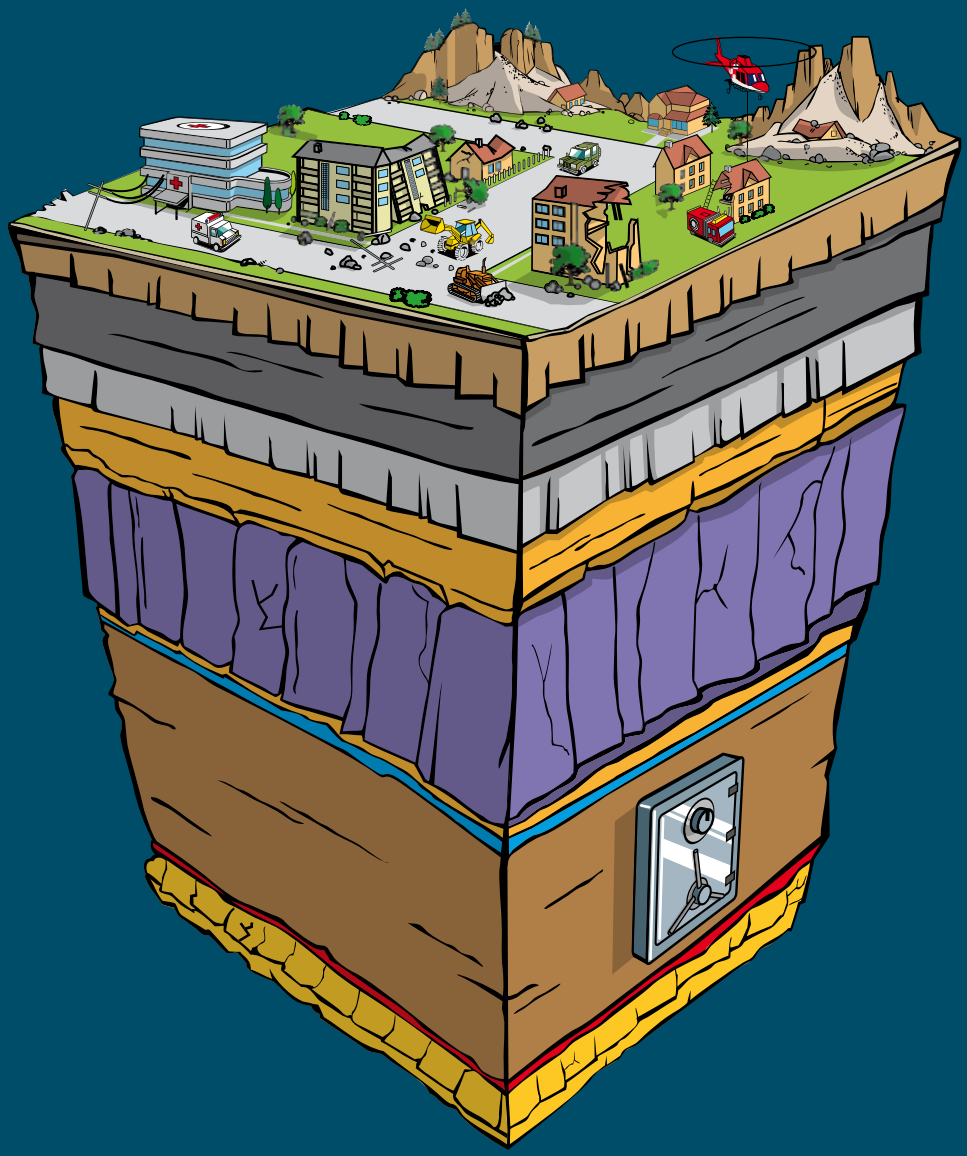
erdbeben

keine gefahr für tiefenlager



nagra. aus verantwortung

Impressum

Zu diesem Heft

An Ausstellungen, auf der Informationstour und bei Vorträgen werden häufig Fragen zum Thema Erdbeben im Zusammenhang mit der Sicherheit eines Tiefenlagers für radioaktive Abfälle gestellt. Das vorliegende Themenheft gibt einen einfachen Überblick über die wichtigsten Aspekte rund um Erdbeben und geologische Tiefenlager.

Links
Weitere Informationen und eine Zusammenstellung interessanter Links zum Thema Erdbeben finden Sie auf unserer Internetseite www.nagra.ch.

Erdbeben
Die Nagra veröffentlicht in loser Abfolge Themenhefte zur nuklearen Entsorgung
März 2010

Bearbeitung
Dr. Andrea Rieser (Text und Bild)
Alice Hellenbrandt (Satz, Bildbearbeitung)
W4, Wettingen (Titel-Illustration)

Druck
Brogle Druck AG, Gipf-Oberfrick



Erdbeben 4 – 9

Erdbeben ereignen sich hauptsächlich entlang der Ränder von Kontinentalplatten. Einige Gebiete auf der Erde sind dadurch stärker gefährdet als andere.



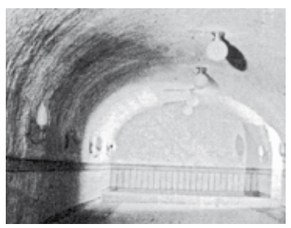
Auswirkungen von Erdbeben 10 – 13

Häufig verursachen Feuer, Überschwemmungen und Flutwellen grössere Schäden als das eigentliche Beben.



Erdbeben in der Schweiz 14 – 17

Die Schweiz gilt als mässig bis mittel Erdbeben gefährdet. Pro Jahr ereignen sich wenige spürbare Erdbeben. Durch eine sichere Bauweise können die Auswirkungen sehr klein gehalten werden.



Untertagebauten und Tiefenlager 18 – 23

Untertagebauten sind bei einem Erdbeben weniger gefährdet als Gebäude an der Erdoberfläche. Je tiefer wir in der Erdkruste sind, desto weniger spüren wir von einem Erdbeben.

Erdbeben



USGS, D. Cavit 1979
Versetzte Ackerfurchen, Kalifornien.

Erdplatten sind in ständiger Bewegung. Hauptsächlich an den Plattengrenzen bauen sich bei Verschiebungen Spannungen auf, die teilweise in Form von Erdbeben abgebaut werden. Je grösser die aufgestaute Energie, desto heftiger die Erschütterung bei der Entspannung.

