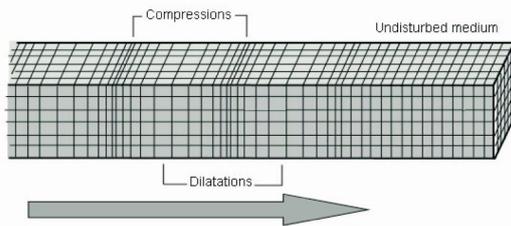


Das Bild zeigt eine Blattverschiebung. Das Ergebnis ist ein Versatz der Bahnschienen. Es wurde im Zusammenhang mit dem Beben in Izmit in der Türkei am 17. August 1999 aufgenommen.

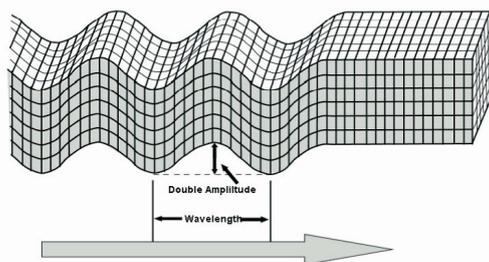
## Seismische Wellen

Es gibt vier Typen seismischer Wellen. P-Wellen (Primärwellen) erzeugen Partikelbewegung in die Richtung, in die sich die Welle bewegt. S-Wellen (Sekundärwellen) erzeugen Partikelbewegungen, die rechtwinklig zu ihrer Laufrichtung sind. P- und S-Wellen werden auch Raumwellen genannt, da sie sich durch das Innere der Erde bewegen. Oberflächenwellen (Love- und Rayleigh-Wellen) bewegen sich nur entlang der Erdoberfläche. Love-Wellen (nach A.E.H. Love (1863-1940)) erzeugen eine Partikelbewegung rechtwinklig zu ihrer Laufrichtung. Rayleigh-Wellen (nach Lord Rayleigh (1842-1919)) erzeugen eine retrograde Partikelbewegung. Das bedeutet, dass die Bewegung der Teilchen kreisförmig und entgegengesetzt ihrer Laufrichtung ist.

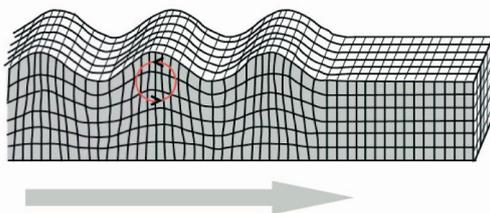
### P Wave



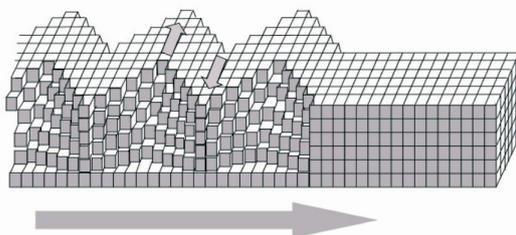
### S Wave



### Rayleigh Wave



### Love Wave



Verschiedene Arten der Seismischen Wellen

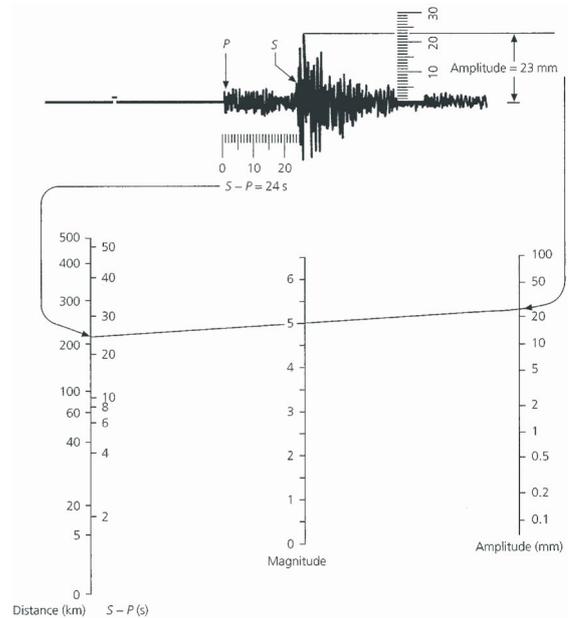
## Magnituden eines Erdbebens

Traditionell misst man die Magnitude (Stärke) eines Erdbebens auf der Richterskala. Die Richter-Magnitude basiert auf der Amplitude der Bodenbewegung, registriert durch einen Seismographen und der Entfernung zum Erdbeben. Die Richterskala wurde 1935 von Charles Richter eingeführt. Er definierte als Referenz ein Erdbeben der Magnitude 3.

Es tritt dann auf, wenn ein Erdbeben in 100 km Entfernung eine Amplitude der Bodenbewegung von 1mm auf einem Wood-Anderson Seismograph erzeugt.

Die Magnitude wird durch die maximale Amplitude (wie auf dem Seismogramm zu sehen) bestimmt.

Um die Magnitude richtig berechnen zu können, muss man zuerst eine Entfernungskorrektur durchführen (siehe Diagramm).



Magnitudenskalen wie die von Richter sind logarithmisch. Eine Erhöhung um eine Einheit bedeutet eine 10-mal stärkere Bodenbewegung und eine 32-mal höherer Energie.

Die Richterskala wird auf Grund ihrer Popularität immer noch von Seismologen verwendet.

Heute bevorzugen Seismologen aber eine andere Magnitude, die auf dem Seismischen Moment beruht.

Das Seismische Moment ist bestimmt durch die Größe der Störungsfläche, die Größe des Versatzes und die Unebenheit der Störungsfläche.

Wie groß sind die verschiedenen Magnituden?

- 2 Kaum von Menschen spürbar
- 2.5 Ähnlich der Energie eines moderaten Blitzes
- 3.5 Ähnlich der Energie eines starken Blitzes
- 4 Von Menschen spürbar, Schäden möglich
- 5 Ähnlich der Energie eines durchschnittlichen Tornados
- 6 Ähnlich der Energie einer Hiroshima-Bombe
- 7 Zerstörerisches Erdbeben, oft zahlreiche Todesopfer. Kann einen Tsunami auslösen.
- 8 Ähnlich der Energie der weltgrößten nuklearen Explosion
- 9 Katastrophales Erdbeben, verursacht gravierenden Schaden

Wie oft treten Erdbeben auf?

Beschreibung	Magnitudo	Durchschnittliche Anzahl pro Jahr
Katastrophal	8 oder höher	1
Sehr stark	7-7.9	18
Stark	6-6.9	120
Moderat	5-5.9	800
Schwach	4-4.9	6200
Klein	3-3.9	49000
Sehr klein	Kleiner als 3	Magnitudo 2-3: ca 365000 Magnitudo 1-2: ca 3000000

Die Tabelle zeigt, wie oft Erdbeben verschiedener Magnituden global auftreten.

Die 5 größten Erdbeben in der Welt seit 1900

1. 1960, 22. Mai, Südchile, M=9.5
2. 1964, 28. März, Prince William Sund, Alaska, M=9.2
3. 1957, 9. März, Andreanoff Insel, Alaska, M=9.1
4. 1952, 4. November, Kamchatka, M=9.0
5. 2004, 26. Dezember, Sumatra, Indonesien, M=9.0

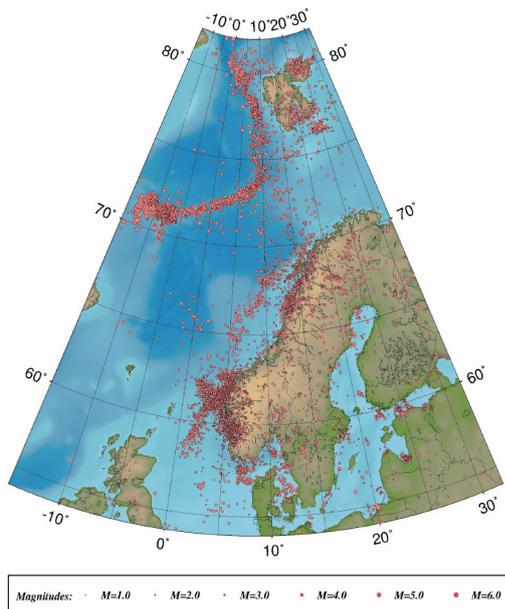
Die 5 tödlichsten Erdbeben in der Welt

1. 1556, 23. Januar, Senshi, China, 830 000 Tote (M=8.0)
2. 2004, 26. Dezember, Sumatra, Indonesien, 280 000 Tote (M=9.0)
3. 1976, 27. Juli, Tangshan, China, 255 000 Tote (M=7.5)
4. 1780, 28. Februar, Iran, 200 000 Tote (M=?)
5. 1920 16. Dezember, Gansu, China, 200 000 Tote (M=8.6)

**Erdbeben in Norwegen**

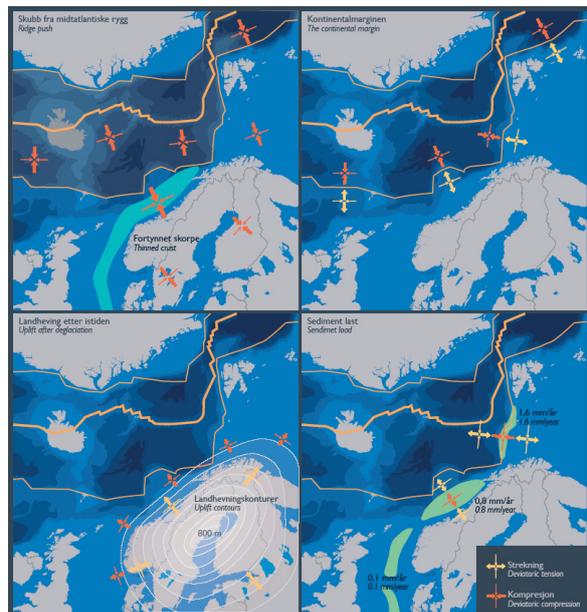
Die Erdbebenaktivität in Norwegen und dem umliegenden Meer ist mit geologischen Strukturen verbunden. Die Plattengrenze des Mittelatlantischen Rückens ist eine der wichtigsten Strukturen.

