

## Allg. Geologie, Kapitel 13 Erdbeben

**1) Was ist die größte Bedrohung für den Menschen unter allen Naturkatastrophen?**  
Erdbeben

**2) Nennen Sie 2 Beispiele für verheerende Erdbeben im letzten Jahrhundert!**

San Francisco, April 1906: Durch das Aufreißen der Erdkruste an der San Andreas Störung, kam es zu einem heftigen Erdbeben. Die dadurch ausgelösten Brände zerstörten die Stadt und allein hier kamen 3000 Menschen um.

Indonesien, Dezember 2004: 300.000 Menschen starben. Durch das aufbrechen der Kruste und das rasche Anheben des Meeresbodens westlich der indonesischen Insel Sumatra folgte ein Tsunami, der auf die Küsten prallte als Folgewirkung eines Erdbebens.

**3) Wo kommt es besonders oft zu Erdbeben?**

Oft an plattentektonischen Grenzen wie Konvergenzen, Divergenzen oder Transformstörungen. Geologische Vorgänge sind aber häufiger komplex, was die Vorhersage von Erdbeben sehr erschwert. (Vulkane **gibt es nicht an Transformstörungen!**)

Bis heute ist keine zuverlässige Vorhersage von Erdbeben möglich. Der beste Schutz ist also die bauliche Anpassung sowie Risikogebiete meiden, was in einigen Regionen aber längst zu spät sein dürfte...

**4) Was sind Erdbeben? Was ist Spannung / Deformation / Bruch?**

Kräfte, die an aktiven Plattengrenzen wirken, können auf einfache Weise mit den Begriffen Spannung, Deformation und Festigkeit beschrieben werden.

**Spannung:** Lokal wirkende Kraft / Flächeneinheit, die eine Deformation verursacht

**Deformation:** Der Relativbetrag der Verformung in % zum ursprünglichen Zustand

**Festigkeit / Bruchgrenze:** Wenn Gesteine über einen kritischen Wert der **Scherspannung** beansprucht werden, der als **Festigkeit oder Bruchgrenze** definiert ist, kommt es zum Bruch.

→ Wenn Steine an diesen Störungen zerbrechen, kommt es zum Erdbeben. Die beiden Krustenblöcke beidseits der Störung verschieben sich ruckartig und erzeugen dadurch im Untergrund starke Schwingungen – seismische Wellen – die sich radial zum Erdbebenherd weg ausbreiten und Schäden verursachen. Nach diesem Vorgang ist die Spannung abgebaut und der Prozess entwickelt erneut.

**5) Was besagt die Scherbruch- Hypothese?**

Die Scherbruch- Hypothese ist eine bis heute anerkannte Erklärung von Erdbeben. Wenn eine gewisse Spannung herrscht, werden Gesteine nur gebogen und durch die Auflast der Gesteine kommt es nicht zum Bruch. Die deformierten Krustenblöcke kehren in ihren Ausgangszustand zurück, sobald die Spannung nachlässt. → Wenn der Reibungswiderstand jedoch überwunden wird, kommt es zum Bruch, zu einem Erdbeben.

**6) Was versteht man unter A Versatzbetrag und B Sprungweite?**

A Betrag der vertikalen Verschiebung zweier Krustenblöcke bei einem Erdbeben

B Betrag über die horizontale Verschiebung bei einem Erdbeben.

**7) Was wird Herd bzw. als Hypozentrum bezeichnet?**

Der Punkt, an dem die Verschiebungsbewegung einsetzt, wird als Herd oder Hypozentrum bezeichnet.

**8) Was ist das Epizentrum?**

Der Ort, der unmittelbar **über** dem Hypozentrum **an der Erdoberfläche** liegt

**9) Was sind typische Herdtiefen?**

- In der kontinentalen Kruste: 10- 20 km. In tieferen Bereichen wirkt die Kruste zu elastisch, als dass sie spröde reagiert und Erdbeben hervorruft. An Subduktionszentren liegt die Herdtiefe aber bei bis zu 700 km!