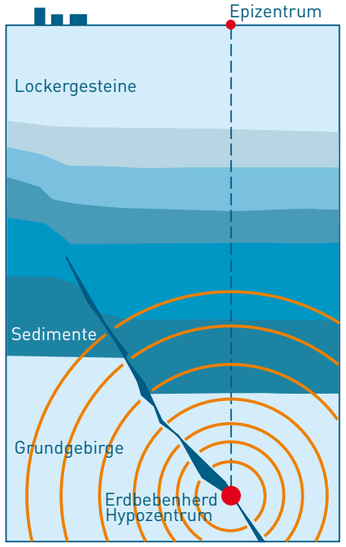
Erdbeben begleiten und beunruhigen die Menschen schon seit Urzeiten. Wo und wann das nächste Beben stattfindet weiss niemand. Es gibt aber auf der Erde Gebiete, die aufgrund ihrer geologischen Lage stärker erdbebengefährdet sind als andere.

Erdbeben sind Ereignisse, bei denen aufgestaute Spannungen schlagartig durch Verschiebungen von Gesteinsblöcken abgebaut werden. Diese Vorgänge im Erdbebenherd (Bild 1) lösen Erschütterungen der Erdkruste aus.
Die jährliche Anzahl Erdbeben bleibt langfristig weltweit ungefähr gleich. Durch die globale Berichterstattung nimmt allerdings die Beachtung von Erdbeben zu.
Wie stark das Erdbeben an der Oberfläche verspürt wird, hängt ab von der freigesetzten Energie am Erdbebenherd (Magnitude), von der Distanz zum Epizentrum, der lokalen Bodenbeschaffenheit sowie der Tiefe des Erdbebenherdes.



Nagra

San Francisco liegt unmittelbar an der San Andreas Störung, also an der Grenze zwischen der Nordamerikanischen und der Pazifischen Kontinentalplatte. Hier ist die Erdbebengefährdung sehr gross.



1
Bei einem Erdbeben verschieben sich Teile der Erdkruste im Erdbebenherd um wenige Zentimeter bis Meter bei einem extrem starken Beben. Diese Verschiebungen verlaufen in der Regel entlang bereits existierender Störungen oder Schwächezonen im Gestein.

Erdbebenherd (=Hypozentrum)
Punkt, an dem der Spannungsabbau ausgelöst wird. Liegt meist zwischen 1 und 70 Kilometer Tiefe. Wo Platten zusammenstossen (Subduktionszonen) entstehen Beben auch in bis zu 700 Kilometer Tiefe.

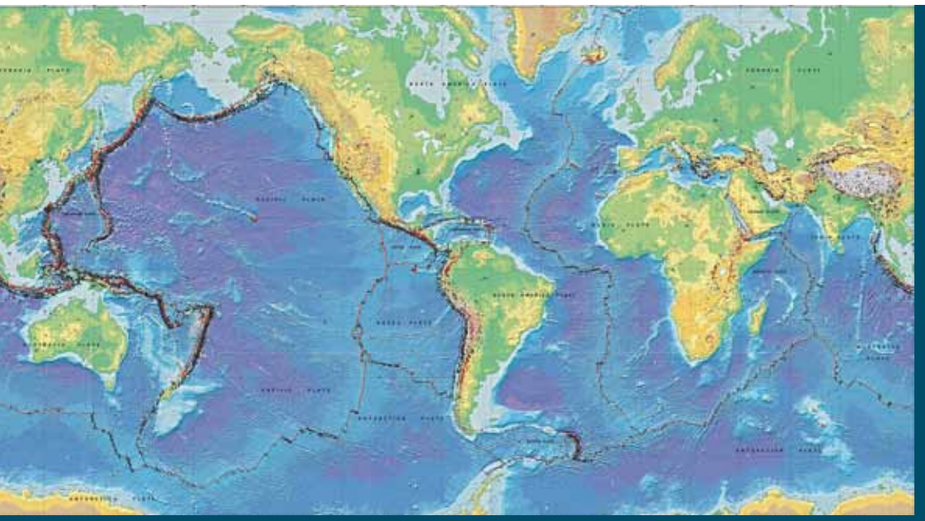
Epizentrum
Ort an der Erdoberfläche, der genau senkrecht über dem Erdbebenherd liegt.

Wo und wie entstehen Erdbeben?

– 90 Prozent aller Erdbeben entstehen an Plattengrenzen (Bild 1) durch dynamische Prozesse im Erdinnern. Durch die Bewegung der Kontinentalplatten bauen sich an deren Rändern (Bild 2) Spannungen auf, welche sich schleichend oder ruckartig abbauen. Beim plötzlichen Abbau entstehen Erdbeben. Das Gestein verschiebt sich um einige Zentimeter bis Meter auf einer Bruchfläche, die viele Kilometer lang sein kann. Auch innerhalb von Platten kann es zu Spannungen und zum Abbau durch Erdbeben an natürlichen Schwächezonen kommen.
– Sieben Prozent der Beben hängen mit der Aktivität von Vulkanen zusammen.
– Beben, die durch den Einsturz von Höhlen und Minen entstehen, haben meist eine geringe Stärke.
– Auch der Mensch verursacht Erdbeben durch Veränderung des Spannungszustandes in der Erdkruste. Beispiele hierfür sind:
  • Gebiete um Stauseen reagieren besonders bei der erstmaligen Füllung häufig mit kleinen Beben auf die veränderten Druckzustände. Dies war zum Beispiel auch der Fall 1966 bei der erstmaligen Füllung des Verzasca-Stausees im Tessin.
  • Im Winter 2006/2007 wurde Basel mehrmals von spürbaren Erdbeben leicht erschüttert, nachdem für ein Erdwärme-Projekt (Geothermie) unter hohem Druck Wasser in 5000 Meter Tiefe ins Gestein gepresst wurde, um dieses aufzubrechen.
  • Die Entnahme grosser Mengen Öl oder Gas aus dem Untergrund kann Erdbeben auslösen.

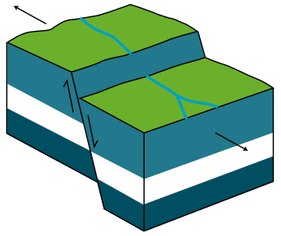
Weltweite Verteilung von Erdbeben

Ein globales Netz von Messstationen erfasst weltweit Erdbeben. Nicht nur Erdbeben werden erfasst, auch Felsstürze, Mineneinstürze oder Explosionen. Alle diese Ereignisse übertragen Energie in den Boden, die sich wellenförmig ausbreitet und von Seismografen (Bild 3) aufgezeichnet wird. Das Schweizer Messnetz wird durch den Schweizerischen Erdbebendienst SED (www.seismo.ethz.ch) betreut. Die Website zeigt laufend die aktuellsten Erdbeben in der Schweiz und im Ausland.