Weiterhin ereignen sich Erdbeben entlang von Grabensystemen (Abschiebungssystemen) in der Nordsee und entlang des Kontinentalrandes. An Land tritt die größte Aktivität in Sunnhordland und Nordland auf.



Epizentren von Erdbeben 1980-2004

Norwegen liegt, abgesehen von den arktischen Regionen, weit entfernt von Plattengrenzen. Man kann deshalb fragen warum trotzdem Erdbeben auftreten. Die Antwort ist, das auch durch andere Mechanismen Spannungen in der Kruste aufgebaut werden. Es gibt 4 Mechanismen in den Gebieten um Norwegen, die hauptsächlich dafür verantwortlich sind. „Ridgepush“ ist ein Mechanismus, der in Verbindung mit divergenten Plattenrändern auftritt. Dieser Prozess tritt im Nordatlantik auf und verursacht regionale Spannungen entlang der norwegischen Küste und an Land. Der Kontinentalrand (“The Continental Margin”) spielt ebenfalls eine wichtige Rolle bezüglich des Spannungsaufbaus. Das Schmelzen von Eis (“deglaciation”) seit der letzten Eiszeit und die darauf folgende Landhebung verursachen vertikale Spannungen entlang der Küste. Zusätzlich zu den regionalen Spannungen treten vertikale Kräfte durch die Sedimentlast (“sediment load”) auf dem Meeresboden auf.



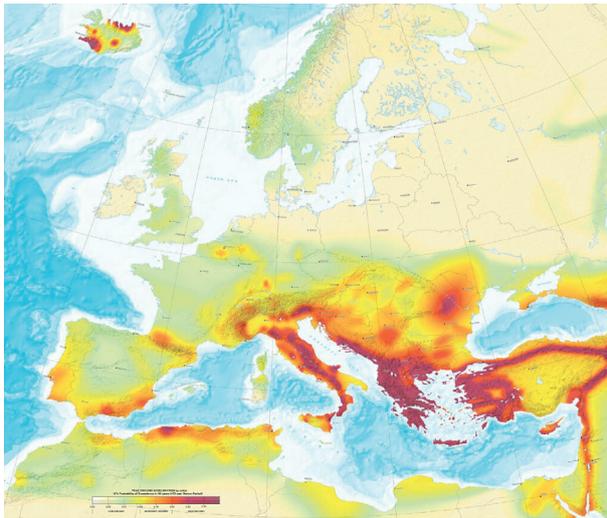
Mechanismen des Spannungsaufbaus im Gebiet der Norwegischen See

Am 23. Oktober 1904 machte ein Erdbeben im Oslofjord Schlagzeilen in der Aftenposten. Das Erdbeben ereignete sich genau zur Zeit der Gottesdienste und hatte eine Magnitude von 5.4. Zusätzlich zu signifikanten Gebäudeschäden verursachte das Beben vielerorts Panik.



Das Bild zeigt einen Zeitungsausschnitt vom 24. Oktober 1904.

## Erdbebengefährdung in Europa



Die Karte zeigt die Erdbebengefährdung in Europa. Sie wurde von der Europäischen Seismologischen Kommission erstellt. Die roten Farben zeigen Gebiete mit erhöhter Gefahr starker Bodenbewegungen, die durch zukünftige Beben ausgelöst werden können. Die größte Gefährdung in Europa liegt in mediterranen Ländern, wie in der Türkei, Griechenland, Italien und Spanien. Diese Länder liegen nah an Plattengrenzen und haben große Störungssysteme, die in die Lage sind große Erdbeben zu erzeugen.

Ein hohes Erdbebenrisiko ist sowohl abhängig von der Erdbebengefährdung als auch von der Schadensanfälligkeit. In anderen Worten, das Risiko wird umso höher, je näher das Epizentrum eines Bebens an dicht besiedelten Gebieten liegt. Ein Beispiel dafür ist die Türkei, wo große zerstörende Erdbeben häufig auftreten. Am 17. August 1999 trat ein großes Erdbeben in Izmit auf. Das Beben verursachte schwerwiegenden Schaden entlang einer 150 km langen Störung. Es kamen 19000 Menschen ums Leben. Nach diesem Ereignis ist heute eine erhöhte Erdbebengefährdung in der Marmara See zu verzeichnen. Eine besonders große Gefahr durch zukünftige Beben besteht für die 12 Millionen Stadt Istanbul. Um auf ein solches Ereignis gut vorbereitet zu sein, arbeiten Wissenschaftler bereits an Modellen für möglich auftretende Bodenbewegungen (ground motion) in diesem Gebiet. Die Berechnungen basieren auf einem Beben der Stärke 7.5 sowie bestimmten Eigenschaften der Kruste und der Störung.



Das Bild zeigt Gebäude, die durch das katastrophale Erdbeben 1999 in Izmit in der Türkei zerstört wurden. Ein großer Schaden wurde durch schlechte, nicht erdbebensichere Bauweise verursacht.



## Tsunami

Das Wort Tsunami kommt aus dem Japanischen und bedeutet soviel wie "Hafenwelle".

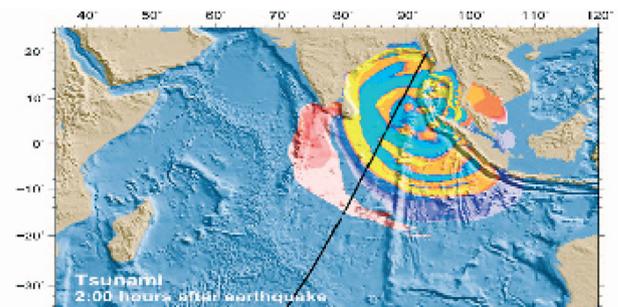
Durch plötzliche Veränderungen am Meeresboden wie zum Beispiel Erdbeben oder Rutschungen, wird eine große Welle erzeugt. Diese Veränderungen erzeugen Bewegungen von enormen Wassermassen. Auf offener See können die Wellen Geschwindigkeiten von bis zu 800 km/h erreichen. Auf Grund ihrer langen Wellenlänge und der geringen Höhe werden sie von Schiffen nicht wahrgenommen.

Normalerweise zieht sich das Wasser zurück, bevor die Wellen das Land erreichen. Die Geschwindigkeit der Wellen verringert sich und gleichzeitig steigert sich ihre Höhe. Wenn sie das Land erreichen ist die Wellenlänge immer noch relativ hoch. Das ist der Grund, warum sie sehr weit bis in das Landesinnere reichen können. Wenn sich die Wellen zurückziehen nehmen sie sämtliches loses Material mit. Normalerweise erreichen 2 bis 3 dieser Wellen die Küste mit wenigen Minuten Abstand.



Wie ein Tsunami entsteht.

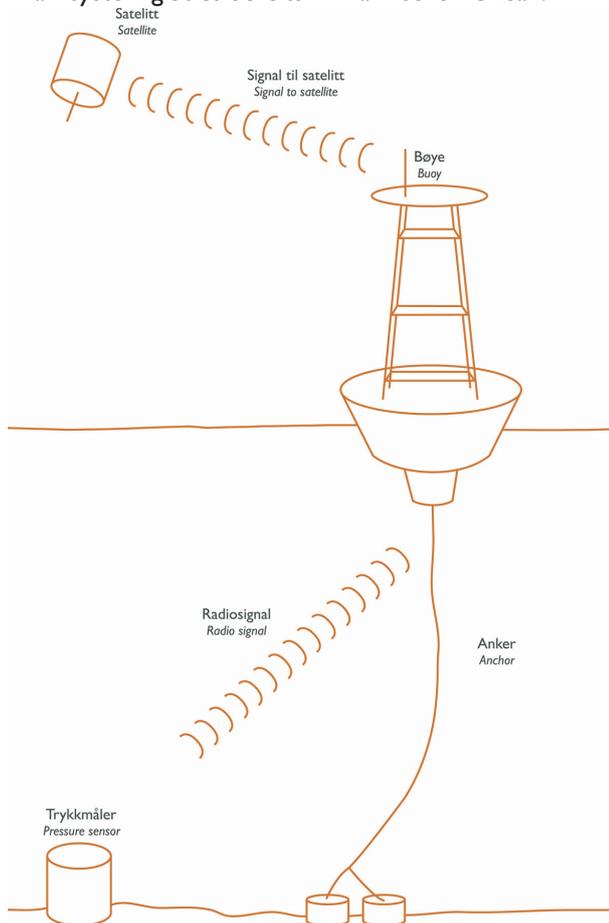
Am 26. Dezember 2004 ereignete sich ein katastrophales Erdbeben ( $M=9$ ) im Nordwesten von Sumatra in Indonesien. Das Epizentrum lag unter dem Meeresspiegel. Ein großer Tsunami wurde erzeugt, der signifikanten Schaden rund um den Indischen Ozean anrichtete.



Das Bild wurde vom Satellit Jason 1 (NOAA) aufgenommen. Es zeigt den Tsunami zwei Stunden nach dem Erdbeben. Die Farben zeigen Veränderungen des Meeresspiegels und machen dadurch die Wellenausbreitung sichtbar.

Es hat sich gezeigt, dass die Tsunami-Warnung dazu beitragen kann Katastrophen zu vermeiden. Ein Sensor, der den Druck des Wassers misst, wird auf

dem Meeresboden gesetzt und sendet ein Signal zu einer Boje. Sie sendet das Signal über Satellit an Land. Änderungen des Wasserdruckes können dann einen Tsunami anzeigen. Eine grundlegende Voraussetzung ist, dass ein Erdbeben am Meeresboden passiert. Durch seismische Stationen an Land können der Ort und die Magnitude des Erdbebens bestimmt werden. Ein Tsunami-Warnsystem kann dann feststellen, ob sich eine Welle in Richtung Land bewegt. Solch ein Warnsystem gibt es bereits im Pazifischen Ozean.