**10) Was sind typische Geschwindigkeiten eines Bruches?**

2 bis 3 km /h entlang einer Störungsfläche. Der Bruchvorgang endet, wenn der Bruch auf duktiles, festes Material trifft und es nicht mehr brechen kann. Sog. **Superschübe** laufen den eigentlichen Erdbebenwellen, besonders an Transformstörungen, voraus (San Andreasstörung).

**11) Wann kommt es zum Versatz?**

Nur bei großen Erdbeben, wenn die Störungsfläche auch die Oberfläche erreicht. Beim Beben von San Francisco, kam es zu einem Versatz von 4 Metern auf einer Länge von 400km!

**12) Je länger die Bruchbildung an Störungen (bis zu 1000 km möglich), desto größer ist auch der?**

- Versatz (bis zu 20 Meter wurden beobachtet)

**13) Wie wird Energie an der Störung umgewandelt?**

- ein Großteil wird in Reibungswärme umgewandelt, ein anderer Teil wird in seismische Energie umgewandelt -> Seismische Wellen, die sich von der Bruchfläche weg über den gesamten Globus ausbreiten.

Bei einem großen Erdbeben, entstehen durch die sich ausbreitenden seismischen Wellen Schäden, die weit vom

Epizentrum entfernt liegen können. Dabei muss sich nicht die gesamte Energie entladen. Es ist möglich, dass Restenergie erst beim nächsten Erdbeben entladen wird. Auch der Spannungszustand baut sich nicht gleichmäßig auf, was die Vorhersage von Erdbeben schwierig macht.

#### 14) Was ist typisch für ein Vorbeben?

Vorbeben entwickeln sich vor einem Beben. Sie als Warnkriterium heranzuziehen, erwies sich leider als nicht erfolgreich, da es auch unabhängig schwache Beben geben kann. Vorbeben werden durch einen einleitenden Bruch entlang einer Störung hervorgerufen, der sich aus physikalischen Gründen nicht weiterentwickelt.

#### 15) Was ist typisch für ein Nachbeben?

Nachbeben sind mehrere kleine bis große Beben, die nach Tagen oder gar Jahren nach dem Hauptbeben, mit teils großer Schadenswirkung, auftreten. Sie treten in Serien auf und werden durch Phasen seismischer Ruhe unterbrochen, ihre Herde liegen in der Nähe des Hauptherdes.

#### 16) Wie lange können Nachbeben auftreten in Abhängigkeit vom Hauptbeben?

HB: Stärke 5: Nachbeben: wenige Tage

HB: Stärke 7: Nachbeben: über Jahre

#### 17) Wie arbeiten Seismographen?

Seismographen registrieren vertikale und horizontale Bewegungen. Wegen der nahezu erschütterungsfreien Aufhängung an einer Feder bzw. an einem Scharnier sowie wegen ihrer Trägheit, ist die Masse weitgehend von Untergrund entkoppelt. Erdbebestationen können alle Komponenten der Bodenbewegung registrieren. Man ist in der Lage, Bodenbewegungen im subatomaren Bereich zu erfassen.

#### 18) Seismische Wellen – welche Wellenarten gibt es?

Primärwellen und Sekundärwellen. Beide Wellentypen durlaufen die gesamte Erde; so dass erst nach der P und S Welle, die Oberflächenwellen, die sich entlang der Erdoberfläche ausbreiten, den Seismographen erreichen.

##### Zu den P-Wellen:

P-Wellen verhalten sich in Gesteinen analog zu Schallwellen in der Luft, wobei sie mit 6 km/s um den Faktor 20 schneller sind. P-Wellen sind Kompression- und Longitudinalwellen, die sich in **Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen** durch das Wechselspiel von Druck (Kompression) und Zug (Dekompression) ausbreiten. Teilchen, die diese Welle durchläuft, schwingen dabei in Fortpflanzungsrichtung der Welle!

##### Zu den S-Wellen:

S-Wellen durchlaufen Gesteine mit der halben Geschwindigkeit der P-Wellen, also immer noch 20 Mal schneller als der Schall. Sie werden als Transversal- oder Scherwellen bezeichnet, da die Bodenteilchen in einer Ebene senkrecht zur Ausbreitungsgeschwindigkeit schwingen. Sie breiten sich **nur in Festgesteinen** aus, nicht in Flüssigkeiten oder Gasen.

