minærva

G

10 SKRIPT Dynamische Erde und Meere

Erklärskript

Die Aufgaben 282–321 zu diesem Skript stehen im Aufgabenskript, die Lösungen im Lösungsskript. Verweise auf Aufgaben sind Links.

Geographie – Klasse 5 bis 10, G8 und G9

Pirmin Gohn

Nutzungshinweis: Dieses Skript darf nur im Rahmen des Unterrichts verwendet werden; insbesondere ist die eigenständige Weitergabe untersagt.

Skriptreihe G · Geographie (Klasse 5 bis 10, G8 und G9)

G1 Orientierung	G2 Landschaften	G3 Wetter und Klima	G4 Stadt und Land	G5 Klimazonen	G6 Geozonen
G7 Klimawandel	G8 Eine Welt	G9 Welthandel	G10 Erde und Meere	G11 Ressourcen	

Lernen mit minærva

Dieses Skript ist ein Teil von minærva. Alles gehört zusammen: Jedes Thema führt von der Erklärung zum Üben, zum Ausprobieren und ins große Bild.

minaerva.de

Skripte Verstehen
Der Stoff zum Nachlesen: Erklärungen, Herleitungen, Beispiele und typische Fehler.
minaerva.de

noctua Üben
Fragen zu jedem Abschnitt, mit sofortiger Rückmeldung.
noctua.minaerva.de

fabrica Ausprobieren
Versuche und Anschauungen zum Selbermessen und Anfassen, ohne Konto, auch auf dem iPad.
fabrica.minaerva.de

tela Vernetzen
Das Wissensnetz: worauf ein Thema aufbaut und wohin es führt.
tela.minaerva.de

So greifen die Skripte ineinander

Erklärskripte	Geographie: elf Themenskripte G1–G11 für die Klassen 5 bis 10 (im G9 bis Klasse 11) mit dem Stoff, aber ohne Aufgaben. Unter jeder Abschnittsüberschrift steht, in welchen Klassen das Thema im G8 und im G9 drankommt.
Aufgabenskript	Ein gemeinsames Aufgabenskript für alle Themen. Die Erklärskripte verweisen darauf; jede Aufgaben-, Abbildungs- und Tabellennummer gibt es in der Reihe nur einmal.
Lösungsskript	Die Lösungen zu allen Aufgaben, mit denselben Nummern.

Am Ende vieler Abschnitte stehen Links zur passenden Übung, zum Versuch und ins Wissensnetz. In der PDF-Datei lassen sie sich direkt antippen.

Inhaltsverzeichnis

Worum es geht ... **4**
1 Schalenbau der Erde ... **5**
1.1 Woher wissen wir, wie die Erde innen aussieht? ... 5
1.2 Die Schalen der Erde ... 5
1.3 Lithosphäre und Asthenosphäre ... 6
2 Plattentektonik ... **7**
2.1 Wegener und die wandernden Kontinente ... 7
2.2 Platten und ihr Antrieb ... 7
2.3 Platten weichen auseinander: Ozeanbodenspreizung und Grabenbildung ... 8
2.4 Platten stoßen zusammen: Subduktion und Gebirgsbildung ... 9
2.5 Platten gleiten aneinander vorbei: Horizontalverschiebung ... 10
3 Vulkane, Erdbeben und Tsunamis ... **12**
3.1 Wo und warum Vulkane ausbrechen ... 12
3.2 Erdbeben ... 14
3.3 Seebeben und Tsunamis ... 16
4 Der Kreislauf der Gesteine ... **17**
4.1 Mineral und Gestein ... 17
4.2 Magmatite: aus glühender Schmelze ... 17
4.3 Sedimentite: aus abgelagerten Teilchen ... 17
4.4 Metamorphite: umgewandelt durch Druck und Hitze ... 17
4.5 Ein Kreislauf ohne Ende ... 18
5 Das Relief des Meeresbodens ... **20**
5.1 Vom Strand in die Tiefsee ... 20
5.2 Inseln ... 20
6 Das System Meer: Salz, Strömungen, Gezeiten ... **22**
6.1 Der Salzgehalt ... 22
6.2 Meeresströmungen ... 22
6.3 Die thermohaline Zirkulation ... 23
6.4 Wärmespeicher und Kohlenstoffdioxidsenke ... 23
6.5 Wellen ... 24
6.6 Gezeiten ... 24
7 Meere im Klimawandel ... **26**
7.1 Das Meer wird wärmer ... 26
7.2 Weniger Meereis ... 26
7.3 Der Meeresspiegel steigt ... 27
7.4 Versauerung ... 27
7.5 Küstenveränderung und Küstenschutz ... 27
8 Meere nutzen und schützen ... **29**
8.1 Wechselwirkungen im Ökosystem Meer ... 29
8.2 Beispiel 1: Überfischung durch Fischerei ... 29
8.3 Beispiel 2: Verschmutzung durch Abfall, Rohstoff- und Energiewirtschaft ... 30
8.4 Beispiel 3: Veränderung von Ökosystemen durch Tourismus ... 30
8.5 Nachhaltige Nutzung: Wer schützt das Meer? ... 31

Worum es geht

Am 3. September 1978 wackelten in Albstadt auf der Schwäbischen Alb die Schränke, Schornsteine stürzten von den Dächern, Tausende Häuser wurden beschädigt. Es war das stärkste Erdbeben in Baden-Württemberg seit Beginn der Messungen. Wer am Kaiserstuhl wandert, steht auf den Resten eines Vulkans, der vor rund 17 Millionen Jahren ausbrach. Und wer in einem Baggersee am Oberrhein schwimmt, badet in einer Kiesgrube, deren Kies aus den Alpen stammt. Die Erde unter unseren Füßen ist also nicht so fest und unveränderlich, wie sie aussieht.

Noch mehr in Bewegung sind die Meere, die fast drei Viertel der Erde bedecken. Sie speichern Wärme, transportieren sie über Tausende Kilometer, nehmen Kohlenstoffdioxid aus der Luft auf, versorgen Milliarden Menschen mit Nahrung und sind zugleich Müllkippe, Rohstofflager und Urlaubsziel. Dieses Skript beginnt im Inneren der Erde, erklärt, warum Kontinente wandern, Vulkane ausbrechen und Gesteine entstehen und vergehen, und taucht dann ins Meer: vom Relief des Meeresbodens über Strömungen und Gezeiten bis zu der Frage, wie wir die Meere nutzen können, ohne sie zu zerstören.

Dynamische Erde und Meere im Lehrplan. G8: Klasse 9/10. G9: Klasse 9/10. Einzelne Abschnitte können davon abweichen; die Marken unter den Überschriften sagen es genau.

Lehrplan-Marken. Unter jeder Abschnittsüberschrift steht, in welchen Klassen das Thema im achtjährigen (G8) und im neunjährigen Gymnasium (G9) vorkommt, z. B. G8 · Kl. 7/8 G9 · Kl. 7/8. Ein Strich (G9 –) heißt: Im Lehrplan dieses Zugs kommt der Abschnitt nicht vor. Grundlage ist der Bildungsplan Baden-Württemberg (G8: Fassung vom 22.02.2023, G9: Fassung vom 08.04.2026). Der Bildungsplan nennt Doppeljahrgänge; auf welches Jahr ein Thema fällt, legt die Schule fest. Wo der Plan ein Raumbeispiel zur Wahl stellt, behandelt das Skript alle.