Das Bild zeigt schematisch die verschiedenen Komponenten eines Tsunami-Warnsystems. Es basiert auf einem Meeresbodensensor und Satellitenkommunikation. Solch ein System ist im Pazifischen Ozean installiert.



Das Bild zeigt die Boje, die Signale für die Satellitenkommunikation überträgt.

# Geschichte der Seismologie

## Meilensteine der Seismologie weltweit

Schon in früheren Zeiten versuchten Menschen zu erklären, warum Erdbeben auftreten. Das erste Gerät zur Registrierung von Erdbeben wurde von den Chinesen konstruiert. Dieses und weitere Ereignisse werden im Folgenden erklärt.

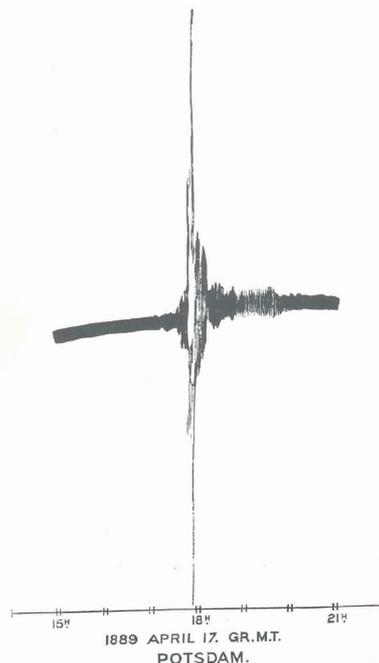
132 AD: Das erste Seismoskop zeigt die Richtung der eintreffenden Erdbebenwellen. Es wurde in China entwickelt.



1875: Das erste Seismometer wurde von Filippo Cecchi in Italien erfunden.



1889: Zum ersten Mal wird ein weit entferntes Erdbeben instrumentell aufgezeichnet. Die Aufzeichnung eines japanischen Bebens findet in Potsdam, Deutschland statt.

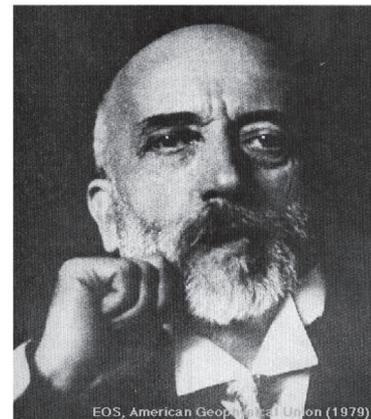


1892: John Milne entwickelt ein Seismometer, das in etwa 40 Observatorien weltweit installiert wird. Das ist der Beginn der globalen Bebenüberwachung.

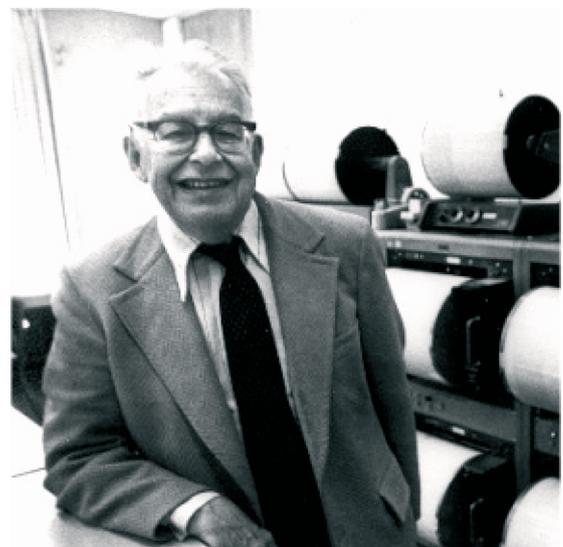


1906: Richard Oldham entdeckt den Erdkern durch Untersuchung seismischer Wellen.

1909: Andrija Mohorovicic entdeckt die Moho-Diskontinuität. Das ist die Grenze zwischen dem Erdmantel und der Kruste.



1935: Charles Richter entwickelt die Magnituden-Skala (die sogenannte „Richterskala“). Diese wird benutzt um die Größe eines Erdbebens zu bestimmen. Dabei dient ein Beben in Südkalifornien als Referenzbeben.



1936: Inge Lehmann aus Dänemark entdeckt den inneren Kern der Erde.

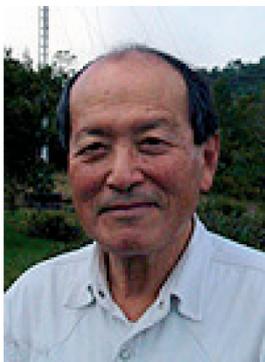


1946: Eine nukleare Explosion wird zum ersten Mal von einem Seismographen aufgenommen.

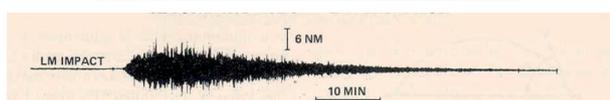
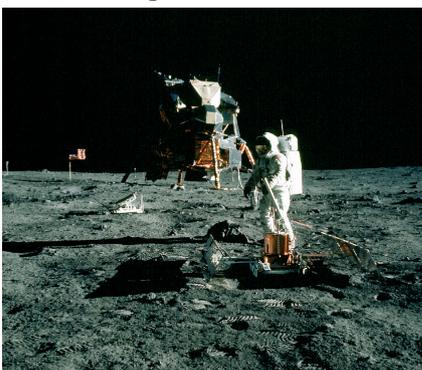
1960: Das größte je aufgezeichnete Beben tritt in Chile auf, mit einer Magnitude von  $M=9,5$ .

1961: Das Weltweit Standardisierte Seismische Netzwerk (WWSSN) wird etabliert, um Erdbeben und nukleare Tests zu beobachten. Die norwegische Station KONO in Kongsberg wird 1962 als Teil des Netzwerkes eingerichtet. Die gesammelten Daten des WWSSN spielten eine zentrale Rolle bei der Unterstützung der Theorie der Plattentektonik. WWSSN wurde später durch IRIS (Incorporated Research Institution for Seismology) übernommen und besteht heute als Globales Seismisches Netzwerk (GSN).

1966: Keiiti Aki definiert das Seismische Moment, ein physikalisches Maß der Magnitude eines Erdbebens.



1969-72: Die Apollo Astronauten platzieren ein Seismometer auf dem Mond. Daraufhin werden die ersten Mondbeben registriert.

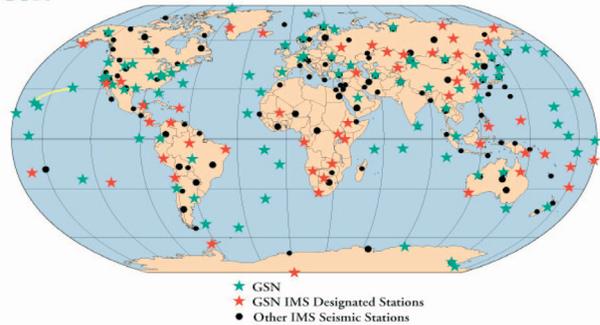


1977: Hiroo Kanamori etabliert die Moment-Magnituden Skala. Das ist eine Art Magnitudenmessung basierend auf dem Seismischen Moment. Die Moment-Magnituden- Skala wird heute von den meisten Seismologen genutzt.

1996: Der Atomteststopp-Vertrag (CTBT) wird abgeschlossen und bis 2005 von 174 Ländern unterzeichnet. Zur gleichen Zeit wird das Internationale Datenzentrum in Wien errichtet. Es koordiniert die Überwachung des Vertrages. Das Internationale Kontrollsystem (IMS) übernimmt die seismische Beobachtung. Die Karte zeigt die weltweite Verteilung von GSN- und IMS- Stationen.



GLOBAL SEISMOGRAPHIC NETWORK  
& INTERNATIONAL MONITORING SYSTEM (IMS)



### Meilensteine der Seismologie in Norwegen

Seit 1830 ist die Seismologie in Norwegen eine etablierte Wissenschaft. Zu dieser Zeit begann B.M. Keilhau Erdbeben zu beobachten. Die wichtigsten Ereignisse der Seismologie in Norwegen werden im Folgenden beschrieben.

1819: Am 31. August wird ein starkes Erdbeben in der Nähe von Lurøy (Nordnorwegen) registriert. Das ist das bisher größte Erdbeben in Nordwest- Europa mit einer Stärke von  $M=5.8$ .

1836: B.M. Keilhau publiziert "Etterretninger om jordskjelv i Norge". Er beschreibt darin Erdbeben in Norwegen bis zum Jahre 1834.

1887: Hans Reusch, Direktor der Norwegischen Geologischen Gesellschaft (NGU), beginnt systematische Untersuchungen zu Erdbeben in Norwegen.



1888: T.Ch. Thomassen veröffentlicht "Berichte über die wesentlich seit 1834 in Norwegen eingetroffenen Erdbeben". Die Berichte beschreiben Erbeben in Norwegen im Zeitraum von 1834 bis 1887.

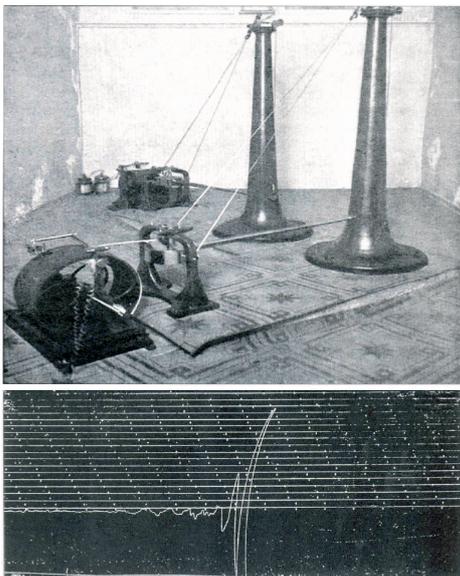
1899: Das Bergen Museum übernimmt die systematischen Untersuchungen von Erdbeben.