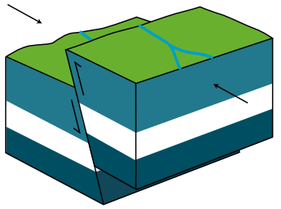
This Dynamic Planet: World map of volcanoes, earthquakes, and plate tectonics, USGS 1999

1
Weltweite Verteilung der Erdbeben (schwarze Punkte).
Die Erdbeben entstehen vor allem entlang der Grenzen von Kontinentalplatten.
Gut die Hälfte aller Erdbeben findet in der Randzone rund um den Pazifik statt. Die roten Markierungen zeigen Vulkane.

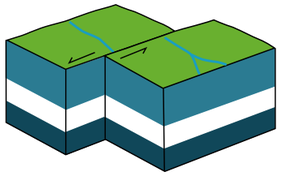


2
Bewegungen bei Erdbeben.

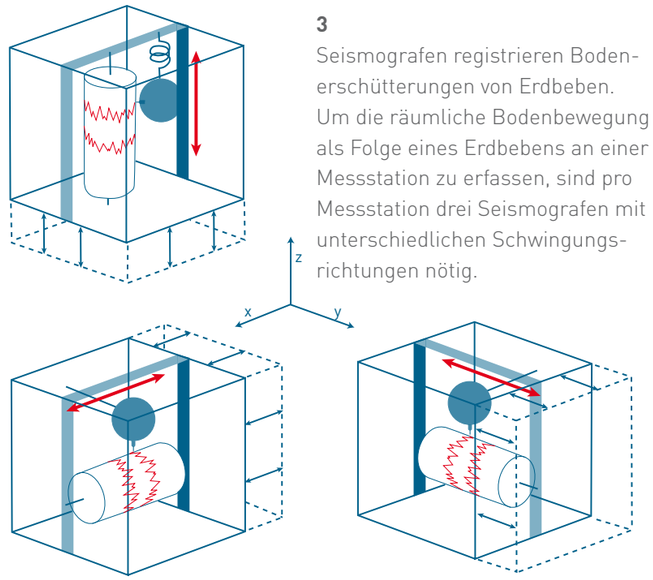
Abschiebung. Die Platten bewegen sich voneinander weg. Beispiel: Ozeanische Rücken, Island.



Aufschiebung. Die Platten bewegen sich aufeinander zu. Dabei schiebt sich eine Platte über die andere. Beispiel: Himalaja, rund um den Pazifik, Alpen.

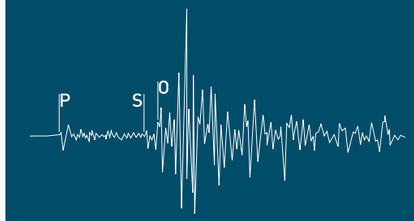


Horizontalverschiebung. Die Platten bewegen sich seitlich aneinander vorbei. Beispiel: San Andreas Störung (Kalifornien), Nordanatolische Störung (Türkei).



3
Seismografen registrieren Bodenerschütterungen von Erdbeben.
Um die räumliche Bodenbewegung als Folge eines Erdbebens an einer Messstation zu erfassen, sind pro Messstation drei Seismografen mit unterschiedlichen Schwingungsrichtungen nötig.

Seismogramm
Aufzeichnung von seismischen Wellen. P: Einsatzzeit der P-Welle (Kompressionswelle), S: Einsatzzeit der S-Welle (Scherwelle), O: Einsatzzeit der Oberflächenwellen.



Wo liegt das Epizentrum?

Jeder Seismograf Sg zeichnet von jedem Erdbeben ein Wellenmuster (Seismogramm) auf. Aus dem Zeitabstand zwischen P und S lässt sich die Entfernung zum Epizentrum berechnen. Für eine einzelne Station ergibt sich eine Kreislinie, auf der das Epizentrum liegen muss. Um den genauen Punkt zu ermitteln, braucht es die Informationen von mindestens drei Stationen. Im Schnittpunkt der drei Kreise liegt das Epizentrum Ez.



Magnitude

Die Magnitude ist das Mass für die Stärke eines Erdbebens und lässt sich aus den durch Seismografen aufgezeichneten Seismogrammen herleiten. Sie wird als Wert auf der so genannten Richter-Skala angegeben.
Das stärkste, bisher gemessene Erdbeben hatte Magnitude 9,5 und ereignete sich 1960 in Chile.
Der allererste Seismograf wurde 132 n. Chr. in China erfunden (Bild 1). Mit diesem konnte die Richtung des Stosses abgeleitet werden. Erst die modernen Seismografen, die zwischen 1892 und 1906 entwickelt wurden, erlaubten eine genaue Berechnung der Magnitude.



Comet

1
Verkleinertes Modell eines chinesischen Seismoskops. Jeder der hängenden Drachen hält in seinem Maul eine Kugel. Nach einem Beben zeigt die herausgefallene Kugel die Richtung an, in der das Epizentrum liegt.

Intensität

Die Intensität beschreibt die beobachteten, örtlichen Auswirkungen auf Mensch, Natur und Bauwerke an der Erdoberfläche. Sie hängt auch von der subjektiven Wahrnehmung ab. Die Intensität wird stets in römischen Zahlen von I bis XII angegeben und nimmt mit zunehmender Distanz vom Erdbebenherd ab.

Der lokale Untergrund und die Qualität der Bausubstanz haben Auswirkungen auf die Intensität. Lockere Böden an der Erdoberfläche verstärken die Bodenbewegung, was grössere Schäden verursacht und zu einer dementsprechend höheren Intensität führt (Bild 2).
Auch die Herdtiefe des Erdbebens hat Einfluss auf die Auswirkungen an der Oberfläche und die Intensität.



J. Genser

2
Spuren eines katastrophalen Erdbebens. In dieser unbewohnten Gegend in Westchina entstand nur «landschaftlicher Schaden» in Form einer 2,5 Meter hohen Geländestufe. In der Schweiz wurden keine derartig massiven Verschiebungen an der Erdoberfläche entdeckt, die auf ein Erdbeben zurückgeführt werden könnten.