Die Aufgaben zu diesem Skript stehen im Aufgabenskript der Reihe, die Lösungen im Lösungsskript. Jeder Abschnitt endet mit Verweisen auf passende Übungen in **noctua** und Stationen in **fabrica**. Fachbegriffe aus dem Bildungsplan sind beim ersten Auftreten **fett** gesetzt und am Ende jedes Kapitels in einem Kasten zusammengefasst. Profile und Querschnitte sind schematisch und meist stark überhöht; die Lage der Orte und Platten zeigen Atlas und digitale Karten.

1 Schalenbau der Erde

G8 · Kl. 9/10 G9 · Kl. 9/10

Das tiefste Loch, das Menschen je gebohrt haben, liegt auf der Halbinsel Kola im Norden Russlands: gut 12 km tief. Bis zum Mittelpunkt der Erde sind es aber 6371 km. Wir haben also nicht einmal ein Fünfhundertstel des Weges geschafft. Trotzdem weiß man recht genau, wie die Erde innen aufgebaut ist.

1.1 Woher wissen wir, wie die Erde innen aussieht?

Bei einem starken Erdbeben laufen Wellen durch die ganze Erde, und Messgeräte auf der ganzen Welt zeichnen sie auf. Diese **Erdbebenwellen** werden je nach Gestein schneller oder langsamer und werden an Grenzen zwischen verschiedenen Stoffen abgelenkt, so wie Licht an der Grenze zwischen Luft und Wasser. Eine Wellenart, die S-Welle, kann sich nur in festen Stoffen ausbreiten. Auf der dem Beben gegenüberliegenden Seite der Erde kommt sie nicht an (Abbildung 173): Irgendwo im Inneren muss die Erde flüssig sein.

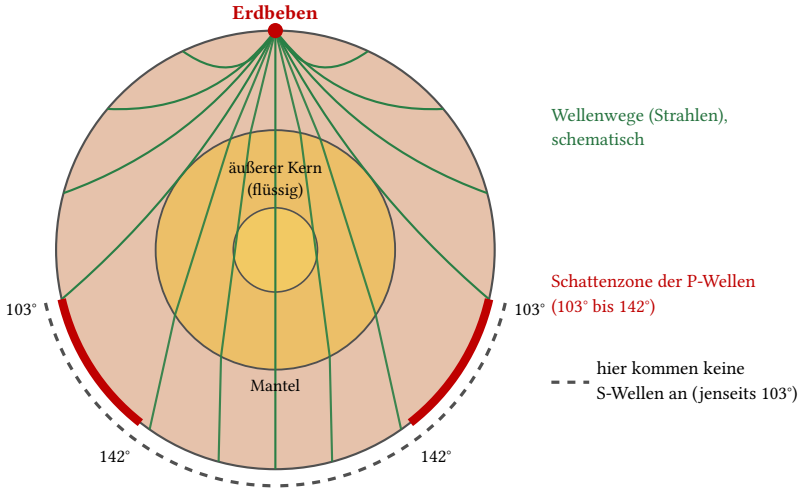


Abbildung 173: Erdbebenwellen durchleuchten die Erde (schematisch). Am Kern werden die Wellen abgelenkt; in einem Ring auf der Gegenseite kommen keine direkten Wellen an. S-Wellen erreichen die Gegenseite gar nicht, weil sie den flüssigen äußeren Kern nicht durchqueren.

Dazu kommen weitere Hinweise: Die Erde ist im Mittel etwa 5,5-mal so dicht wie Wasser, die Gesteine an der Oberfläche aber nur knapp 3-mal. Innen muss also etwas viel Schwereres liegen. Meteoriten, die Reste aus der Entstehungszeit des Sonnensystems sind, bestehen zu einem großen Teil aus Eisen und Nickel. Und das Magnetfeld der Erde lässt sich nur mit strömendem, flüssigem Metall im Inneren erklären.

1.2 Die Schalen der Erde

Aus all diesen Hinweisen ergibt sich der **Schalenbau der Erde**: Die Erde ist aus Schalen aufgebaut wie eine Zwiebel, die schwersten Stoffe innen, die leichtesten außen (Abbildung 174).

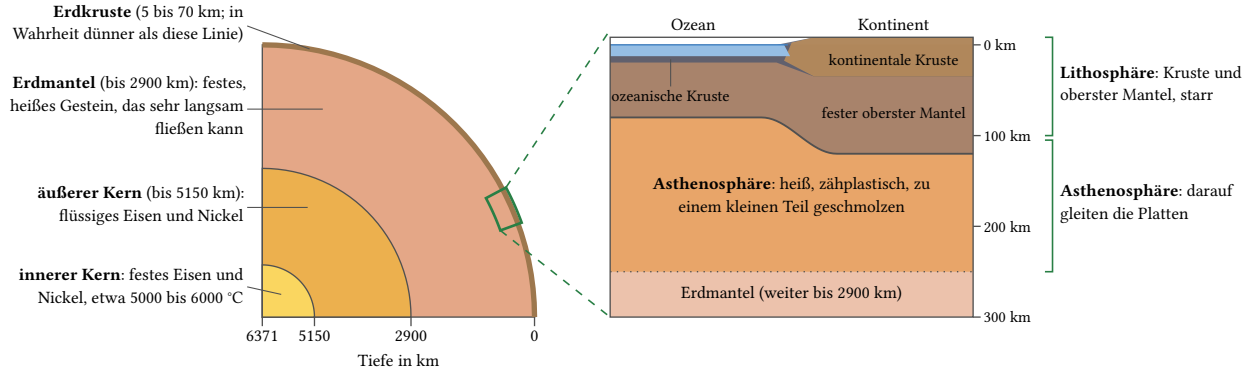


Abbildung 174: Schalenbau der Erde. Links ein Viertel der Erde mit maßstäblichen Radien, rechts eine „Lupe“ auf die obersten 300 km (Tiefe maßstäblich, das Meer überhöht).

- Die **Erdkruste** ist die äußerste, dünne Schale aus festem Gestein. Unter den Ozeanen ist sie nur 5 bis 10 km dick und besteht aus dem dunklen, schweren Gestein Basalt (**ozeanische Kruste**). Unter den Kontinenten ist sie 30 bis 40 km dick, unter hohen Gebirgen bis 70 km, und besteht aus helleren, leichteren Gesteinen wie Granit (**kontinentale Kruste**).
- Der **Erdmantel** reicht bis 2900 km Tiefe und macht über vier Fünftel des Erdvolumens aus. Sein Gestein ist fest, aber so heiß (von etwa 1000 °C oben bis über 3000 °C unten), dass es sich über Millionen Jahre ganz langsam verformen und fließen kann, ähnlich wie Knetmasse, nur viel zäher.
- Der **Erdkern** besteht vor allem aus Eisen und Nickel. Der **äußere Kern** (2900 bis 5150 km) ist flüssig; seine Strömungen erzeugen das Magnetfeld der Erde. Der **innere Kern** ist trotz Temperaturen von etwa 5000 bis 6000 °C fest, weil der Druck dort so groß ist, dass das Metall nicht schmelzen kann.

Schale	Tiefe	Zustand	Temperatur (etwa)
Erdkruste	0 bis 5–70 km	fest	bis einige 100 °C
Erdmantel	bis 2900 km	fest, aber sehr langsam fließend	1000 bis über 3000 °C
äußerer Kern	2900 bis 5150 km	flüssig	4000 bis 5000 °C
innerer Kern	5150 bis 6371 km	fest	5000 bis 6000 °C

Tabelle 40: Die Schalen der Erde (gerundete Werte).