1900: C.F. Kolderup bittet zum ersten Mal um eine Finanzierung eines Seismographen in Bergen. Die Bewerbung wird abgelehnt.

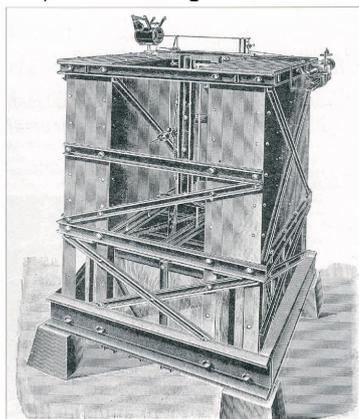


1904: Am 23. Oktober tritt im Oslofjord ein großes Erdbeben mit der Stärke  $M=5.4$  auf. Norwegen schließt sich der internationalen Staatenkonvention zur Verbesserung der Erdbebenforschung an. Die Finanzierung der Installation eines Seismographen in Bergen wird gewährt.

1905: Die erste seismische Station in Norwegen, ein Zwei-Komponent-Bosch-Omori Seismograph, wird im Keller des Bergen Museums eingerichtet. Das Instrument wird bis 1959 benutzt. Während der ersten 10 Jahre werden etwa 70 Erdbeben aufgezeichnet. Das erste Beben (aus der Westmongolei) wird in Bergen am 9. Juli aufgenommen.



1921: Ein Wiechert Horizontalseismograph (2 Komponenten) wird im Bergen Museum installiert.



1923: Ein Vertikalseismometer wird im Bergen Museum eingerichtet. Das erste Büro des Seismologischen Observatoriums befindet sich in der Joachim Frieles gate 1.

1946: 9. April: Die norwegische Regierung entscheidet eine Universität in Bergen zu gründen. Die systematischen Untersuchungen werden daraufhin von der Universität übernommen.

1958: Juli: Die erste seismische Station außerhalb Bergens wird mit einem Willmore Vertikalseismometer im Isfjorden auf Spitzbergen eingerichtet.



1959: Die US Coast and Geodetic Survey übergibt dem Tromsø Museum ein 3-Komponenten-Benioff-Seismograph mit einem Aufnahmegerät.

Der erste selbstgebaute Seismograph wird in Bergen in Betrieb genommen.

1960: Das Seismologische Observatorium (Jordskjelvstasjoner) wird ein unabhängiges Universitätsinstitut.

1961: Die erste seismische Station wird auf Jan Mayen eingerichtet.

Im März zieht das Seismologische Observatorium um. Es befindet sich jetzt im Villaveien 9.

1962: Während des Skagerrak-Projektes entdeckt das Seismologische Observatorium mit Hilfe seismischer Untersuchungen das erste Mal Gesteine auf dem norwegischen Kontinentalrand, die womöglich Öl und Gas enthalten. Das ist der Beginn der norwegischen Ölindustrie.

1963: In Zusammenarbeit mit der Universität in Bergen installiert die US Coast and Geodetic Survey eine seismische Anordnung (Array) in Lillehammer. Es dient der Forschung zur Identifizierung von Explosionen mit Hilfe seismischer Daten.

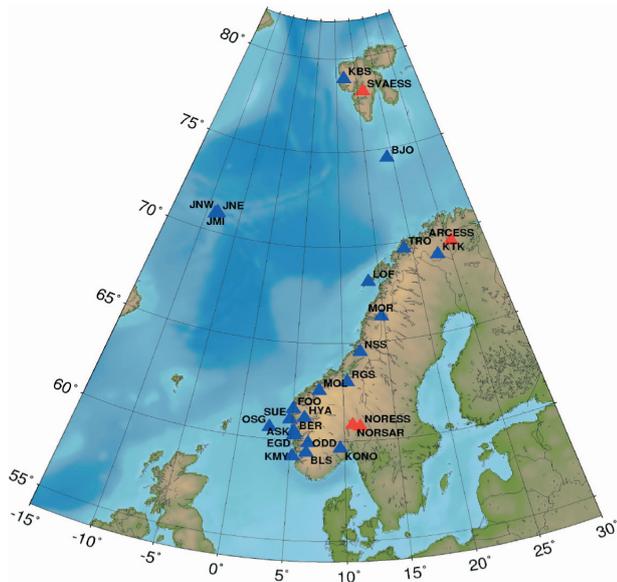
1968-70: NORSAR (Norwegian Seismic Array) wird mit einer seismischen Anordnung in Mjøsa und einem Daten- und Forschungszentrum in Kjeller gegründet. NORSAR soll als ein Forschungsinstitut in Kooperation mit dem Seismologischen Observatorium und dem Auswärtigen Amt arbeiten. NORSAR wurde vor allem gegründet, um nukleare Tests zu beobachten. NORSAR ist heute ein unabhängiges Institut, das zusätzlich beratende Tätigkeiten in allen Bereichen der Seismologie anbietet.

1977: Jordskjelvstasjoner zieht in das Realfagbygget um, das Gebäude für Naturwissenschaften.

1990: Die Erdbebenbeobachtung als auch die

seismologische Forschung und Lehre ziehen in die neu gegründete Abteilung für Physik der festen Erde um. Dieser Fachbereich besteht aus dem Seismologischen Observatorium und einem Teil des Geophysik-Institutes (Abteilung für Erde- und Paläomagnetismus).

1992: Das Norwegische Nationale Seismische Netzwerk (NNSN) wird gegründet. Es basiert auf den Netzwerken im Süden, Norden und Westen des Landes sowie einzelner Stationen, die von der Universität in Bergen geleitet werden. Das Netzwerk wird von der Universität Bergen und der Vereinigung der Ölfeldindustrie (OLF) finanziert. Die Karte zeigt die Stationen, die zur Zeit der Gründung in diesem Netzwerk enthalten waren. Die blauen Dreiecke sind NNSN-Stationen; die roten Dreiecke gehören zu NORSAR.



2003: Die Überwachung von Erdbeben sowie die seismologische Forschung und Lehre ziehen in die Abteilung für Geowissenschaften um, ein Zusammenschluss aus dem Institut für Physik der festen Erde und dem Geologischen Institut.

Der hohe Standard der Seismologie in Norwegen zeigt sich in:

- Lehrprogrammen für norwegische und ausländische Studenten. Heute hat die UiB das größte seismologische Angebot in den nordischen Ländern
- Ölbezogener Forschung und Lehre. Sie erlebte einen 'flying start' als mit Hilfe der Seismologie große Ölreserven am Kontinentalrand Norwegens entdeckt wurden. Diese Arbeiten wurden fortgeführt und heute ist Norwegen eines der führenden Länder in der Ölforschung.
- Vielen internationalen Projekten, die von der UiB und NORSAR geleitet werden.
- Softwareentwicklungen an der UiB, die in mehr als 50 Ländern genutzt werden.
- Projekten in Entwicklungsländern mit hohem seismischen Gefährdungspotential.
- Forschung mit norwegischen und globalen Fragestellungen bezogen auf die Seismologie.

Später im Katalog zeigt eine Karte Länder, die mit norwegischen Instituten zusammenarbeiten und die am Studentenaustausch beteiligt sind. Die Bilder darunter zeigen einige unserer internationalen Aktivitäten.



Seismische Station im Iran



Lehre in Kuwait

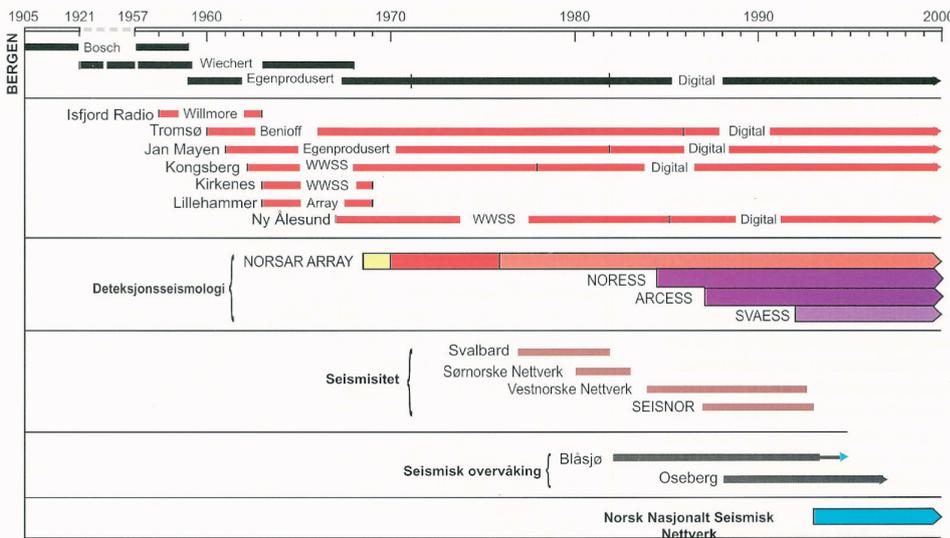


Seismische Station in Uganda



Seismische Station in Tibet

# Nationales Norwegisches Seismisches Netzwerk

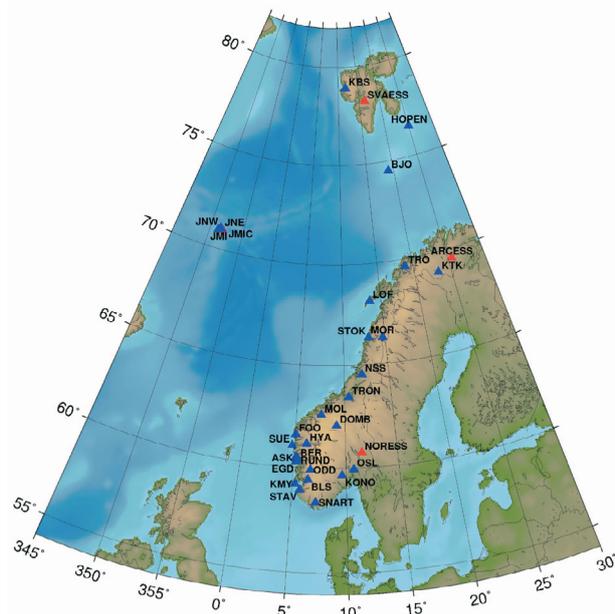
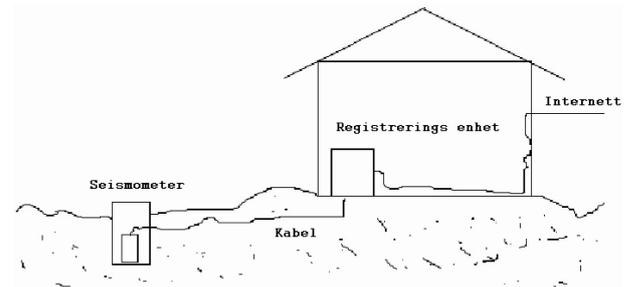