Magnitudenskala (Messung der freigesetzten Energie)

Magnitude	Freigesetzte Energie (zirka, in kWh)	Vergleich/Effekt	Weltweit zu erwarten	In der Schweiz zu erwarten
-1	0,00033	schwächstes gem. Beben	ständig	ständig
0	0,01		ständig	ständig
1	0,3	ca. 0.5 kg TNT	ständig	ständig
2	10		ständig	alle 4 Tage
3	300	Spürbarkeitsgrenze	alle 5 Minuten	jeden Monat
4	10 000	100 t Sprengstoff	jede Stunde	jedes Jahr
5	300 000		3 pro Tag	alle 10 Jahre
6	10 000 000	Gebäudeschäden	alle 4 Tage	alle 100 Jahre
7	300 000 000	z. B. Haiti 2010	jeden Monat	alle 1000 Jahre
8	10 000 000 000		alle 5 Jahre	
9	300 000 000 000	z. B. Sumatra 2004		

USGS modifiziert

Intensitätsskala (Vergleiche von Schäden und Auswirkungen)

Intensität	Stärke	Wirkung
I	unmerklich	nicht spürbar, keine Auswirkungen
II	sehr leicht	vereinzelt verspürt von ruhenden Personen
III	leicht	in Häusern verspürt, hängende Gegenstände schwingen
IV	mässig stark	Fenster klirren, Wände ächzen, im Freien kaum wahrgenommen
V	ziemlich stark	aufweckend, Fenster zerspringen, Gegenstände fallen um
VI	stark	erschreckend, Möbel verschieben sich, Schäden am Verputz
VII	sehr stark	leichte bis mittlere Schäden an normalen Bauwerken
VIII	zerstörend	beträchtliche Schäden an normalen Häusern, Einstürze
IX	verwüstend	Panik, starke Gebäudeschäden, Leitungsbrüche, Erdrutsche
X	vernichtend	Panik, Verbiegen von Eisenbahnschienen
XI	Katastrophe	nur wenige Gebäude halten Stand, Erdboden wird verändert
XII	grosse Katastrophe	totale Zerstörung, Erdoberfläche wird stark verändert

USGS

Auswirkungen von Erdbeben



USGS, G. Plafker, 1989
Zerstörtes Wohnhaus. Sichtbar ist nur noch das dritte Stockwerk.

Ein paar Sekunden heftiges Schütteln und Rütteln … Durch richtiges Verhalten und eine sichere Bauweise können die Auswirkungen verringert und viele Menschenleben gerettet werden.

Die Auswirkungen eines sehr starken Erdbebens auf die Infrastruktur an der Erdoberfläche sind unterschiedlich gross. Neben dem Untergrund spielen vor allem der Bebauungsgrad, der Baustil und die Bausubstanz eine wichtige Rolle. Durch bautechnische Massnahmen lässt sich die Sicherheit von Gebäuden verbessern.

Bei einem schweren Erdbeben stürzen in bewohnten Gebieten in erster Linie Häuser ein. Dies hat sehr direkte Auswirkungen auf die Menschen. Häufig verursachen aber die Folgeerscheinungen grössere Schäden als das Beben selbst: Erdrutsche oder Flutwellen werden ausgelöst, Feuer brechen aus. Die Zerstörung der Infrastruktur hat weit reichende Folgen.

Erdbewegungen

In Gebieten mit weichem oder lockerem Untergrund kann es zu Setzungen und Rutschungen kommen. Erschütterungen des Untergrundes können Fels- und Erdmassen lockern und Felsstürze oder Erdrutsche (Bild 1) auslösen. Fallen diese Felsmassen in einen See oder Stausee, lösen sie eine Flutwelle aus. Solche Ereignisse lassen sich in Ablagerungen in Schweizer Seen nachweisen.
Lockere Kies- oder Schotterböden können durch die Erdbewegung verdichtet werden, wodurch sich die Oberfläche leicht absenkt. Wasserreiche Sandböden können sich unter den Schüttelbewegungen eines Erdbebens verflüssigen. Bauwerke sinken dabei teilweise ein oder neigen sich auf eine Seite (Bild 2).



USGS, S.D. Ellen

1
Erdrutsch an einer Steilküste, ausgelöst beim Loma Prieta Erdbeben 1989 in Kalifornien.



National Information Service for Earthquake Engineering
EERC, University of California, Berkeley

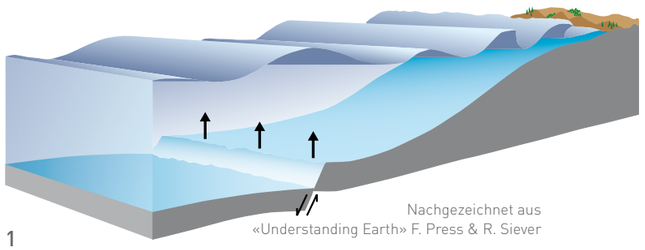
2
Beim Erdbeben von 1964 in Niigata (Japan) kippten mehrere Häuser im lockeren Boden um. Durch die Rüttelbewegung verflüssigte sich der Boden und die Häuser verloren ihren Halt.

Tsunami

Seebeben mit grossem vertikalen Verschiebungsbetrag (Versatz) können innert kürzester Zeit grosse Mengen Wasser in Bewegung setzen. Weil die Wellenhöhe von der Wassertiefe abhängig ist, beträgt die Hebung auf dem offenen Meer meist nur wenige Zentimeter und ist nicht wahrnehmbar. Im Flachwasser in Küstennähe türmen sich die Wassermassen dann auf und brechen in hohen Wellen über die Küstenlinie (Bilder 1 und 2). Der Name Tsunami kommt aus Japan und bedeutet Hafenwelle.

Feuer

Feuer, die meist wegen geborstener Öl- und Gasleitungen ausbrechen, können vor allem in bewohnten Gebieten riesigen Schaden anrichten. Im Jahre 1906 forderten die Brände nach dem Erdbeben in San Francisco viele Opfer. Unterbrochene Strassen (Bild 3) und zerstörte Wasserleitungen machen in einem solchen Fall das Löschen der Feuer praktisch unmöglich.



Nachgezeichnet aus «Understanding Earth» F. Press & R. Siever

1
Entstehung eines Tsunami als Folge eines Seebebens, ausgelöst durch die Hebung des Meeresbodens.

Nach dem Beben ist vor dem Beben

Nach einem grossen Erdbeben kann es selbst Tage bis Wochen später noch zu teils heftigen Nachbeben kommen. Diese Nachbeben stellen eine weitere Gefahr dar während der Aufräumarbeiten. Erdbeben ereignen sich meist entlang bereits existierender Störungen. Es ist also lediglich eine Frage der Zeit, bis sich am Ort eines starken Erdbebens ein weiteres starkes Beben ereignet. Zwischen zwei solchen Grossereignissen können allerdings mehrere hundert oder tausend Jahre vergehen.