##### Oberflächenwellen:

Breiten sich wie „Wellen auf dem Meer“ an der Oberfläche der Erde, dh. nur in den äußeren Schichten aus, da sie Raum für Ihre Bewegung brauchen. (freie Oberfläche)

##### 1. Rayleigh-Wellen:

- Die Bewegung der Bodenteilchen erfolgt retrograd – elliptisch.
- Verursachen eine rollende Bodenbewegung.

##### 2. LOVE-Wellen:

- Bewegung der Bodenteilchen erfolgt horizontal.
- Sie verursachen eine horizontale Verschiebung.

#### 19) Wie kann man durch seismische Wellen das Epizentrum lokalisieren?

Auf einfachem Weg über die unterschiedliche Zeitdifferenzen der seismischen P- und S Wellen an unterschiedlichen am Beobachtungsort bzw. an verschiedenen Beobachtungsorten. Eine Differenz von z. Bsp. 3,5 Minuten bedeutet eine Entfernung zum Epizentrum von 1500 km. Hat man 3 Stationen und 3 Werte, so liegt das Epizentrum im Schnittpunkt dieser gedachten Kreise.

#### (Fragen 20 bis 24 beziehen sich auf die Richterskala)

#### 20) Beben der Stärke 2 sind xx Mal so stark, wie Beben der Stärke 1!

10x

#### 21) Beben der Stärke 3 sind xx Mal so stark, wie Beben der Stärke 1!

100x

#### 22) Die Energiefreisetzung ist mit dem Faktor xx (gegen 10 bei der Stärke) größer!

33

#### 23) Die Energiefreisetzung eines Bebens der Stärke 8 hat den xx-fachen Wert eines Bebens der Stärke 6!

1000-fachen Wert ( $33^{*33}$ )

#### 24) Wie ermittelt man die Stärke eines Bebens auf der Richterskala?

Der maximale Peak der Bodenbewegung und der Abstand von P zu S-Wellen, die im Seismogramm zu erkennen

sind, dienen zur Bestimmung der Richter-Magnitude eines Erdbebens.

Bsp.: Liegt das Epizentrum in 210 km Entfernung, und hat die Höhe des max. Wellenausschlags auf dem Seismogramm den Wert 23mm, so entspricht das einer Erdbebenstärke von 5 auf der Richter-Skala.

## 25) Was versteht man unter der Moment Magnitude?

...ist ein anderes Maß für die Stärke eines Erdbebens, das direkt mit den physikalischen Vorgängen am Erdbebenherd in Beziehung gesetzt werden kann. Sie ist definiert durch das Produkt aus Bruchfläche, mittlerem Verschiebungsbetrag an der Störung (Versatz) und dem Schermodul, einer Materialkonstanten des Gesteins im Herdgebiet.

→ Die Moment-Skala steigt um eine Einheit, bei einer Verzehnfachung der Bruchfläche. Sie kann weitaus genauer bestimmt werden, als die Werte der Richter Skala. Sie lässt sich aus Messungen im Gelände unmittelbar an der Störung ermitteln.

## 26) Was versteht man unter der EMS 98? Welche Karten lassen sich daraus erstellen

**Die Europäische Makroseismische Skala (erwuchs aus der modifizierten Mercalli-Skala, die noch heute in den USA an Gebrauch ist),** beruht auf subjektiven Wahrnehmungen und reicht von 0 bis 12. Diese Skala gibt es auch für andere Länder (Mercalli-Skala USA) und muss jeweils den örtlichen Gegebenheiten angepasst und modifiziert werden.

Daraus lassen sich sog. Isoseistenkarten, Karten mit Linien gleicher seismischer Aktivität, erstellen. Dabei muss die Stärke der (subjektiven) Isoseiste nicht mit dem Epizentrum übereinstimmen, da die Wahrnehmung der Erdbebensärke nicht nur von der physikalischen Stärke, sondern auch von der Bebauung sowie von der Beschaffenheit des Bodens abhängt.