Zeitliche Abfolge von seismischen Stationen in Norwegen. Von oben: Schwarze Linien markieren Stationen in Bergen, dünne rote Linien sind weitere Stationen der UiB, dicke rote Linien markieren NORSAR und dünne braune und schwarze Linien sind befristete lokale Netzwerke, die von der UiB und NORSAR betrieben werden. Abkürzungen: WWSSN: Weltweit Standardisiertes Seismisches Netzwerk. NORESS, ARCESS und SVAESS sind NORSAR.

Mit der Installation eines Seismographen 1905 im Bergen Museum beginnt die Inbetriebnahme des Nationalen Norwegischen Seismischen Netzwerkes (NNSN). Von da an arbeiten einige einzelne Stationen, kleine lokale Netzwerke und Arrays zusammen. 1992 wurden, bis auf die Stationen der NORSAR (Norwegische Seismische Array), alle Stationen zu einem nationalen Netzwerk zusammengefasst. Die norwegische Ölindustrie unterstützt seit 1984 die Arbeit der seismischen Stationen der Universität Bergen. Das NNSN wird heute von der Universität Bergen und der Norwegischen Vereinigung der Ölindustrie finanziert. Geleitet werden diese Stationen von der Abteilung für Geowissenschaften an der Universität Bergen.

aufgebaut. Vom Seismometer ausgehend führt ein Kabel ("Kabel") zur Registriereinheit ("Registrierings enhet"). Diese Registriereinheit ist meist ein Analog-Digital-Wandler und ein PC. Via Internet (Telefon oder ADSL) werden die Daten dann an die Universität Bergen gesendet.

## Typische Inneninstallation des NNSN.



Nationales Norwegisches Seismisches Netzwerk (NNSN) und andere seismische Stationen in Norwegen. Blaue Symbole sind NNSN Stationen und rote Stationen markieren die der NORSAR. Die Station JMJC wird von NORSAR betrieben.

## Typische NNSN-Stationen

Um Störeinflüsse des Gebäudes zu vermeiden werden ein oder mehrere Seismometer außerhalb des Hauses

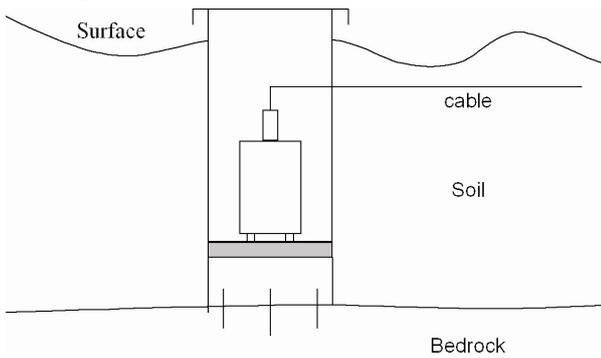


Typische Sensoreninstallation

Es ist wichtig, dass das Seismometer eine gute Anbindung an den Untergrund (das Gestein) hat. Damit versucht man Störungen durch Erschütterungen der Bodenschichten zu vermeiden.

Eine typische NNSN Station besteht aus einer in das Gestein einzementierten Plastikröhre, die mit Eisenankern befestigt ist. Um Windeinflüsse zu vermeiden installiert man Seismometer unterirdisch. Diese Art Installation wird benutzt um Signale bis

zu 0.2 Hz zu empfangen und ist damit gut geeignet, norwegische Beben zu messen.



Schematische Darstellung des Aufbaus. Die Anordnung befindet sich unter der Erdoberfläche ("Surface").



Ein kurzperiodischer Sensor ist fertig zum Einbau

### Seismische Station auf Jan Mayen

Jan Mayen ist unsere Außenstelle in der Nordsee. Hier befindet sich der einzig aktive Vulkan Norwegens (Beerenberg) und hier treten die größten Beben auf. Via Satellit werden die Daten von Jan Mayen übertragen. Deshalb kann eine kontinuierliche Beobachtung des Beerenbergs gewährleistet werden.



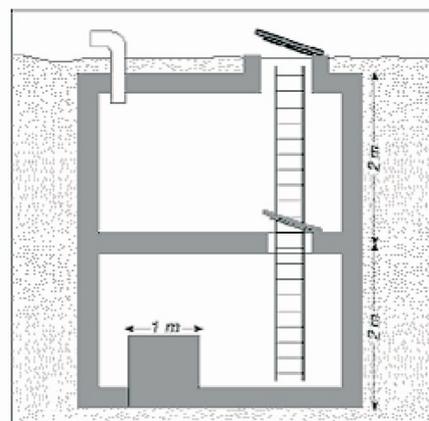
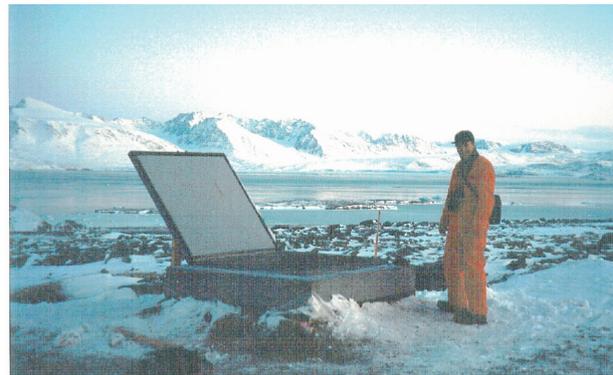
Der Vulkan Beerenberg



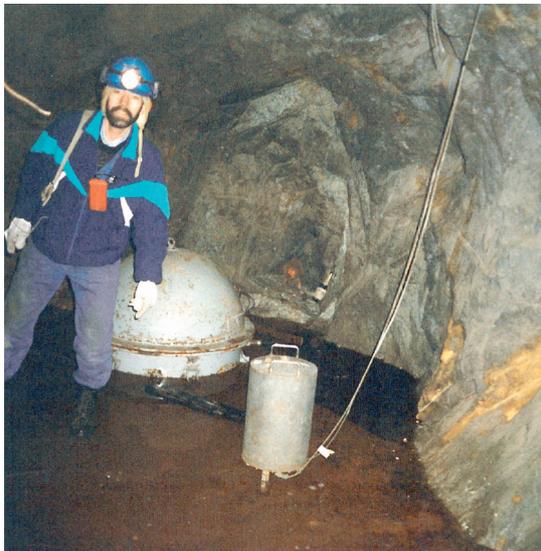
Durch eine Windmühle und einen Solarzelle wird die Station nahe des Beerenbergs mit Elektrizität versorgt. Das Seismometer befindet sich rechts in der gelben Kiste. Die Daten werden über Funk zur Basisstation auf Jan Mayen gesendet.

### Breitbandstationen des NNSN

Breitbandstationen sind besonders gut geeignet um weltweite Erdbeben zu registrieren. Sie müssen in der Lage sein sehr niedrige Frequenzen bis zu 0.001 Hz zu messen. Das entspricht einer Schwingung mit einer Periode von 1000 Sekunden. Sie benötigen eine sehr stabile Temperatur und hohe technische Anforderungen. Es gibt 5 Breitbandstationen im NNSN.

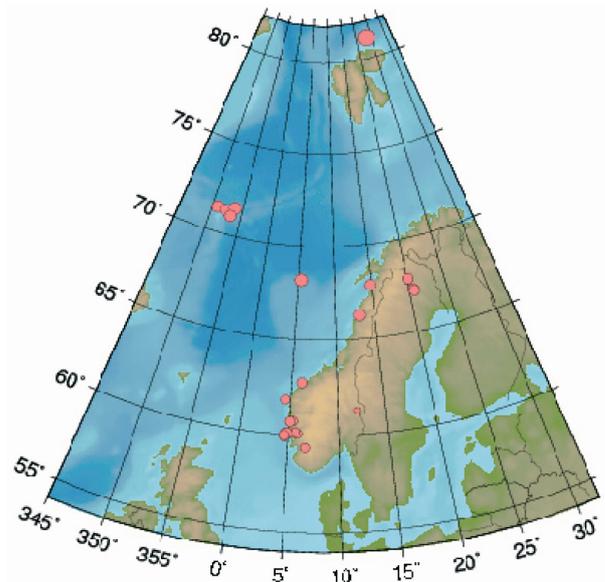


Die Station in Ny Ålesund auf Spitzbergen. Auf dem rechten Foto sieht man den Eingang zur Station, auf dem linken Bild eine Skizze der Station. Das Seismometer befindet sich im unteren Raum, um Druck- und Temperaturänderungen zu minimieren.