Vorhersage

Eine in Ort, Zeit und Stärke zutreffende Erdbebenvorhersage wird es vermutlich nie geben. Es gibt allerdings Anzeichen in der Natur, die auf ein Erdbeben hinzuweisen scheinen. Dazu gehören schwache Vorbeben, Wasserspiegelschwankungen in Brunnen, auffälliges Verhalten von Tieren oder Nebel- und Gasbildung über dem Boden. Verlässlich ist jedoch keines dieser Anzeichen. Aber selbst wenn man wüsste, dass ein Erdbeben bevorsteht, liesse es sich trotzdem nicht verhindern. Durch rechtzeitiges Abschalten von Versorgungsleitungen und Evakuation der betroffenen Bevölkerung wäre es allerdings möglich, die Auswirkungen zu begrenzen.

Spannungsbedingte Bodenbewegungen treten in mehr oder weniger regelmässigen Abständen auf. Die Wiederkehrraten sagen, wie häufig mit Erdbeben einer entsprechenden Stärke in einem bestimmten Gebiet zu rechnen ist. Zudem können Gebiete mit ungünstigem, das heisst Effekt verstärkendem, Baugrund kartiert werden. Aus diesen Informationen lassen sich Gefährdungskarten erstellen, die zeigen, in welchen Gebieten die Erdbebengefährdung grösser beziehungsweise kleiner ist.

Vorsorgen ist möglich

Durch eine sichere Bauweise und richtiges Verhalten im Ernstfall können die Auswirkungen verringert und viele Menschenleben gerettet werden. In stark gefährdeten Ländern, wie zum Beispiel Japan oder Kalifornien, lernen schon Kinder die wichtigsten Verhaltensregeln im Falle eines Erdbebens (Bild 4). Jeder sollte sich vor Reisen in stärker gefährdete Gebiete über rettende Verhaltensmassnahmen informieren.



Nagra

2
Wegweiser von der Pazifikküste weg ins Landesinnere.
Bei Tsunamigefahr sollte man so schnell wie möglich an höher gelegene Orte flüchten.



USGS, R.B. Colton

3
Erdbeben 1959 am Hebgen Lake, Montana. Mehrfach aufgebrochene Strasse durch Rutschbewegungen am Hang.

Die Erde bebt – was tun?

In Gebäuden:
- Schutz suchen unter stabilem Möbelstück (z. B. Tisch) oder in Türrahmen stehen.
- Weg von Fenstern und Regalen.
- Keine Treppen und Lifte benützen.

Im Freien:
- Freien Platz aufsuchen, entfernt von Gebäuden, Leitungen oder Bäumen.
- Mit Auto keine Brücken und Unterführungen befahren.
- Von flacher Küste weg sofort auf erhöhtes Terrain flüchten (Tsunamigefahr).



Red Cross Greater Los Angeles

4
Kinder lernen in der Schule bei regelmässigen Übungen sich im Falle eines Erdbebens richtig zu verhalten.

Erdbeben in der Schweiz



Erdbeben gibt es auch bei uns. Pro Jahr ereignen sich in der Schweiz wenige spürbare Erdbeben.

Keystone/Photopress
Zerstörte Kirche in Chippis, nach dem Erdbeben von 1946 in Sierre.

Erdbeben sind in der Schweiz nichts Unbekanntes. Durch das Aufeinandertreffen der afrikanischen und europäischen Kontinentalplatten bauen sich Spannungen auf, die sich in Form von Erdbeben entladen.

Die Schweiz gilt allgemein als mässig bis mittel gefährdet. Die Erdbebengefährdung ist in den einzelnen Regionen der Schweiz allerdings sehr unterschiedlich. Das Wallis und die Region Basel sind am stärksten gefährdet (Bild 1). Hier ist grundsätzlich mit Erdbeben bis Magnitude 7 zu rechnen. Am geringsten ist die Erdbebenwahrscheinlichkeit im zentralen Mittelland.

Das Erdbebenrisiko, das sich aus der Gefährdung und dem möglichen Schadensausmass (Verletzbarkeit) zusammensetzt, wird als gross eingeschätzt. Unsere Verletzbarkeit entsteht durch die dichte Besiedelung (Bild 2). Durch bauliche Massnahmen lässt sich die Verletzbarkeit begrenzen und verringern.

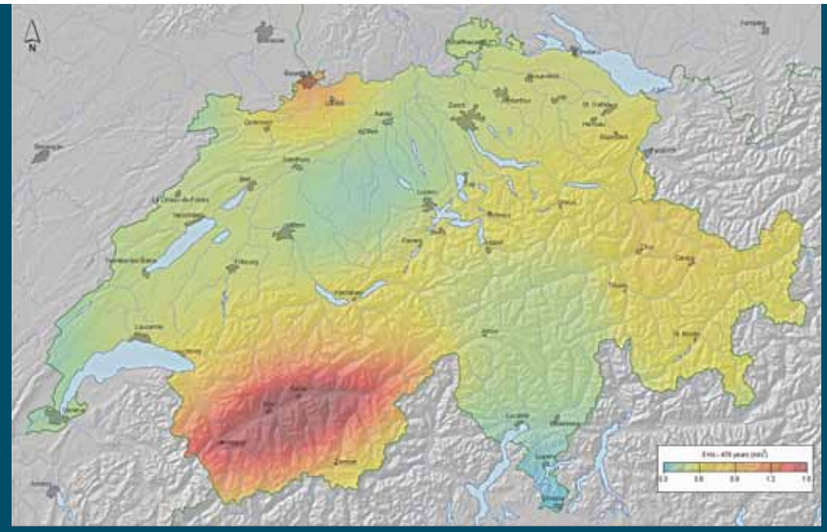
Risiko = Gefährdung x Verletzbarkeit

Gefährdung: erfasst die Stärke und Auftretenswahrscheinlichkeit von Ereignissen.
Verletzbarkeit: ist abhängig von der Bauweise und den für die Erdbebensicherung getroffenen baulichen Massnahmen.



Nagra

2
Die dichte Besiedelung macht uns bei einem Erdbeben besonders verletzlich.



SED

1
Erdbeben-Gefährdungskarte der Schweiz. Die Gefährdung ergibt sich aus Informationen über junge und historische Erdbeben.

Historische Beben

In den letzten rund 1000 Jahren hat es in der Schweiz mehrere zerstörerische Erdbeben gegeben (Bild 1), die glaubhaft überliefert sind.
Als bisher grösstes Erdbeben in Mitteleuropa gilt jenes vom 18. Oktober 1356 in Basel mit einer geschätzten Magnitude von 6,5 bis 7. Die Intensität schätzt man aufgrund der Schadensbeschreibungen auf IX. Es wird vermutet, dass verlassene und ausser Kontrolle geratene Herdfeuer den Schaden vergrösserten. Schindel- und Strohbedachungen beschleunigten dabei die Ausbreitung der Brände.