→ Erschütterungen auf Lockersedimenten (vor allem auf wassergesättigten Sedimenten in Küstennähe sind i.d.R. stärker als bei gleicher Erdbebensärke Erschütterungen auf festem Grundgestein. Solche Isoseistenkarten liefern den Ingenieuren wichtige Daten für die erdbebensichere Konstruktion von Bauwerken.

## 27) Was sind stille Erdbeben?

Stille Erdbeben sind langsame Kriechbewegungen der Kruste, wobei es kaum zu nennenswerten Beben kommt. Schäden gibt es trotzdem durch die allmähliche Verschiebung von Straßen sowie Rissbildungen in Häusern über mehrere Wochen. Obwohl hierbei auf große Mengen an seismischer Energie freigesetzt werden, kommt es kaum zu Erschütterungen.

## 28) Welche Parameter werden zusammenfassend als „Herdvorgang“ bezeichnet? Worüber gibt der Herdvorgang Auskunft?

- räumliche Orientierung der Störungsfläche und die Richtung des Versatzes

Der Herdvorgang gibt Auskunft darüber, ob das Erdbeben Ergebnis einer Aufschiebung, Überschiebung, Abschiebung oder ob es eine rechts- oder linksseitige Horizontalverschiebung war. Aus diesen Angaben lässt sich dann das lokaltektonische Spannungsfeld ableiten.

## 29) Erdbeben und Plattentektonik - wo treten Erdbeben aus?

Erdbeben treten entgegen dem Vulkanismus an allen Plattengrenzen auf (Kein Vulkanismus an Transformstörungen)

Divergierende PG (Erdbeben an Abschiebungen parallel zu Rift Valleys, Flachherdbeben)

→ Es handelt sich um normale Abschiebungen. Die Störungen verlaufen parallel zu den Rücken und fallen in Richtung auf den Scheitelgraben der mittelozeanischen Rücken ein. Diese Abschiebungen lassen erkennen, dass Dehnungskräfte am Werk sind, weshalb sich auf dem Kamm der Rücken die typischen Rift Valleys eingesenkt haben.

Konvergierende PG Flachherdbeben und Tiefenherdbeben

→ Die weltweit größten Erdbeben treten an konvergierenden PG auf. (Sumatra 2004 – Tsunami) Die Herdvorgänge zeigen insgesamt, dass die Erdbeben durch horizontalen Druck an so genannten Megaüberschiebungen bei einer Subduktion stattfinden. Große Bewegungen einer Megaüberschiebung können zu einem vertikalen Versatz des Meeresbodens führen, was dann Tsunamis (2004) auslöst. Auch die Erdbeben mit größeren Tiefen ereignen sich an Subduktionszonen, also an konvergierenden PG nämlich dann, wenn die ozeanische Platte in Tiefen unter 100 km zerreißt. Die tiefsten Erdbeben ereignen sich an den ältesten und starrsten abtauchenden PGs in 600 und 700km Tiefe.

Transformstörungen Flachherdbeben an horizontalem Versatz

→ Deutlich erhöhte Erdbebenaktivität: San Andreas Störung  
- Bildung von Rift Valleys

Intraplatten-Erdbeben

Obwohl die meisten Erdbeben an PG gebunden sind, zeigt sich, dass ein geringer % Satz auch auf dem Festland von Erdbeben betroffen sind. Viele Intraplattenerdbeben sind an alte Störungen gebunden, die einst aktive PG waren, jetzt aber nur noch Schwächezonen in der Kruste darstellen an denen sich Spannungen konzentrieren und wieder freigesetzt werden. Offensichtlich können innerhalb einer Lithosphärenplatte, selbst in großen Entfernungen zu aktiven PG, noch erhebliche Kräfte in der Kruste entstehen und zu neuen Überschiebungen führen, z.B.: Rheinland, Oberrheingraben (aktive Erdbebengebiete)