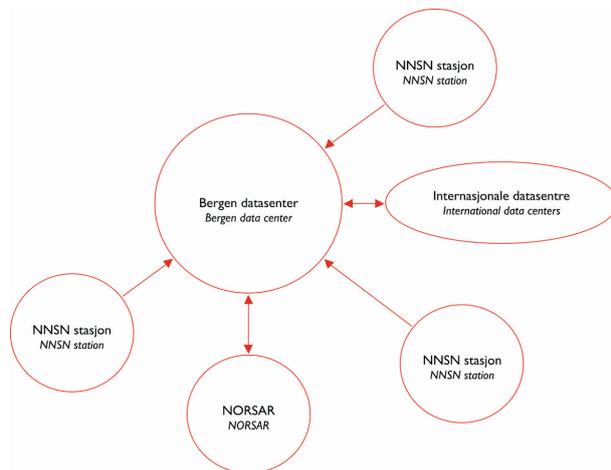
Die Station in Kongsbergs alter Silbermine. Sie ist eine der besten Stationen der Welt auf Grund ihrer Lage tief in der Mine.

## NNSN und die Öffentlichkeit

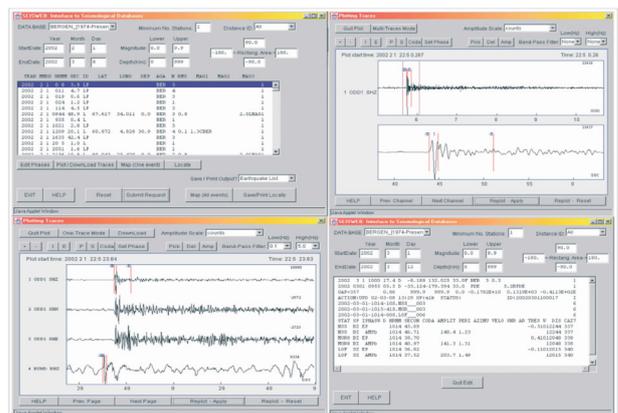


Auf der Webseite des NNSN werden kontinuierlich die neuesten Informationen über Erdbeben in Norwegen veröffentlicht. Die Karte zeigt Ereignisse der letzten 10 Tage.

## Datenübertragung des NNSN



- Die Daten vom NNSN werden 24 Stunden am Tag empfangen
- Bearbeitete Daten kommen jeden Tag von NORSAR und internationalen Datenzentren
- Alle norwegischen Daten und bestimmte auswärtige Daten werden zusammen bearbeitet (Berechnung von Ort und Magnitude) und in einer Datenbank der UiB gespeichert
- Alle Daten sind öffentlich zugänglich und werden zu internationalen Datenzentren geschickt



Auf der NNSN Webseite kann man Daten ansehen und kopieren.



### Makrosesimisk sporreskjema

i forbindelse med jordskjelv  
01.11.2004 kl 22:26 GMT/UTC  
(01.11.2004 kl 23:26 lokal tid)

Institutt for geovitenskap ved Universitetet i Bergen ønsker å kartlegge omfanget av rystelsene av dette skjelvet. Det er viktig at selv de som knapt merket jordskjelvet besvarer dette skjemaet.

Ble skjelvet merket?  Ja  Nei

Hvor var du?  Ute  Inne

Var du våken eller sov?  Våken  Sov

Bygningstype:  Tre  Mur/lettbetong  Betong

Antall etasjer i bygningen:

Jordbunnstype:  Fjell  Sand  Leire  Løsmasser

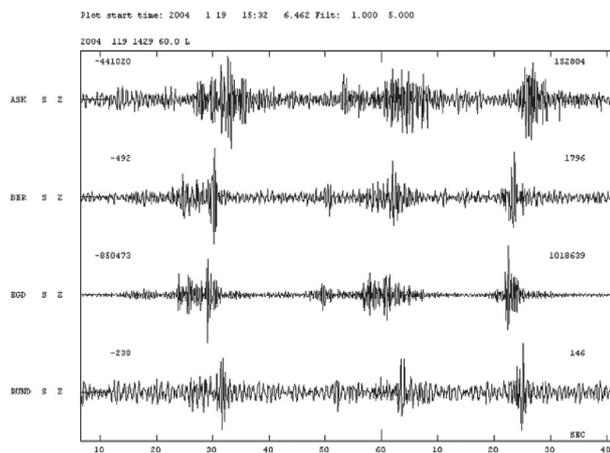
Wenn sich ein fühlbares Erdbeben ereignet hat, sammelt NNSN Informationen aus der Öffentlichkeit durch direkte Befragungen und über die Webseite.

NNSN hat einen 24-Stunden Telefonservice, wo man sich über Erdbeben informieren kann. Telefonnummer während der Öffnungszeiten: 55 58 34 10, 55 58 36 00, außerhalb der Öffnungszeiten: 55 14 00 98, 55 12 27 23, 55 93 70 73, www.geo.uib.no

## Nutzung der Daten

- Generelle Informationen für die Öffentlichkeit über aktuelle Ereignisse; Erdbeben und andere Ereignisse
- Beispiele für andere Ereignisse sind Explosionen, Schiffsuntergänge (Rocknes), Unfälle (Untergang der Sleipner Plattform), induzierte Erdbeben (Ekofisk) oder Rutschungen
- Seismische Gefährdung: Daten des NNSN sind besonders wichtig für den Bau von Ölplattformen
- Forschung

## Untergang der Rocknes



Im Zusammenhang mit dem Untergang des Schiffes Rocknes am 19. Januar 2004, registrierten die NNSN Stationen rund um Bergen ein ungewöhnliches Signal. Die stärksten Signale wurden in den Stationen ASK: Askøy, BER: Universität in Bergen, EGD: Espegrend und RUND: Rundemannen wahrgenommen. Der erste Einsatz geschah um 15:32:10 GMT (16:32:10 lokale Zeit). Die Zeitskala ist in Sekunden.

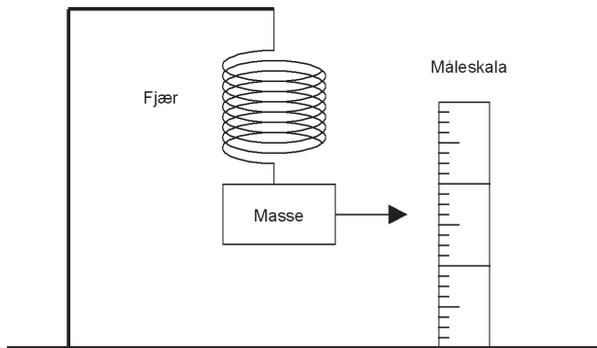
# Seismische Instrumente

Seismische Instrumente werden genutzt um Bodenbewegungen zu registrieren, die durch Erdbeben ausgelöst werden. Sie sind die Grundlage für seismologische Forschung. Ohne diese Art Instrumente gäbe es nur wenige Erkenntnisse über Erdbeben und den Erdaufbau. Der nächste Abschnitt erklärt wie seismische Instrumente funktionieren.

## Wie funktioniert ein Seismometer?

Ein Seismograph setzt sich zusammen aus einem Seismometer und einer Registriereinheit.

Das Seismometer nimmt die Bodenbewegungen wahr und wandelt das Signal so um, dass es aufgezeichnet werden kann. Moderne Seismographen können Bewegungen kleiner als ein Nanometer ( der millionste Teil eines Millimeters) messen.

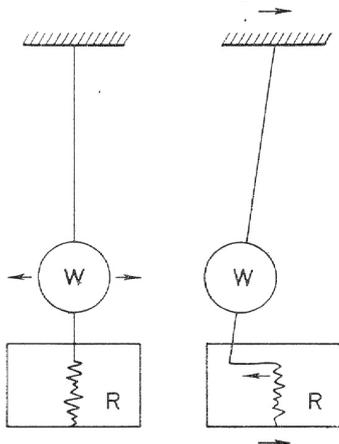


Funktionsweise: Wenn sich der Boden schnell bewegt, bleibt die an einer Feder aufgehängte Masse auf Grund ihrer Trägheit in Ruhe. Die Messung erscheint auf der Skala („Måleskala“) rechts. Mechanische Seismographen beruhen auf diesem Prinzip.

Der Seismograph in Bild II misst die vertikale Bodenbewegung. In modernen Seismometern ist die Masse magnetisch und von einer Spule umwickelt, so dass ein elektrisches Signal erzeugt wird, wenn sich die Masse bewegt.

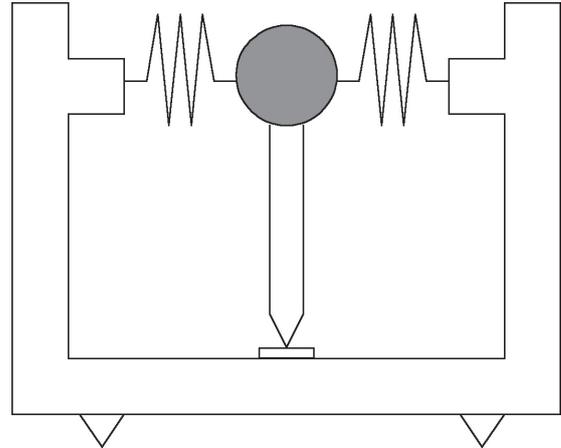
## Horizontale Bewegung

Erdbeben erzeugen vertikale und horizontale Bewegungen. Um eine horizontale Verschiebung zu messen, benötigt man dementsprechend eine Masse, die in der horizontalen Ebene schwingt.

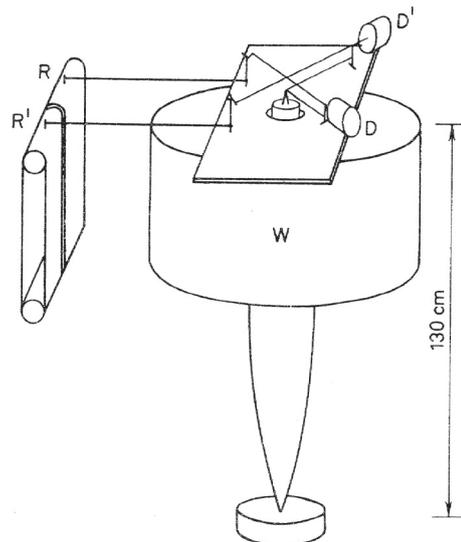


Ein einfaches horizontales Pendel. Wenn sich der Boden nach rechts bewegt, bewegt sich die Masse nach links.