Beispiel 1

Wie dünn ist die Kruste? Die kontinentale Kruste ist etwa 35 km dick, der Erdradius beträgt 6371 km. Die Kruste macht also nur $35 : 6371 \approx 0{,}55\%$ des Radius aus. Wäre die Erde ein Apfel mit 4 cm Radius, wäre die Kruste $0{,}0055 \cdot 40\ \text{mm} \approx 0{,}2\ \text{mm}$ dick, dünner als die Schale des Apfels.

1.3 Lithosphäre und Asthenosphäre

Für alles, was an der Erdoberfläche geschieht, ist noch eine zweite Einteilung wichtig. Sie fragt nicht, woraus das Gestein besteht, sondern wie es sich verhält: Bricht es, oder kann es sich verformen?

Definition

Die **Lithosphäre** (griechisch „lithos“: Stein) ist die starre äußere Gesteinshülle der Erde. Sie umfasst die Erdkruste und den obersten, festen Teil des Erdmantels und ist etwa 70 bis 150 km dick. Darunter liegt die **Asthenosphäre** („schwache Hülle“, bis etwa 250 km Tiefe): Dort ist das Mantelgestein so heiß, dass ein kleiner Teil geschmolzen ist; das Gestein ist zähplastisch und kann langsam fließen.

Die Lithosphäre ist in große Stücke zerbrochen, die **Platten**. Sie liegen auf der weichen Asthenosphäre wie Eisschollen auf zähem Honig und können sich auf ihr bewegen. Davon handelt das nächste Kapitel.

Typischer Fehler

Falsch: Unter der Erdkruste ist alles flüssig, die Kontinente schwimmen auf einem Meer aus Lava.
Richtig: Der Erdmantel ist fast vollständig fest. Nur in der Asthenosphäre ist ein kleiner Teil geschmolzen; flüssig ist erst der äußere Kern in 2900 km Tiefe.

Magma bildet sich nur an bestimmten Stellen, etwa an Plattengrenzen; es sammelt sich in Magmakammern in einigen Kilometern Tiefe.

Fachbegriffe: Schalenbau der Erde · Erdkruste · Erdmantel · Erdkern · Lithosphäre · Asthenosphäre · ozeanische Kruste · kontinentale Kruste

Üben: **noctua** ↗

2 Plattentektonik

G8 · Kl. 9/10 G9 · Kl. 9/10

Schau dir auf einer Weltkarte die Ostküste Südamerikas und die Westküste Afrikas an: Sie passen zusammen wie zwei Puzzleteile. Ist das Zufall, oder hingen die Kontinente einmal zusammen?

2.1 Wegener und die wandernden Kontinente

Der deutsche Polarforscher und Meteorologe Alfred Wegener (1880–1930) war überzeugt, dass es kein Zufall ist. 1912 stellte er seine **Theorie der Kontinentalverschiebung** vor: Vor etwa 250 Millionen Jahren bildeten alle Kontinente einen einzigen Großkontinent, **Pangäa** („ganze Erde“). Dieser zerbrach, und die Bruchstücke wandern seitdem auseinander. Wegener sammelte dafür viele Hinweise (Abbildung 175):

- Die Umrisse der Kontinente passen zusammen, am besten am Rand des Schelfs unter Wasser.
- Gesteine und alte Gebirge setzen sich auf der anderen Seite des Atlantiks fort.
- Versteinerungen gleicher Landtiere und Pflanzen findet man in Südamerika und Afrika; über einen Ozean hätten sie nicht gelangen können.
- Spuren einer alten Vereisung liegen heute in Afrika, Südamerika, Indien und Australien, teils in den Tropen.

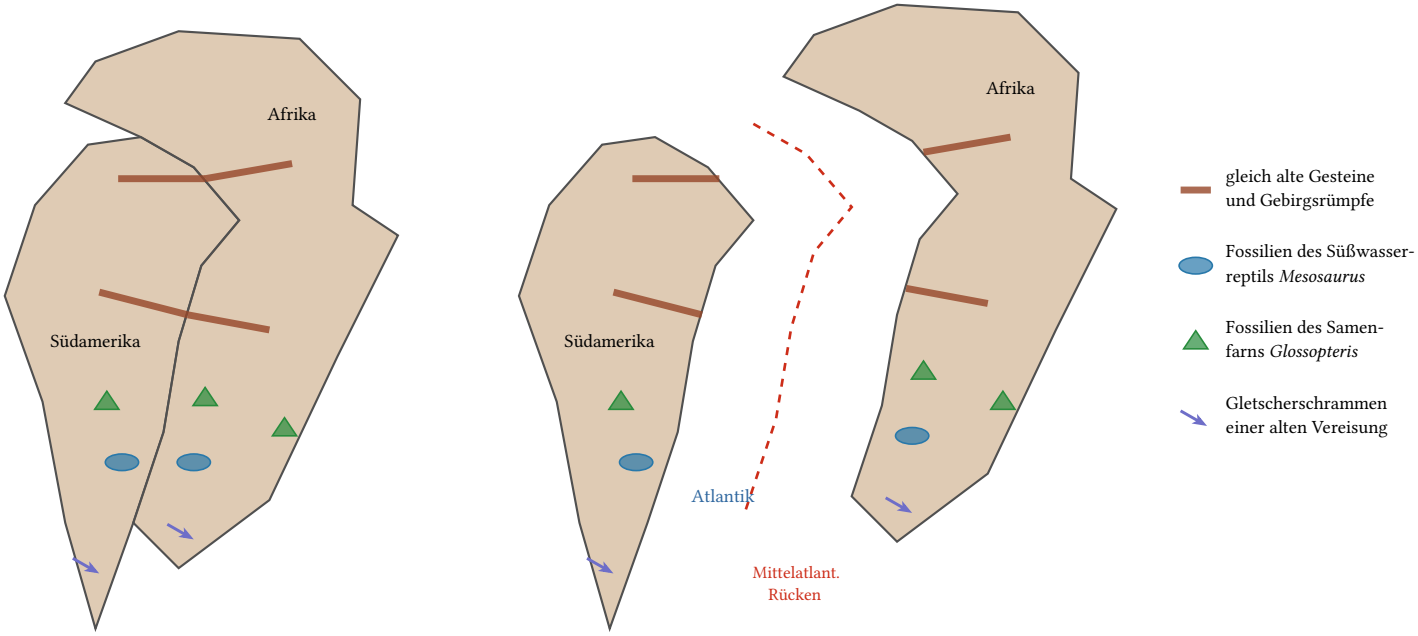


Abbildung 175: Hinweise für die Kontinentalverschiebung (schematisch): Setzt man Südamerika und Afrika zusammen, passen Gesteine, Fundorte von Versteinerungen und Vereisungsspuren über die Naht hinweg zusammen.

Die meisten Fachleute lehnten Wegeners Idee ab, weil er nicht erklären konnte, welche Kraft ganze Kontinente bewegen soll. Erst nach seinem Tod lieferte die Erforschung der Ozeanböden die Antwort.

2.2 Platten und ihr Antrieb

Heute weiß man: Nicht die Kontinente allein wandern, sondern die **Lithosphärenplatten**, die Kontinente und Ozeanböden zugleich tragen. Die Lithosphäre ist in sieben große und viele kleine Platten zerbrochen, zum Beispiel die Eurasische, die Afrikanische, die Pazifische oder die Nordamerikanische Platte. Mit Satelliten (GPS) misst man, dass sie sich um etwa 2 bis 15 cm pro Jahr gegeneinander bewegen, ungefähr so schnell, wie Fingernägel wachsen. Die Lehre von diesen Platten und ihren Bewegungen heißt **Plattentektonik**.

Merksatz

Plattentektonik: Die starre Lithosphäre ist in Platten zerbrochen, die sich auf der zähplastischen Asthenosphäre bewegen. An den Rändern der Platten, den **Plattengrenzen**, entstehen die meisten Erdbeben und Vulkane und die großen Gebirge.