### Regionale Störungssysteme

→ In den seltensten Fällen besteht eine PG aus nur einer Störung, vor allem dann, wenn kontinentale Kruste beteiligt ist. Das heißt, dass die meisten Störungen aus komplexen Störungssystemen besteht. Durch Biegungen der Hauptstörungsrichtung, kommt es zur Kompression und zur Dehnung, zu Überschiebungen und zu Abschiebungen. Im Verlauf der vergangenen 1 Millionen Jahre, führte diese Aufschiebungstektonik zur Gebirgsbildung von über 3000 Meter (San Gabriel Mountains)

### **30) Wie viele Todesopfer gibt es pro Jahr durch Erdbeben?**

13.000

### **31) Seit wann gibt es Bauvorschriften für ein erdbebensicheres Bauen?**

1950er Jahre, wurden erst zögerlich umgesetzt: Problem: Viele Städte wurden davor schon erbaut, vor allem in Japan.

### **32) Nennen Sie Ursachen für Erdbebenschäden!**

→ Das primäre Beben sorgt meistens für sekundäre Folgeschäden, wie Tsunamis oder anders Schäden.

### Bruchbildung und andere Schäden

Bruch- und Spaltenbildung an der Störung, Versetzung der Erdoberfläche, bleibende Hebung und Absenkung, Bodenerschütterungen durch seismische Wellen (Schwingen und Zittern des Bodens)

### Hangbewegung und andere Bodeneffekte

Instabile Böden, wie wassergesättigte Böden, werden fließend, wenn sie Erschütterungen ausgesetzt sind. Der Untergrund fließt dabei weg und reißt alles mit sich. Stichwort: Bodenverflüssigung. Oft werden Hangrutschungen weit gefährlicher, als das eigentliche Beben.

### Tsunamis

- Können Geschwindigkeiten von 800 km/h auf dem offenen Meer erreichen und treten vor allem bei großen Seebeben auf, die durch Bewegungen an den Subduktionszonen ausgelöst werden. Wenn es an solchen Megaüberschiebungen zu Bewegungen kommt, kann der Meeresboden auf der landwärtigen Seite bis zu 10 Meter gehoben werden, wobei durch diese ruckartige Bewegung Wassermassen verdrängt werden. Die daraus resultierenden Schockwellen breiten sich als Tsunami aus, und je flacher das Wasser wird, desto höher werden Tsunamis. Im offenen Meer sind sie jedoch kaum wahrnehmbar.

### Brände

Entstehen durch herabfallende Stromleitungen oder durch brechende Gasleitungen. In vielen Fällen aus der Geschichte, kamen die meisten Menschen durch Brände nach dem Beben um.

### **33) Was ist unter „seismischer Gefährdung“ zu verstehen?**

→ beschreibt die Intensität der seismischen Erschütterungen und Bodenveränderungen, die langfristig in einem bestimmten Gebiet zu erwarten sind. Die Gefährdung ist abhängig von der Entfernung des Ortes oder einer Störung, an der Erdbeben auftreten können. Durch geschichtliche Aufzeichnungen, Überlieferungen und rezente Beobachtungen, gelang es, eine globale Karte der s.G. zu erstellen. Dort, wo die Überlieferungen zu niedrig angesetzt sind, kann die s.G. evtl. zu niedrig angesetzt worden sein.

### **34) Was beschreibt das „seismische Risiko“?**

→ ist politisch abgegrenzt: Die langfristig zu erwartenden Schäden in einem Gebiet wie etwa in einem Bundesland, meist angegeben als Verluste in Währungseinheiten / Jahr. Ausgehend von der seismischen Gefährdung selbst, spielen hier auch vor Ort Faktoren wie: Besiedlungsdichte, Bausubstanz, Anzahl der Gebäude oder die Infrastruktur eine wichtige Rolle zur Abschätzung des Risikos.

→ Die seismische Gefährdung kann man also nicht verringern, wohl aber das seismische Risiko!

### **35) Wo liegen die für Erdbeben gefährdetsten Regionen Deutschlands?**

Kölner Bucht, Oberrheingraben, Schwarzwald, Alpenvorland, Sachsen

### **36) Nennen sie Maßnahmen, um Erdbebenrisiken zu vermindern!**

#### Bodennutzung

Bauen auf Störungen wurde gesetzlich in Kalifornien verboten, nachdem Wohnhäuser auf aktiven Störungen zerstört wurden. Öffentliche Gebäude und Industrieanlagen sind davon ausgenommen, was wenig Sinn macht.