Die Bodenbewegung wird auf fortlaufendem Papier aufgezeichnet. Die Masse kann in alle Richtungen pendeln. Um auch niedrige Frequenzen aufnehmen zu können, muss die Masse an einem langen Pendel aufgehängt werden. Aus diesem Grund wird ein invertiertes oder auch umgekehrtes Pendel verwendet.

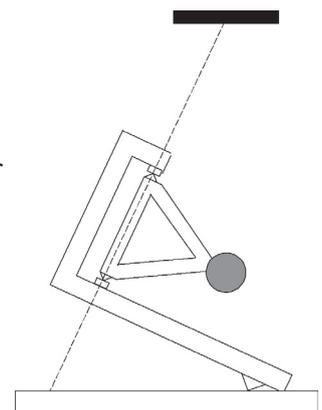


Invertiertes Pendel: Die Masse kann in alle horizontalen Richtungen schwingen. Das ist das Prinzip des Wiechert-Seismographen. Dieser wurde von 1921 bis 1968 in Bergen benutzt, siehe unteres Bild.

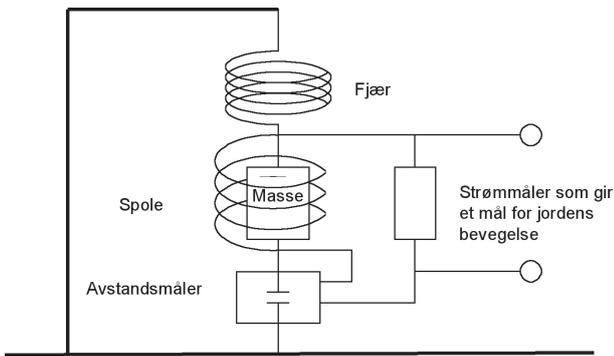


Der Wiechert- Seismograph: Die horizontale Bewegung der Masse wird durch zwei Arme gemessen. Auf Grund von diversen Hebeln kann die Bewegung verstärkt werden und auf rotierenden Trommeln aufgezeichnet werden (R). Der Seismograph kann horizontale Bewegungen in Ost-West als auch in Nord-Süd Richtung aufzeichnen.

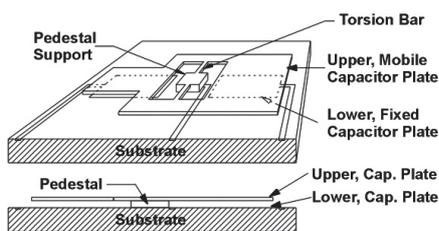
Aufgehängtes Pendel: Die Masse schwingt horizontal nur in eine Richtung. Sie hängt geneigt, um ihre Schwingungen zu verlangsamen (vergleichbar mit einer schräg eingehängten Tür). Dieses Prinzip ist Grundlage des Bosch-Seismographen.



## Moderne Seismische Sensoren



In modernen Sensoren bewegt sich die Masse fast nicht. Sie ist an einer Feder („Fjær“) aufgehängt, gerät sie aus dem Gleichgewicht wird dies durch einen Abstandsmesser aufgezeichnet („Avstandsmåler“). Ändert die Masse ihre Position, wird dies sofort registriert und ein Strom in der Spule („Spole“) verhindert weitere Bewegungen. Die Masse bleibt stationär, je größer die Bewegung desto größer ist der Strom. Dieser Zusammenhang wird verwendet, um ein Maß für die Bodenbewegung zu erhalten (genauer die Bodenbeschleunigung). Solche Beschleunigungsmesser (Accelerometer) können sehr kompakt und feinfühlig konstruiert werden. Diese Instrumente sind auch für andere Zwecke weit verbreitet, zum Beispiel als Auslöser für Air Bags.



Beschleunigungsmesser auf einem Elektrochip. Der Bewegungsmesser ist ein Kondensator („Capacitor plate“), die Masse ist die obere Kondensatorplatte („Upper, Mobile Capacitor Plate“). Diese ist an der Drehstabfederung (Torsion bar) aufgehängt. Der Chip ist 2x2 mm groß.

## Frequenzmessungen

Seismometer messen Signale mit Frequenzen zwischen 0.001 Hz und 100 Hz

Es ist relativ einfach, Seismometer zu konstruieren, die Frequenzen über 0.1 Hz messen (kurzperiodische Seismometer)

Seismometer, die Frequenzen unter 0.1 Hz messen sollen sind schwieriger zu konstruieren (langperiodische Seismometer)

Moderne (und teure) Seismometer messen sowohl niedrige als auch hohe Frequenzen (Breitbandseismometer). Technisch basieren sie auf dem Prinzip eines Beschleunigungsmessers.

## Aufzeichnung von seismischen Signalen

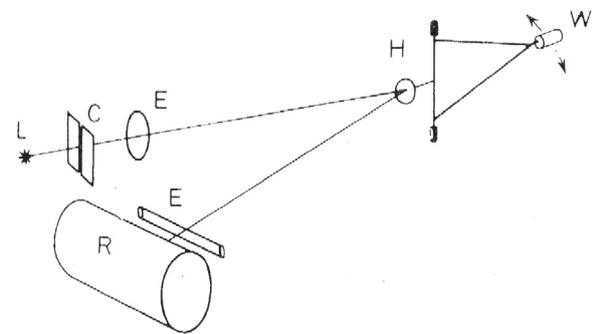
Die Sensoren erzeugen ein Signal. Auf älteren Seismogrammen wurde dieses Signal mechanisch aufgezeichnet. Alle modernen Sensoren senden ein elektrisches Signal, welches auf unterschiedliche Art und Weise aufgezeichnet werden kann: Aufzeichnungen auf

Papier, die normalerweise 24 Stunden andauern, werden Seismogramme genannt.

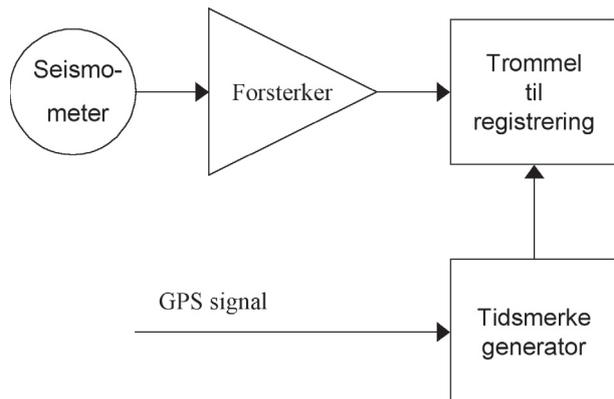
**Optisch.** Das elektrische Signal wird zu einem Galvanometer mit Spiegel gesendet. Der Lichtstrahl wird vom Spiegel reflektiert und auf einer rotierenden Rolle mit lichtempfindlichem Papier aufgenommen. Diese Methode wurde von 1900 bis vor einigen Jahren verwendet.

**Schreiber.** Anstatt eines Lichtbündels wird ein elektrischer Schreiber verwendet, der ebenfalls auf einer, rotierenden Papierrolle aufzeichnet. Der Schreiber kann mit Tinte verwendet werden oder auf geschwärztem Papier ritzen. Eine weitere Möglichkeit ist ein wärmeerzeugender Schreiber, der auf hitzeempfindlichen Papier schreibt (Rolle läuft in der Ausstellung).

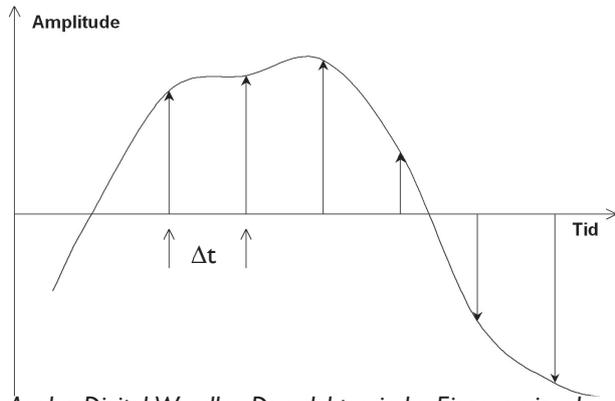
**Digitale Aufzeichnung.** Heutzutage verwenden fast alle Seismographen digitale Aufzeichnung. Das elektrische Signal wird in ein digitales umgewandelt und von einem Computer erfasst.



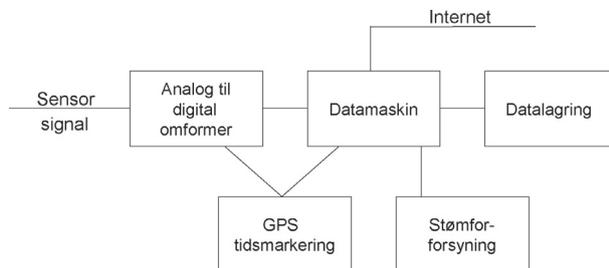
Optische Registrierung: Das elektrische Signal wird an ein Galvanometer mit Spiegel (H) geschickt. Ein Lichtstrahl (L) wird vom Spiegel (H) reflektiert und auf einer Rolle mit optischem Papier aufgezeichnet. Vor der Rolle befindet sich eine Linse, die dazu dient den Lichtstrahl zu bündeln.



Schreiberaufnahmen eines seismischen Signals: Das Signal eines Seismometer wird verstärkt („Forsterker“) und zur Aufnahmetrommel gesendet („Trommel til registrering“). Das Signal eines GPS-Empfängers (Global Positioning System) wird genutzt um minütliche und stündliche Pulse zu erzeugen die gleichzeitig mit dem seismischen Signal aufgenommen werden. In früheren Zeiten verwendete man mechanische Uhren.