Der Antrieb ist die Wärme im Erdinneren. Sie stammt zum Teil noch aus der Entstehung der Erde, zum Teil aus dem Zerfall radioaktiver Stoffe im Gestein. Im Erdmantel steigt heißes Gestein ganz langsam auf, kühleres sinkt ab, wie in einem Topf mit Suppe auf dem Herd (**Konvektion**). An den Tiefseerinnen sinkt außerdem die alte, abgekühlte und deshalb schwere ozeanische Platte in den Mantel und zieht den Rest der Platte hinter sich her wie eine Tischdecke, die von der Tischkante rutscht (**Plattenzug**). Nach heutigem Wissen ist dieser Plattenzug die wichtigste Antriebskraft (Abbildung 176).

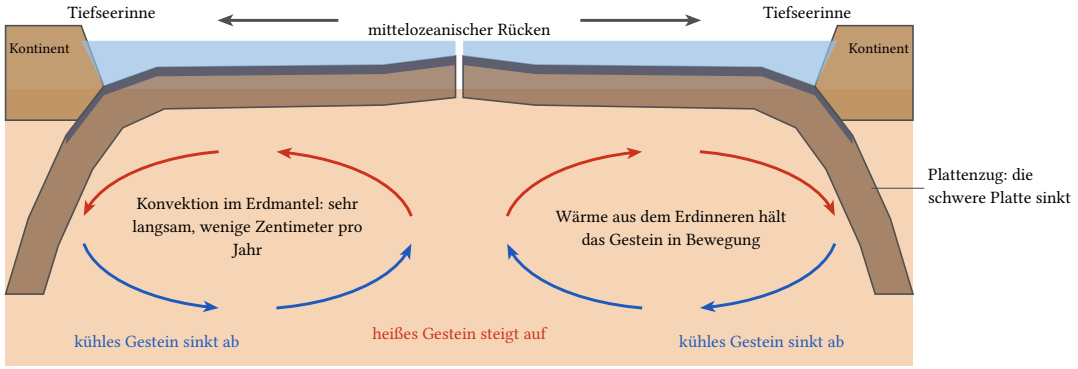
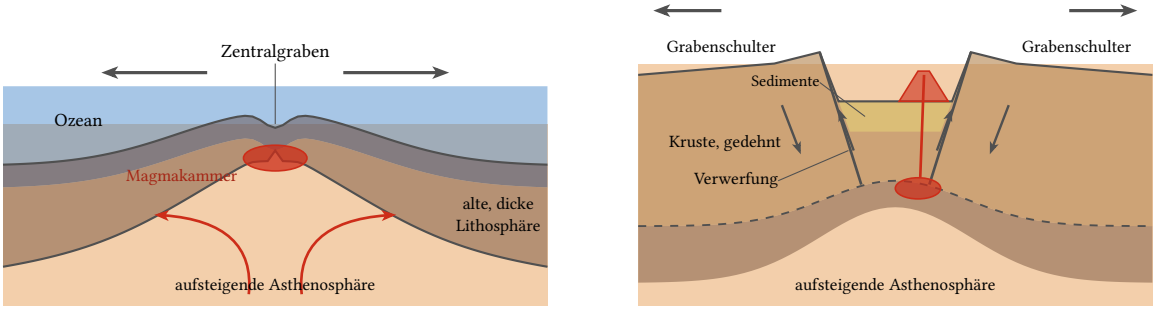


Abbildung 176: Antrieb der Platten (Modell, nicht maßstäblich): Konvektion im Erdmantel und Absinken der schweren Platte an den Tiefseerinnen.

Je nachdem, wie sich zwei Platten zueinander bewegen, unterscheidet man drei Arten von Plattengrenzen: Sie bewegen sich **auseinander** (divergent), **aufeinander zu** (konvergent) oder **aneinander vorbei**.

2.3 Platten weichen auseinander: Ozeanbodenspreizung und Grabenbildung

Mitten durch den Atlantik zieht sich ein Gebirge unter Wasser, der Mittelatlantische Rücken. Solche **mittelozeanischen Rücken** gibt es in allen Ozeanen, zusammen über 60 000 km lang. Hier weichen zwei Platten auseinander. In die Lücke steigt heißes Gestein aus dem Mantel auf; weil der Druck nachlässt, schmilzt ein Teil davon zu Magma. Das Magma dringt nach oben, erstarrt zu Basalt und bildet neuen Ozeanboden, der nach beiden Seiten weggeschoben wird (Abbildung 177 a). Diesen Vorgang nennt man **Ozeanbodenspreizung** oder englisch **Seafloor Spreading**.



(a) mittelozeanischer Rücken **(b) kontinentaler Grabenbruch**

Abbildung 177: Divergente Plattengrenzen (schematisch): (a) ein mittelozeanischer Rücken, an dem neuer Ozeanboden entsteht, (b) ein Grabenbruch in einem Kontinent.

Den Beweis lieferte der Magnetismus: Wenn Lava erstarrt, „frieren“ winzige Eisenkristalle im Gestein die Richtung des Erdmagnetfelds ein. Das Magnetfeld hat sich in der Erdgeschichte immer wieder umgepolt. Deshalb liegen auf beiden Seiten des Rückens Streifen mit abwechselnder Magnetisierung, spiegelbildlich gleich (Abbildung 178). Außerdem wird der Ozeanboden mit der Entfernung vom Rücken älter: Der älteste Ozeanboden ist nur etwa 180 Millionen Jahre alt, viele Gesteine der Kontinente dagegen Milliarden Jahre.

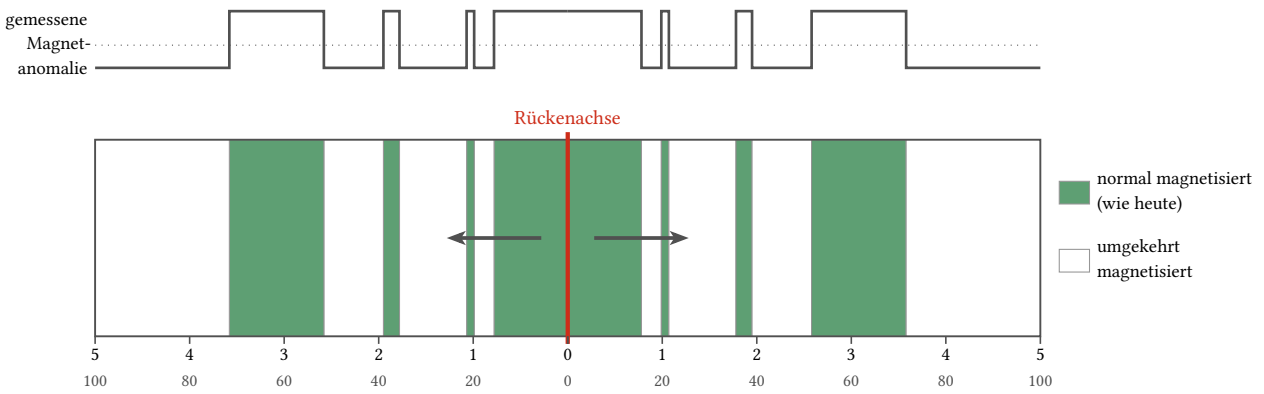


Abbildung 178: Spiegelbildliche Magnetstreifen beiderseits eines mittelozeanischen Rückens (Modell). Blau: Gestein, das erstarrte, als das Magnetfeld so gepolt war wie heute; weiß: umgekehrt gepolt.