#### Erdbebensicheres Bauen

Bauvorschriften konnten Gebäude sicherer machen. Die Bauvorschriften geben die Mindestkräfte vor, denen ein Bauwerk standhalten muss. Sie beruhen auf der maximalen Intensität der Bodenerschütterung, die von der seismischen Gefährdung ausgeht.

#### Notfallmaßnahmen

Durch Strong-Motion Sensoren an Seismographen, können auch die stärksten Wellen exakt aufgenommen werden. Diese automatisch arbeitenden Systeme liefern in Echtzeit Karten mit Informationen, wo das Erbeben besonders schlimm war, so dass Rettungsmannschaften dort schnell und gezielt eintreffen können.

### Echtzeitwarnung bei Erbebengefahr

Dadurch, dass sich die schlimmsten Wellen, die S-Wellen, langsamer als Radiowellen ausbreiten, könnte man warnen, noch bevor diese Wellen eine Stadt treffen. Die Vorwarnzeit ist zwar extrem kurz, sie kann aber manches Leben retten und Vorsichtsmaßnahmen einleiten.

### Tsunami-Warnungen

Diese Vorwarnungen sind möglich, da sich Tsunamis deutlich langsamer ausbreiten, als seismische Wellen. Im indischen Ozean fehlte so ein Warnsystem, so dass es hier die Menschen überraschend traf. Tsunami-Schutzwälle sind sehr teuer und zerstören so das Landschaftsbild erheblich.

## **37) Sind Erdbeben vorhersagbar? Was kann man über langfristige, kurzfristige und mittelfristige Vorhersagen sagen?**

### Kurzfristige Vorhersagen:

Derzeit gibt es keine verlässlichen kurzfristigen Vorhersagen

### Mittelfristige Vorhersagen

Wann und wo innerhalb eines Störungsgefüges ein Erdbeben stattfindet, hat Einfluss auf die Spannungen aller anderen Störungen. Seismologen untersuchen nun, wie in einigen Regionen Störungen zu Erdbeben führen, während andere eher zu einem Kriechen kommt. Durch die Überwachung, wie Auf- und Abbau von Spannungsfeldern die regionale Verteilung von Erdbeben verändert, könnten Seismologen in der Lage sein, Erdbeben für Zeiträume von Monaten oder Jahren vorherzusagen. Dabei wird davon ausgegangen, dass durch Schwankungen des Spannungszustands die Häufigkeit kleiner Ereignisse vergrößert oder vermindert wird. Eines Tages könnte man im Radio hören: Im kommenden Jahr wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% am südlichen Ende der San Andreas-Störung ein Erdbeben der Stärke 7,0 auftreten. Diese Vorwarnung würd jedoch auch nichts bringen.

### Langfristige Vorhersagen

Je kürzer die Zeit nach dem letzten Beben ist, desto kürzer ist die Zeit bis zum nächsten. Dieser durchschnittliche Rekurrenzintervall lässt sich mit Hilfe verschiedener Verfahren abschätzen. Nach der Scherbruch-Hypothese ergibt sich das Rekurrenzintervall aus der Anzahl der Jahre, die erforderlich ist, um ausreichend hohe Spannungen aufzubauen, die dann bei einem künftigen Erdbeben durch die Bewegung an der Störungsfläche wieder abgebaut werden. Der durchschnittliche Zeitraum zwischen 2 Beben lässt sich somit aus der Geschwindigkeit der Bewegung im Bereich der Störung und dem zu erwartenden Versatzbetrag errechnen. An der San Andreas-Störung, verschieben sich die Platten mit einer Geschwindigkeit von 35mm/Jahr, so dass 200 Jahre erforderlich sind, um genügend Spannung für ein Beben anzustauen, bei dem es zu einem Versatz von 6 Metern kommt. Ein Versatzbetrag dieser Größe bedarf eines Bebens der Stärke 7,5. Der Unsicherheitsfaktor liegt jedoch bei 50% des durchschnittlichen Rekurrenzintervalls.