**Analog-Digital-Wandler:** Das elektronische Eingangssignal ist kontinuierlich, das bedeutet dass man zu jeder Zeit die Grösse des Signals (Amplitude) kennt. Der Wandler (AD) misst die Amplitude in bestimmten Zeitintervallen ( $\Delta t$ ) und gibt die Werte für die Amplitude in einer Zahlenfolge aus. Diese wird dann von einem Computer gelesen. Generell werden bei seismischen Messungen ca. 100 Werte pro Sekunde erfasst. Im Vergleich dazu wird digitale Musik auf einer CD mit ca. 44 000 Werte pro Sekunde gelesen.

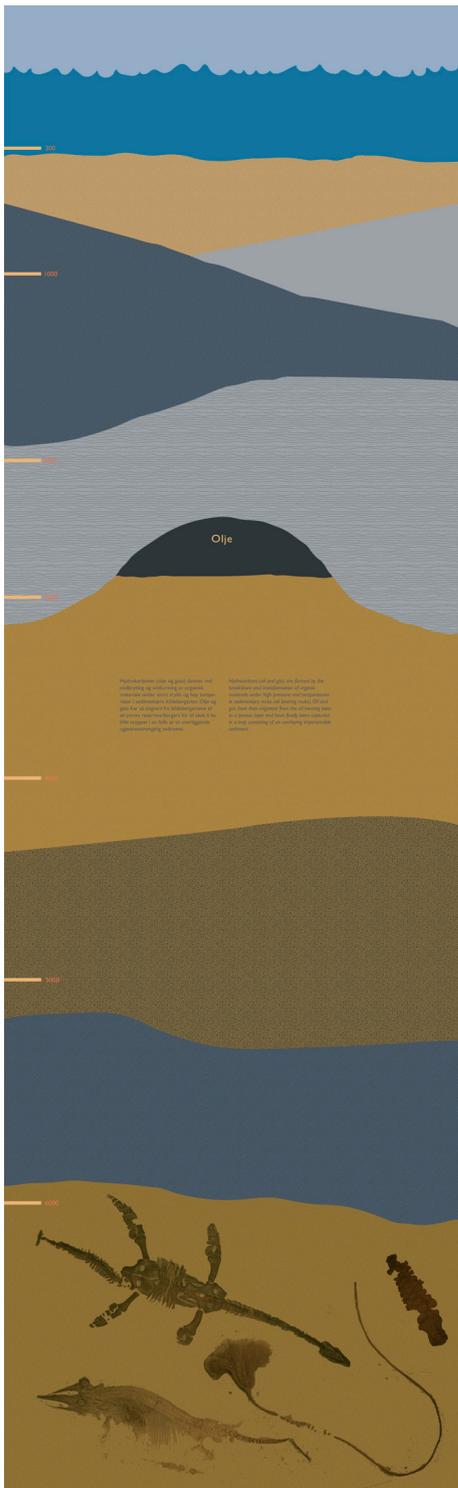


**Digitale Seismische Stationen:** Das Signal wird zu einem Analog-Digital-Wandler („Analog til digital omformer“) gesendet und konvertiert. Anschließend wird es von einem Computer aufgenommen und gespeichert („Data lagring“). Von dort wird das Signal via Internet zu zentralen Datenzentren geschickt. „GPS tidsmarkering“ bedeutet das man genaue Zeitmarken durch GPS empfängt und „Stømforsyning“ bedeutet Energiequelle.

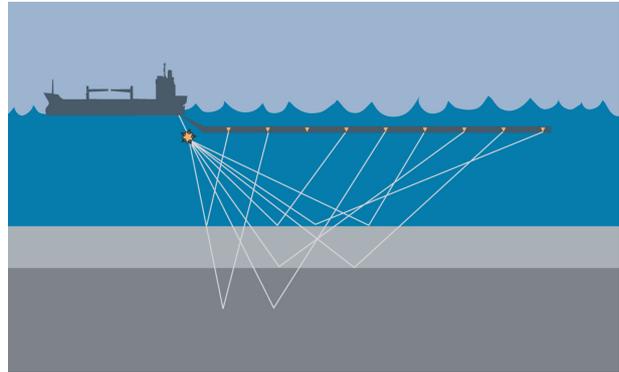
## Seismologie und Öl

Die Methoden der Ölsuche basieren auf seismischen Prinzipien. Seit 1960 spielt das Seismologische Observatorium eine zentrale Rolle. Einerseits in Verbindung mit der Erforschung des Norwegischen Kontinentalschelfs und andererseits in der Ausbildung von Fachkräften für die norwegische und ausländische Ölindustrie.

Kohlenwasserstoffe (Öl und Gas) entstehen durch die Zersetzung und Umwandlung von organischen Materialien unter hohem Druck und hohen Temperaturen in Sedimentgesteinen (ölführende Gesteine). Sie können aus dem Muttergestein in ein poröses Gestein aufsteigen (migrieren) und werden letztendlich in einer Falle festgehalten, wenn die darüber liegenden Gesteine für Öl und Gas undurchlässig sind.



In seismischen Untersuchungen werden die Sedimentschichten kartiert, die potentielle Fallen für Öl und Gas darstellen. In früheren Zeiten wurden Sprengstoffe verwendet um seismische Wellen zu erzeugen. Dies stieß auf Widerstand in der Fischereiindustrie, da die Detonationen den Fischbestand gefährdeten. Deshalb suchte man nach alternativen Energiequellen. Seit den sechziger Jahren verwendet man zunehmend Druckluft und heute werden fast ausschließlich die sogenannten air-guns (Luftkanonen) verwendet.



Reflexionen von Schichten im Untergrund werden durch Sensoren (Geophone) aufgenommen, die in einem Kabel hinter dem Schiff hergezogen werden.

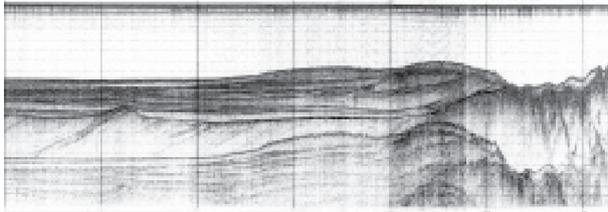


Modernes Seismisches Schiff



Luftkanonen werden abgefeuert

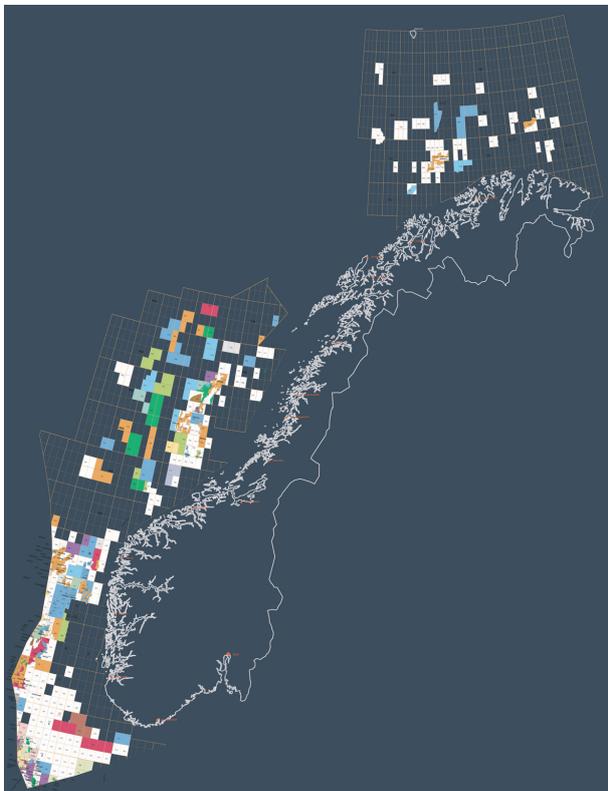
Ein Beispiel einer seismischen Sektion. Sie verläuft westlich von Bergen und durch Norskerennen. Die geologischen Schichten werden als Linien in der seismischen Sektion sichtbar.



Es ist seit längerem bekannt, dass der südliche Teil des Meeresgrundes der Nordsee mit Sedimenten bedeckt ist. Viele Geologen glaubten jedoch, dass diese Sedimente begrenzt werden entlang einer südlichen Linie zwischen Schottland und Südnorwegen, wo alte Granite freigelegt sind. Es war deshalb sehr überraschend, als Experten des Seismologischen Observatoriums zeigen konnten, dass massive Sedimentschichten (einige Kilometer dick) entlang des gesamten Kontinentalschelfs vorhanden sind, einschließlich der Barentssee und der Region um Spitzbergen. Daraufhin waren Fachleute des Seismologischen Observatoriums sehr gefragt und spielen seit den siebziger Jahren eine zentrale Rolle im Aufbau der norwegischen Ölindustrie.



Das Ekofisk Feld



Diese Karte zeigt ein Ölfeld auf dem norwegischen Kontinentalschelf. Die farbigen Gebiete sind Felder in denen Öl gewonnen wird.

In Ekofisk auf dem norwegischen Schelf gab es die ersten Ölfunde in der Nordsee. Das war im Jahr 1969 und die Produktion begann daraufhin im Jahr 1971. Auf Grund der Ölentnahme senkte sich das Feld immer weiter. Um diesen Vorgang zu unterbinden wurde Wasser in das Reservoir gepumpt. Auf Grund eines Fehlers im Bohrloch wurde versehentlich Wasser in eine Schicht über dem Reservoir gepumpt. Das Ergebnis war ein durch menschliche Fehler erzeugtes Erdbeben der Magnitude 5 am 5. Mai 2001. Um dieses Ereignis zu verstehen, waren Registrierungen des Norwegischen Nationalen Seismischen Netzwerkes ein wichtiger Bestandteil.