Beispiel 2

Wie lange braucht ein Ozean? Der Atlantik öffnet sich um etwa 2,5 cm pro Jahr. In 180 Millionen Jahren ergibt das $2{,}5\ \text{cm} \cdot 180\,000\,000 = 450\,000\,000\ \text{cm} = 4500\ \text{km}$. Das ist ungefähr die Breite des Atlantiks zwischen Brasilien und Westafrika.

Reißt eine Platte mitten in einem Kontinent auf, entsteht zuerst ein langer, eingesunkener Streifen zwischen zwei Bruchlinien, ein **Graben** (Abbildung 177 b). Diese **Grabenbildung** sieht man heute im Ostafrikanischen Graben: Dort gibt es Erdbeben, Vulkane wie den Kilimandscharo und lange, tiefe Seen. In vielen Millionen Jahren könnte hier ein neuer Ozean entstehen, so wie das Rote Meer, das schon ein junger, schmaler Ozean ist. Auch der **Oberrheingraben** zwischen Schwarzwald und Vogesen ist ein Graben (Abbildung 179, vgl. G2). Er entstand vor etwa 45 Millionen Jahren; heute hat sich die Dehnung fast ganz beruhigt, aber leichte Erdbeben gibt es hier immer noch.

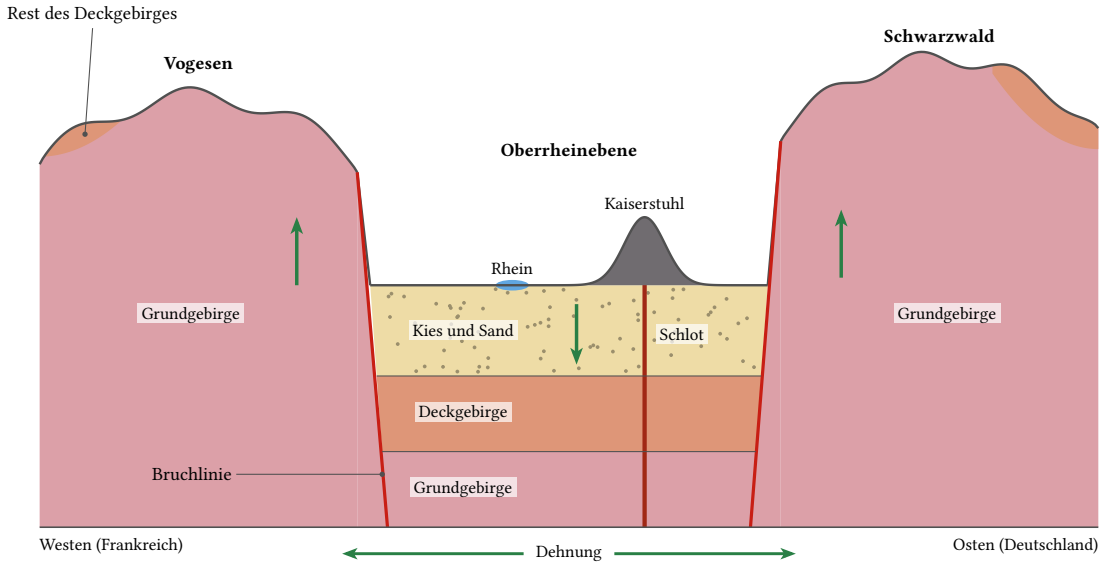


Abbildung 179: Der Oberrheingraben im Querschnitt (schematisch, vgl. G2): Der Graben sank ein, Schwarzwald und Vogesen wurden gehoben. Im Graben liegt bis heute Kies und Sand, mittendrin der Vulkan des Kaiserstuhls.

2.4 Platten stoßen zusammen: Subduktion und Gebirgsbildung

Wenn an den Rücken ständig neuer Ozeanboden entsteht, die Erde aber nicht größer wird, muss anderswo Ozeanboden verschwinden. Das geschieht, wo sich zwei Platten aufeinander zubewegen.

Ozeanische Platte trifft auf kontinentale Platte. Die ozeanische Platte ist schwerer und taucht schräg unter die kontinentale Platte in den Mantel ab. Dieses Abtauchen heißt **Subduktion** (Abbildung 180). An der Stelle, wo die Platte abtaucht, entsteht eine lange, tiefe Furche im Meeresboden, eine **Tiefseerinne**; man spricht von **Tiefseerinnenbildung**. Vor der Westküste Südamerikas taucht so die Nazca-Platte unter die Südamerikanische Platte ab. In etwa 100 km Tiefe gibt die abtauchende Platte Wasser ab, das darüberliegende Mantelgestein schmilzt teilweise, Magma steigt auf: Es entsteht eine Kette von Vulkanen. Zugleich wird der Rand des Kontinents zusammengeschoben und

gehoben. So entstanden die Anden, ein Beispiel für **Gebirgsbildung**. Weil sich die Platten verhaken und ruckartig lösen, gibt es hier auch die stärksten Erdbeben der Erde.

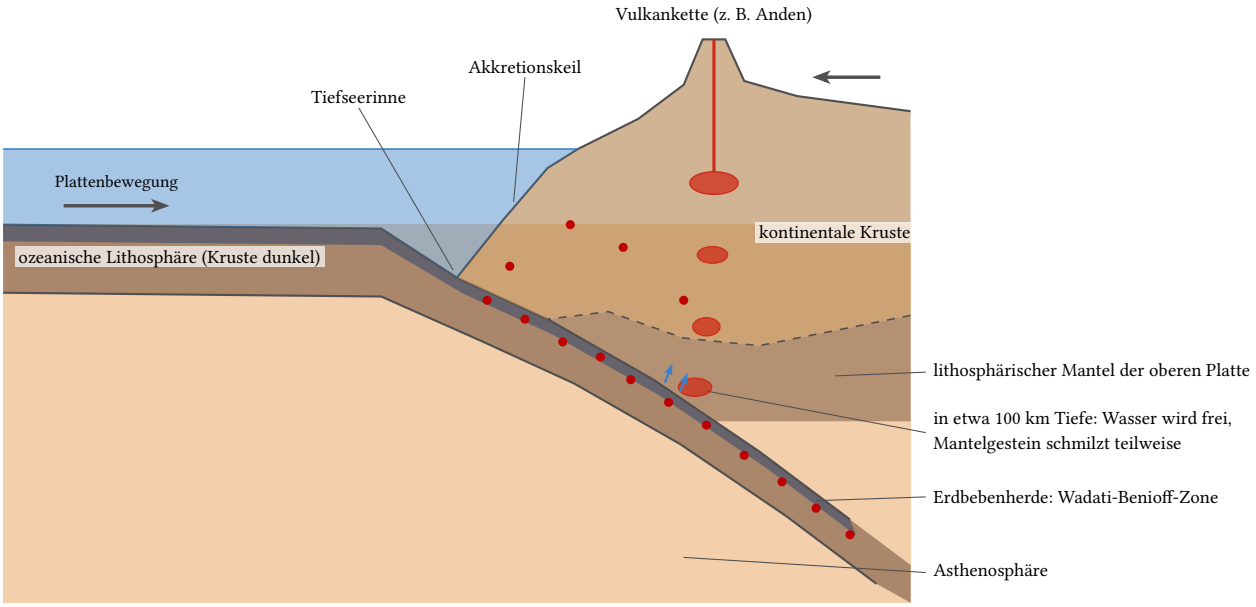
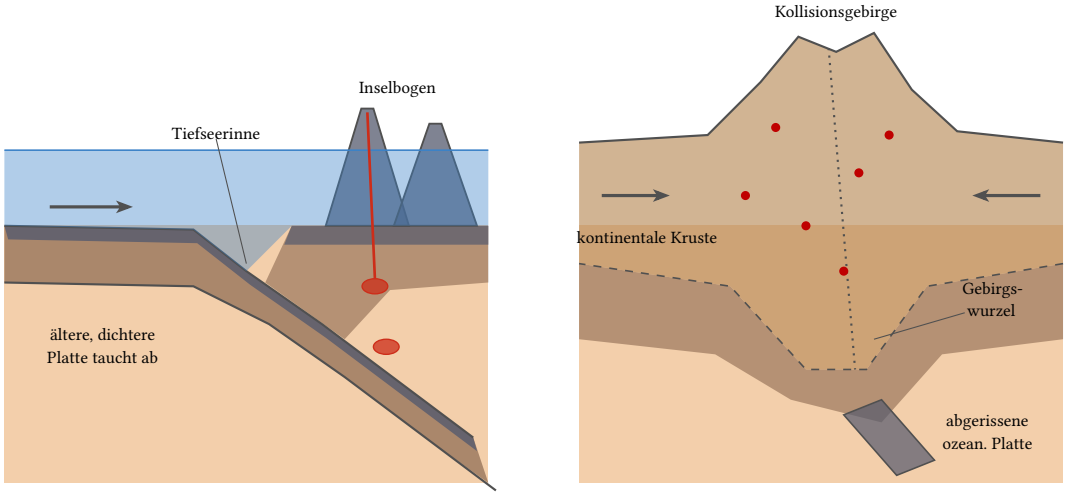