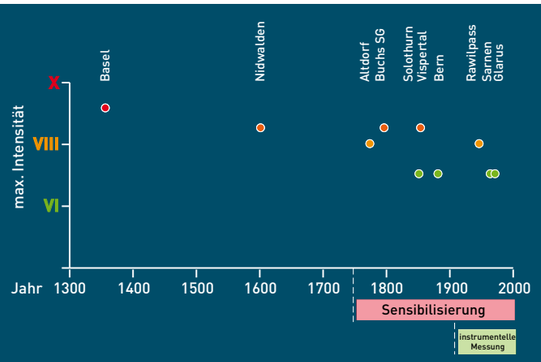
500 Jahre später, am 25. Juli 1855, erschütterte ein heftiges Erdbeben zur Mittagszeit das Visper-tal. Aus den dokumentierten Schäden lässt sich für das Beben die Intensität VIII ableiten. In Visp wurden die beiden Kirchen beschädigt und viele Häuser stürzten teilweise oder ganz ein. Häuser aus Stein nahmen generell mehr Schaden als solche aus Holz, abgesehen von Speichern (Bild 2), die auf Pfählen und Steinplatten standen.

Am Abend des 25. Januar 1946 ereignete sich ein starkes Erdbeben in Sierre (vgl. Seite 14). Das Beben mit Magnitude 6,1 forderte vier Todesopfer und verursachte beträchtlichen Sachschaden. Ein heftiges Nachbeben am 30. Mai löste am Rawilpass einen grossen Bergsturz aus.

Alle grösseren Erdbeben in der Schweiz bestanden aus einem oder wenigen Hauptstössen und unzähligen, teils heftigen Nachbeben, die sich über Monate hin erstrecken konnten.

Informationsquellen

Historische Erdbeben sind in alten Schriften, Chroniken und auch Reiseberichten dokumentiert. Sagen und Geschichten können ebenfalls Hinweise auf Erdbeben beinhalten. Es muss angenommen werden, dass nur Beben, die grosse Schäden verursacht haben, überliefert wurden.



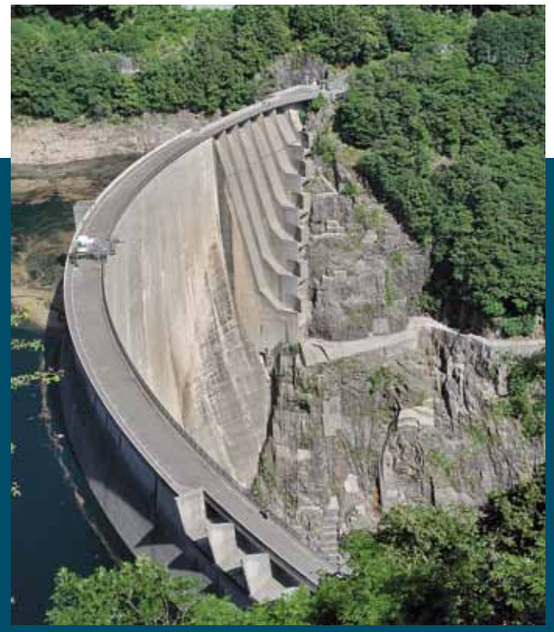
1
Die stärksten Erdbeben der letzten 700 Jahre in der Schweiz. Die Intensitäten wurden aus Schadensbeschreibungen abgeleitet.



2 Heusser, 1856
Verwüstungen in St. Niklaus im Vispertal nach dem Erdbeben vom 25. Juli 1855.

Wichtige Infrastrukturanlagen und ...

Stärkere Erdbeben treten in der Schweiz verhältnismässig selten auf. Deshalb sind sie im Bewusstsein der Allgemeinheit nur wenig präsent. Diese trügerische Sicherheit kann im Ernstfall fatale Folgen haben. Deshalb müssen lebenswichtige Verbindungen und Infrastrukturanlagen – sogenannte Lifelines – besonders sicher ausgelegt werden, damit die Nothilfe im Schadensfall überhaupt funktionieren kann.
Feuerwehr und Sanität müssen möglichst ungehindert helfen können. Dazu sollten Kommunikations- und Transportwege intakt sein und nicht durch Überlastung oder Schäden lahm gelegt werden. Krankenhäuser müssen sicher gebaut sein, damit Verletzte versorgt werden können. Dafür ist es auch wichtig, dass die Strom-, Energie- und Wasserversorgung aufrecht erhalten bleibt.



3 Nagra
Staumauern müssen sehr hohe Sicherheitskriterien erfüllen.

... Grossbauten sicher auslegen

In der Schweiz müssen Gebäude, die im Schadensfall ein grosses Gefahrenpotenzial aufweisen, gemäss den vorgeschriebenen Normen sicher ausgelegt sein. Dazu gehören unter anderem verschiedene Kraftwerke und Talsperren (Bild 3). Auch Krankenhäuser und viele Fabriken sind erdbebensicher ausgelegt. Erdbebensicheres Bauen wird heute bei Grossbauten umgesetzt.
Erdbebenkräfte werden seit über 50 Jahren bei der Bemessung von Staumauern berücksichtigt. Bei älteren Hoch- und Brückenbauten war dies leider eher selten der Fall. Die meisten Wohnhäuser würden einem grösseren Erdbeben, wie jenem von 1356 in Basel, nicht standhalten. Dies ändert sich zum Glück zunehmend, da das Erdbebenrisiko vermehrt berücksichtigt wird und vorsorglich bauliche Massnahmen ergriffen werden. Mit zusätzlichen Wandverstrebungen und Stützen werden zudem einzelne, bestehende Bauten nachträglich verstärkt und dadurch deren Erdbebensicherheit und Stabilität erhöht (Bild 4).



4 Nagra
Nachträglich errichtete Stützen stabilisieren dieses Gebäude und erhöhen die Sicherheit bei einem Erdbeben.

Untertagebauten und Tiefenlager



Tangshan, China. Geringe Schäden in einer Kaverne in der Zone mit katastrophalen Auswirkungen an der Oberfläche (vgl. Seite 21).

Untertagebauten sind bei einem Erdbeben weniger gefährdet als Gebäude an der Erdoberfläche. Die Folgen eines Erdbebens können an der Erdoberfläche verheerend sein. Aber je tiefer in der Erde wir uns befinden, desto weniger spüren wir davon.