Abbildung 180: Subduktion einer ozeanischen unter eine kontinentale Platte (schematisch, überhöht). Ein Akkretionskeil ist ein Keil aus abgeschabten Meeresablagerungen; die roten Punkte sind Erdbebenherde, die entlang der abtauchenden Platte immer tiefer liegen (Wadati-Benioff-Zone).

Zwei ozeanische Platten. Die ältere, kühlere und damit schwerere Platte taucht ab. Über ihr wächst ein Bogen von Vulkaninseln aus dem Meer, ein **Inselbogen**, zum Beispiel die Marianen oder Japan (Abbildung 181 a). Im Marianengraben liegt mit knapp 11 000 m die tiefste Stelle der Ozeane.

Zwei kontinentale Platten. Kontinente sind zu leicht, um abzutauchen. Stoßen sie zusammen, wird die Kruste gestaucht, gefaltet und übereinandergeschoben (Abbildung 181 b). So entstehen die höchsten Faltengebirge: Der Himalaya wächst seit etwa 50 Millionen Jahren, weil Indien gegen Asien drückt; die Alpen entstanden, als Afrika (genauer: ein Teil davon, die Adriatische Platte) gegen Europa stieß.



(a) ozeanisch – ozeanisch **(b) kontinental – kontinental**

Abbildung 181: Weitere konvergente Plattengrenzen (schematisch): (a) zwei ozeanische Platten mit Inselbogen, (b) zwei Kontinente stoßen zusammen und bilden ein Faltengebirge.

2.5 Platten gleiten aneinander vorbei: Horizontalverschiebung

An manchen Grenzen bewegen sich die Platten seitlich aneinander vorbei, ohne dass Kruste entsteht oder verschwindet. Diese **Horizontalverschiebung** nennt man auch Transformstörung. Die meisten liegen am Meeresboden und versetzen die mittelozeanischen Rücken (Abbildung 182). Die bekannteste an Land ist die **San-Andreas-Verwerfung** in Kalifornien: Die Pazifische Platte gleitet dort an der Nordamerikanischen Platte vorbei, um einige Zentimeter pro Jahr.

Weil sich die Platten verhaken, baut sich Spannung auf, die sich von Zeit zu Zeit in Erdbeben entlädt, wie 1906 in San Francisco. Auch das schwere Beben in der Türkei und in Syrien 2023 ereignete sich an einer solchen Verwerfung. Vulkane gibt es an Horizontalverschiebungen kaum.

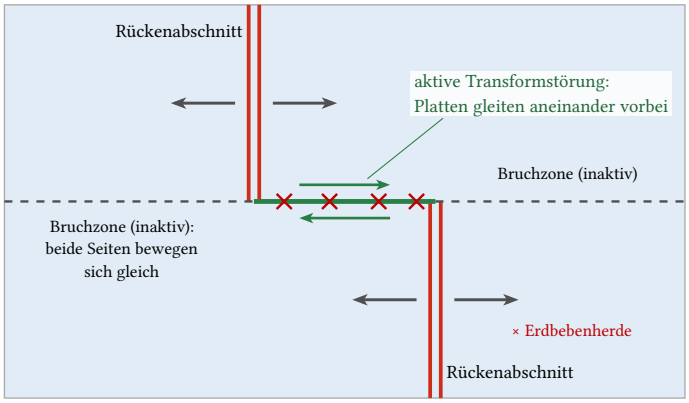


Abbildung 182: Horizontalverschiebung (Transformstörung) zwischen zwei versetzten Abschnitten eines mittelozeanischen Rückens, von oben gesehen.

	auseinander (divergent)	aufeinander zu (konvergent)	aneinander vorbei
Kruste	entsteht neu	taucht ab (Subduktion) oder wird gestaucht	bleibt erhalten
Formen	mittelozeanischer Rücken, Graben	Tiefseerinne, Vulkankette, Inselbogen, Faltengebirge	Verwerfung
Vulkane	ja, dünnflüssige Lava	ja, oft explosiv (nicht bei zwei Kontinenten)	kaum
Erdbeben	häufig, meist schwach	häufig, die stärksten der Erde	häufig, teils stark
Beispiele	Mittelatlantischer Rücken, Island, Ostafrika	Anden, Japan, Himalaya, Alpen	San-Andreas-Verwerfung

Tabelle 41: Die drei Arten von Plattengrenzen im Überblick.

Fachbegriffe: Plattentektonik · Kontinentalverschiebung · Lithosphärenplatte · Ozeanbodenspreizung (Seafloor Spreading) · Grabenbildung · Subduktion · Tiefseerinnenbildung · Gebirgsbildung · Horizontalverschiebung

Üben: **noctua** ↗ Ausprobieren: **Plattengrenzen und Ozeanboden** ↗ · **Wärmeleitung und Konvektion** ↗

3 Vulkane, Erdbeben und Tsunamis

G8 · Kl. 9/10 G9 · Kl. 9/10

Trägt man alle aktiven Vulkane und alle starken Erdbeben in eine Weltkarte ein (im Atlas oder in digitalen Karten), sieht man sofort: Sie liegen nicht verstreut, sondern in schmalen Bändern, und diese Bänder folgen den Plattengrenzen. Besonders auffällig ist der „Pazifische Feuerring“ rund um den Pazifik, an dem eine Subduktionszone an die nächste grenzt. Dort liegen etwa drei Viertel der aktiven Vulkane, und dort ereignen sich rund 90 % aller Erdbeben.

3.1 Wo und warum Vulkane ausbrechen

Vulkanismus nennt man alle Vorgänge, bei denen **Magma** (geschmolzenes Gestein mit gelösten Gasen) aus der Tiefe aufsteigt und an die Oberfläche gelangt. Tritt es aus, heißt es **Lava**. Das Smithsonian-Vulkanprogramm (Global Volcanism Program) zählt rund 1300 Vulkane, die seit dem Ende der letzten Kaltzeit ausgebrochen sind; in jedem Jahr sind 60 bis 90 davon aktiv. Magma entsteht an drei Arten von Orten (Abbildung 183):

- an **divergenten** Plattengrenzen, wo Mantelgestein aufsteigt und schmilzt, zum Beispiel an den mittelozeanischen Rücken und in Island;
- an **Subduktionszonen**, wo die abtauchende Platte Wasser abgibt und darüber Gestein schmilzt, zum Beispiel in den Anden, in Japan oder in Indonesien;
- über **Hot Spots**, an denen mitten in einer Platte heißes Mantelmaterial wie eine Säule aufsteigt, zum Beispiel unter Hawaii.

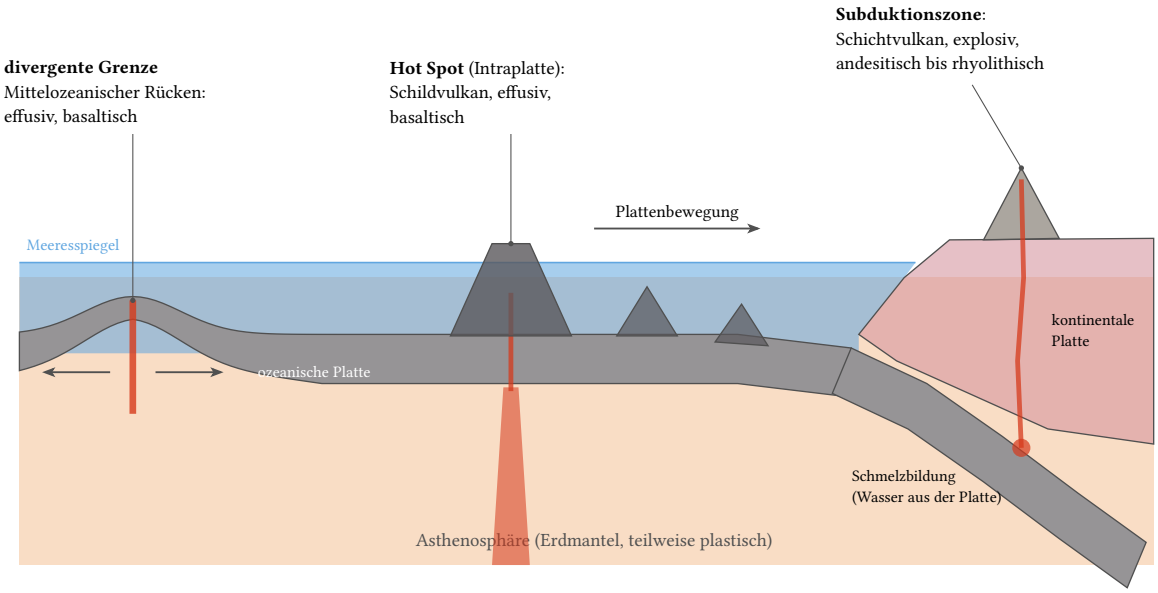


Abbildung 183: Wo Vulkane entstehen (schematischer Querschnitt): an einer divergenten Grenze, über einem Hot Spot mitten in der Platte und über einer Subduktionszone.

Wie ein Vulkan ausbricht, hängt vor allem davon ab, wie zäh das Magma ist und wie viel Gas es enthält (Abbildung 184):

- **Dünnflüssiges** Magma (Basalt) entsteht an divergenten Grenzen und an Hot Spots. Das Gas entweicht leicht, die Lava fließt in langen Strömen aus. Es entstehen flache, breite **Schildvulkane** wie auf Hawaii oder Spaltenausbrüche wie in Island (2021 bis 2025 mehrfach auf der Halbinsel Reykjanes). Solche Ausbrüche nennt man **effusiv** (ausfließend).
- **Zähflüssiges**, gasreiches Magma entsteht an Subduktionszonen. Das Gas kann kaum entweichen, der Druck steigt, bis der Vulkan **explosiv** ausbricht und Asche, Gesteinsbrocken und Glutwolken ausstößt. Aus Lagen von Lava und Asche wachsen steile **Schichtvulkane** (Abbildung 185) wie der Fuji in Japan, der Vesuv in Italien oder der Pinatubo auf den Philippinen, dessen Ausbruch 1991 die Erde für ein bis zwei Jahre messbar abkühlte.

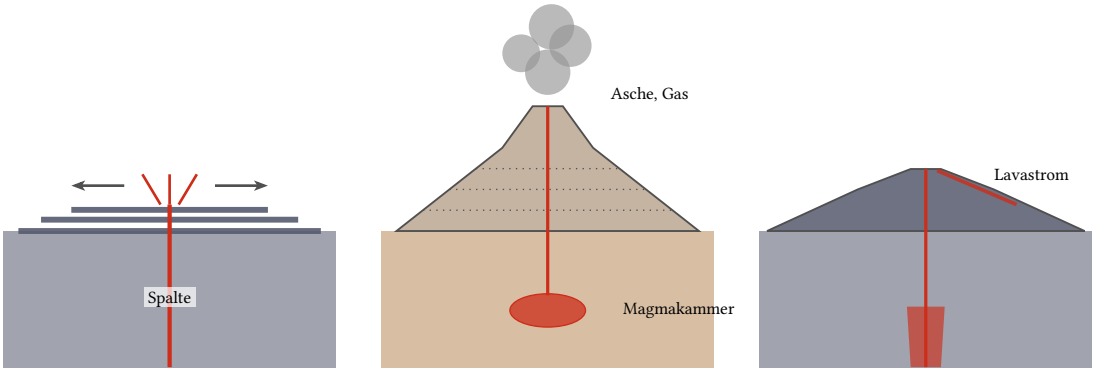


Abbildung 184: Drei Vulkantypen nach ihrer Lage (schematisch): Spaltenausbruch an einer divergenten Grenze, Schichtvulkan an einer Subduktionszone, Schildvulkan über einem Hot Spot.

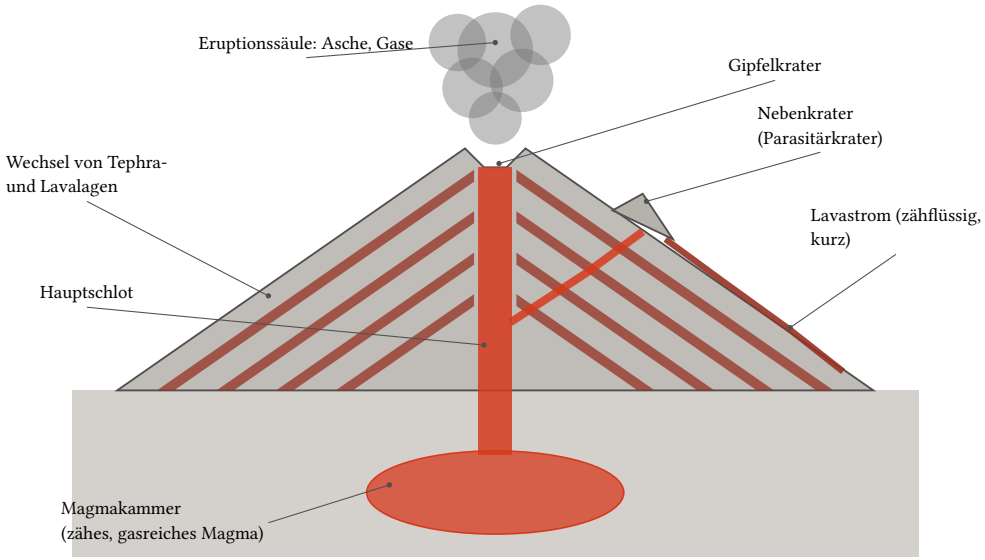


Abbildung 185: Aufbau eines Schichtvulkans (schematisch, überhöht).