Erdbeben wirken sich im Untergrund weniger stark aus als an der Erdoberfläche; für gut ausgelegte Tiefenlager besteht keine Gefahr.

Ein geologisches Tiefenlager für radioaktive Abfälle muss langfristig Sicherheit für Mensch und Umwelt gewährleisten. Die Abfälle werden sicher im Untergrund eingelagert und von mehreren Barrieren eingeschlossen. Für die Sicherheit muss die Wirkung von Erdbeben auf Anlagen an der Erdoberfläche und im Untergrund getrennt betrachtet werden.

Auswirkungen von Erdbeben auf die Anlagen an der Erdoberfläche

Lockere Gesteinsschichten verstärken die Auswirkungen von Oberflächenwellen, die für viele Schäden an der Erdoberfläche verantwortlich sind. Die Oberflächenanlagen eines Tiefenlagers (Empfang, Administration, Verpackung, Schachtkopf etc.) müssen deshalb entsprechend ausgelegt sein, damit während des Betriebs die Sicherheit von Personal, Bevölkerung und Umwelt gewährleistet ist.

Grosse Bauwerke werden heute schon nach strengen Vorschriften erdbebensicher ausgelegt. Auch das Zwischenlager (Zwilag) in Würenlingen (Bild 1), wo die radioaktiven Abfälle heute lagern, wurde beim Bau für grosse Erdbeben ausgelegt. Um allfällige Bewegungen aufzunehmen, wurden beispielsweise bewegliche Fugen eingebaut. Solche Fugen sind auch auf grossen Strassen und Brücken häufig zu sehen (Bild 2).

Viele Gebäude in Japan und Kalifornien, die auch heftigeren Erdbeben standhalten, zeigen, dass erdbebensicher gebaut werden kann.



Comet

1
Das Zwischenlager in Würenlingen, wo die radioaktiven Abfälle auf ihre Tiefenlagerung warten, ist erdbebensicher ausgelegt.



Nagra

2
Bewegliche Fuge in einer Brücke, um geringe Erschütterungen und Bewegungen aufzufangen.

Tunnelanlagen

Eine systematische Untersuchung von über 70 Tunneln in Kalifornien, Alaska und Japan zeigte, dass in Untertagebauten keine oder nur kleine Erdbebenschäden im Portalbereich auftreten. Die Tunnels waren zwischen 1900 und 1960 gebaut worden und überstanden zahlreiche Erdbeben mit Magnituden zwischen 5,1 und 8,3.

Auch im Alpenraum haben Erdbeben bisher nur sehr geringe Schäden an Kavernen und Tunnelanlagen verursacht. Kleine Schäden wurden vor allem im Portalbereich, nahe der Erdoberfläche, beobachtet. Dort traten Risse im Gestein und in der Tunnelverkleidung, Abplatzungen und aus dem Gewölbe gefallene Steine auf.

Auswirkungen auf die Anlagen im Untergrund

Die Bauten im Untergrund sind allseitig mit dem Fels verbunden, können nicht frei schwingen und zeigen deshalb ein geringes Resonanzverhalten. Messungen in unterirdischen Kraftwerksanlagen zeigen zudem, dass die Bodenbewegungen im Untergrund deutlich kleiner sind als unmittelbar an der Erdoberfläche. Der Einsturz von Untertageanlagen bei einem Erdbeben kann daher bei erdbebensicherer Auslegung ausgeschlossen werden. Dies gilt auch für die Tunnels, Kavernen und Stollen von geologischen Tiefenlagern (Bild 1).

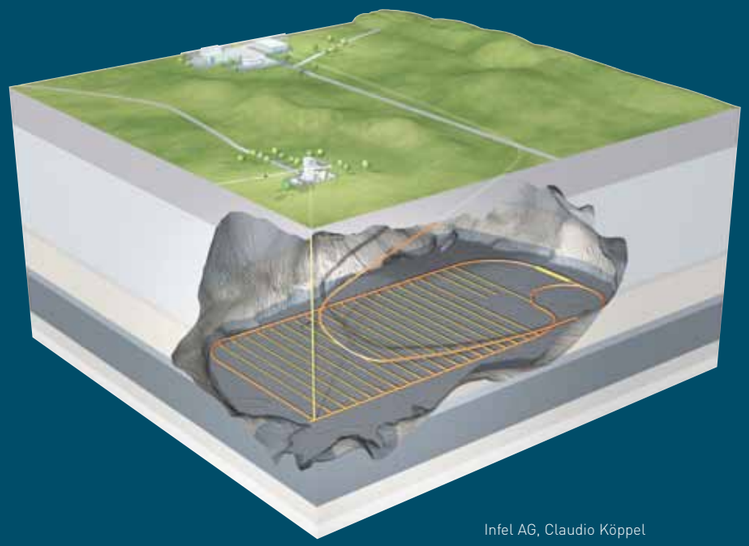
Störungen wird ausgewichen

Tiefenlager werden grundsätzlich ausserhalb von bekannten Schwächezonen im Untergrund angeordnet. Störungen, an denen sich Spannungen aufbauen und möglicherweise ruckartig wieder abbauen, wird so ausgewichen. Dazu ist ein Sicherheitsabstand von mindestens 200 Meter vorgesehen. Dadurch wird verhindert, dass Lagerbehälter, technische und geologische Barrieren durch Verschiebungen beeinträchtigt werden.

In der Sicherheitsanalyse werden trotzdem auch Szenarien mit Störungen gerechnet, um ein Tiefenlager selbst für einen unwahrscheinlichen Fall sicher auslegen zu können: Sollten neue Störungen im Lagerbereich entstehen, darf davon ausgegangen werden, dass diese klein sind, nur eine kleine Verschiebung aufweisen und die Integrität des Tiefenlagers dadurch nicht beeinträchtigt wird. Neu entstandene Klüfte würden sich in kurzer Zeit durch das Quellen der Tone selber abdichten. Ein Transport von radioaktiven Substanzen durch fliessendes Kluftwasser wird dadurch verhindert.

Untertage überlebt

Tangshan in China liefert ein Beispiel für die höhere Sicherheit im Untergrund. Bei einem Erdbeben mit Magnitude 7,8 blieb im Juli 1976 kaum ein Haus stehen (Bild 2). Rund 80 Prozent aller Gebäude, die vor allem in Ziegelbauweise gebaut waren, wurden zerstört. Dabei kamen mehrere hunderttausend Personen ums Leben.
Anders im Untergrund. In den Kavernen und Katakomben der Stadt (Bild Seite 18) entstanden nur geringe Schäden in Form von kleinen Rissen und Abplatzungen. Im stadtnahen Steinkohlerevier blieben die Schäden ebenfalls gering und die 30'000 Arbeiter, die sich zum Zeitpunkt des Erdbebens in den bis 800 Meter tief gelegenen Minenschächten untertage aufhielten, haben alle überlebt.



Infel AG, Claudio Köppel

1
Schema eines Tiefenlagers für hochaktive Abfälle. Beim Bau eines Tiefenlagers wird relativ wenig Material ausgebrochen. Weiter bemüht man sich, das Wirtgestein möglichst wenig zu beschädigen. Da zudem Störungszonen gemieden werden, können durch den Bau ausgelöste stärkere, spürbare Erdbeben ausgeschlossen werden.

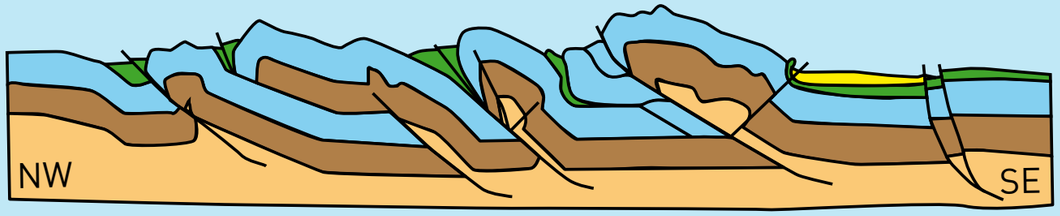
2
Der Grossteil der Bauwerke an der Erdoberfläche wurde beim Erdbeben von Tangshan zerstört. Die Anlagen im Untergrund blieben weitgehend unbeschadet (vgl. Seite 18).



USGS Earthquake Information Bulletin 305

Sicher im Fels eingepackt

Opalinuston ist ein mögliches Wirtgestein für die Lagerung radioaktiver Abfälle. Seit seiner Entstehung vor rund 180 Millionen Jahren im Jurameer, erlebte der Opalinuston schon sehr viele Erdbeben, vor allem im Bereich der Nordwestschweiz im Zusammenhang mit tektonischen Bewegungen bei der Entstehung von Rheingraben und Faltenjura (Bild 1). Und trotzdem enthält er in seinen mikroskopisch kleinen Gesteinsporen noch Anteile von ursprünglichem Meerwasser. Tests in Bohrungen und Untersuchungen in Tunneln zeigen, dass bei genügender Überlagerung Störungszonen im Opalinuston dicht bleiben (Bild 2) und kein Wasser in diesen Zonen zirkuliert. Dies ist auf die natürliche Selbstabdichtung von Opalinuston zurückzuführen.



1
Im Laufe der Jurafaltung wurden die flachen Meeresablagerungen aufgefaltet, nach Nordwesten übereinander geschoben und dabei von vielen kleineren aber auch grossen Erdbeben erschüttert.

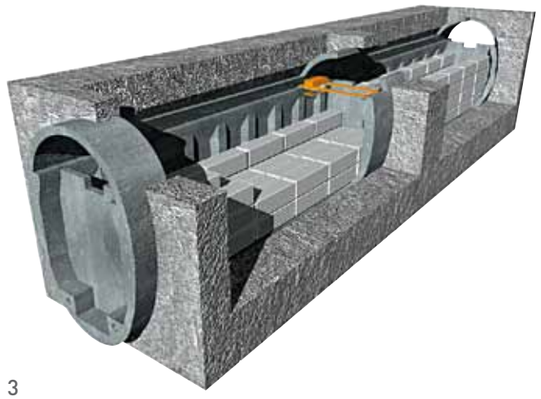


2
Die Störungszone (Bilddiagonale) im Opalinuston, die im Felslabor Mont Terri beim Tunnelbau durchfahren wurde, ist komplett trocken.

Nagra

Anlagen werden verschlossen

Nach der Einlagerung aller Abfälle wird das gesamte Tiefenlager stufenweise verfüllt – die Lagerstollen für hochaktive Abfälle fortlaufend mit quellfähigem Bentonit, Kavernen für schwach- und mittelaktive Abfälle mit Spezialmörtel nachdem sie voll sind (Bild 3). Die Zugangs- und Kontrolltunnels werden erst nach mehreren Jahrzehnten der Überwachung verfüllt und verschlossen. Es bleiben keinerlei unverfüllte Hohlräume übrig. Die Oberflächenanlagen werden zuletzt zurück gebaut.



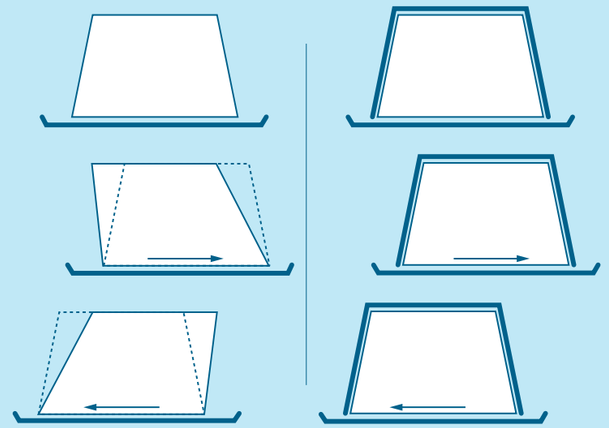
3
Die Zwischenräume in einer vollen Kaverne für schwach- und mittelaktive Abfälle werden komplett mit einem Spezialmörtel verfüllt.

Tiefenlager sind erdbebensicher

Ein geologisches Tiefenlager abseits von grossen Störungszonen und in mehreren hundert Metern Tiefe wird auch durch starke Erdbeben nicht gefährdet.

Sicherheit im Untergrund – anschaulich erklärt

Auf einem Teller steht ein Pudding. Wird der Teller ruckartig bewegt, wackelt der Pudding.
Nun stülpen wir die Form über den Pudding und ziehen wieder am Teller. Der Pudding ist in der Form eingesperrt und hat keinen Freiraum zum Wackeln, sondern bewegt sich starr mit dem Teller und der Form zusammen hin und her.
Freistehende Objekte geraten ins Wanken, während eingeschlossene Objekte dafür keinen Platz haben.



Nationale Genossenschaft
für die Lagerung
radioaktiver Abfälle

Hardstrasse 73
CH-5430 Wettingen

Tel 056 437 11 11
Fax 056 437 12 07

info@nagra.ch
www.nagra.ch

nagra. aus verantwortung

Themenheft Nr. 4 / März 2010