Hot Spots. Ein Hot Spot bleibt an seiner Stelle, während die Platte darüber hinweggleitet. Deshalb entsteht eine Kette von Vulkaninseln, die mit der Entfernung vom Hot Spot immer älter und durch Abtragung immer niedriger werden (Abbildung 186). Auf der jüngsten Insel Hawai'i sind Vulkane wie der Kīlauea noch aktiv.

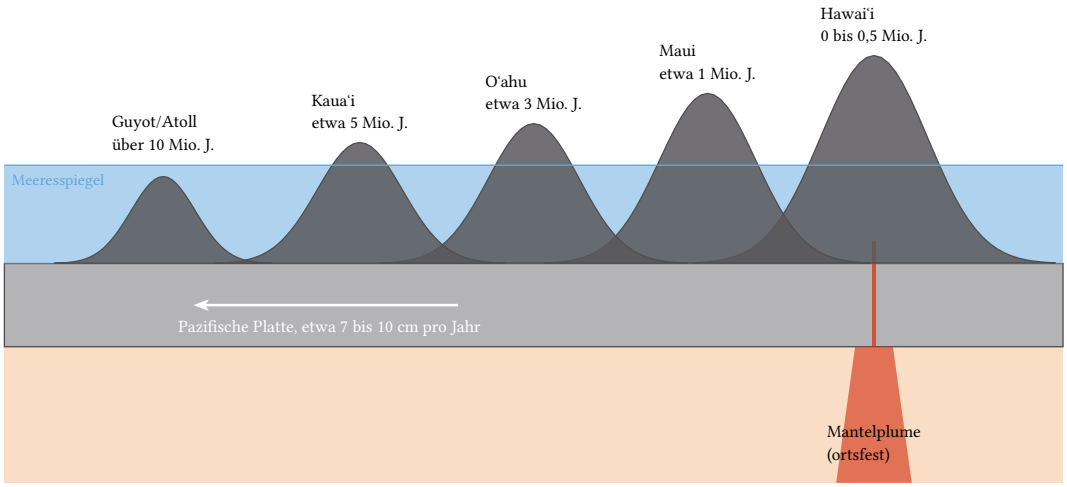


Abbildung 186: Die Hawaii-Inselkette über einem Hot Spot (schematisch, Alter nach dem US-amerikanischen Geologischen Dienst USGS). Die Pazifische Platte wandert nach Nordwesten, die alten Inseln werden abgetragen und sinken unter den Meeresspiegel.

Vulkane in Südwestdeutschland

Auch bei uns gab es Vulkane. Der **Kaiserstuhl** im Oberrheingraben ist der Rest eines Vulkans, der vor etwa 19 bis 16 Millionen Jahren tätig war; das Magma stieg an den Bruchlinien des Grabens auf. Die Kegel im **Hegau** bei Singen (zum Beispiel der Hohentwiel) sind die harten Schlotfüllungen von Vulkanen, deren weicherer Mantel abgetragen ist. In der Eifel brach der Laacher-See-Vulkan erst vor etwa 13 000 Jahren aus; die Eifel gilt als ruhender, nicht erloschener Vulkanraum.

3.2 Erdbeben

Wo sich zwei Platten gegeneinander bewegen, verhaken sie sich. Das Gestein verformt sich wie ein Lineal, das man biegt, und speichert dabei Spannung. Irgendwann ist die Spannung größer als die Festigkeit des Gesteins: Es bricht ruckartig entlang einer Bruchfläche, einer **Verwerfung**, und die Platten springen in Sekunden um bis zu einige Meter weiter. Die gespeicherte Energie breitet sich als Wellen nach allen Seiten aus: ein **Erdbeben** (Abbildung 187).

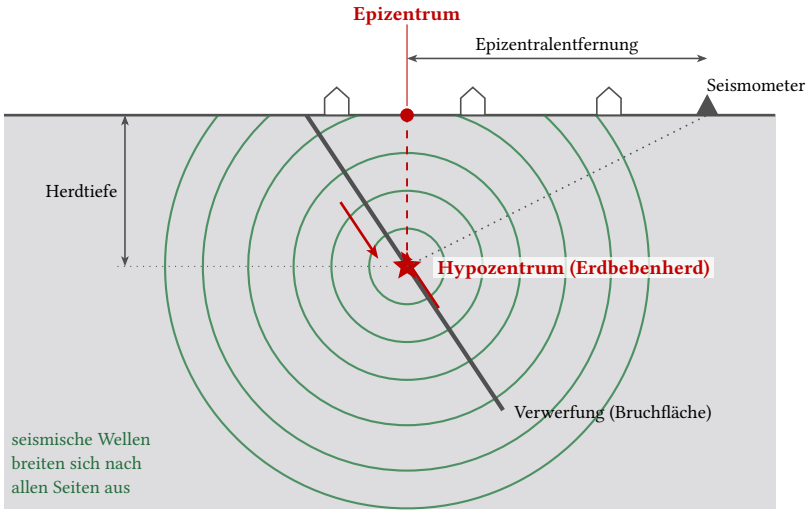


Abbildung 187: Ein Erdbeben (schematisch): Im Hypozentrum bricht das Gestein, von dort laufen Wellen nach allen Seiten. Das Epizentrum liegt an der Oberfläche direkt darüber.

Der Punkt im Untergrund, an dem der Bruch beginnt, heißt **Hypozentrum** (Erdbebenherd), der Punkt an der Oberfläche direkt darüber **Epizentrum**. Messgeräte, die **Seismometer**, zeichnen die Erschütterungen als **Seismogramm** auf (Abbildung 188). Zuerst kommen die schnellen P-Wellen (Primärwellen, etwa 6 km pro Sekunde in der Kruste), dann die langsameren S-Wellen (Sekundärwellen, etwa 3,5 km pro Sekunde), zuletzt die Oberflächenwellen, die die größten Schäden anrichten.

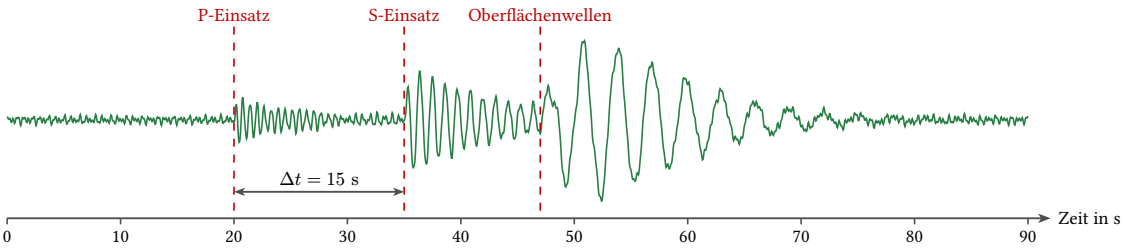


Abbildung 188: Seismogramm eines Erdbebens (Modell): P-Wellen, S-Wellen und Oberflächenwellen treffen nacheinander ein. Aus dem Zeitunterschied zwischen P- und S-Einsatz ergibt sich die Entfernung zum Epizentrum.

Erdbeben orten. Je weiter ein Seismometer vom Epizentrum entfernt ist, desto größer ist der Vorsprung der P-Welle vor der S-Welle. Als Faustregel gilt in der Kruste: Entfernung in km ≈ 8 · Zeitunterschied in Sekunden. Mit drei Messstationen kann man das Epizentrum bestimmen: Um jede Station zeichnet man einen Kreis mit der berechneten Entfernung; wo sich die drei Kreise schneiden, liegt das Epizentrum (Abbildung 189).

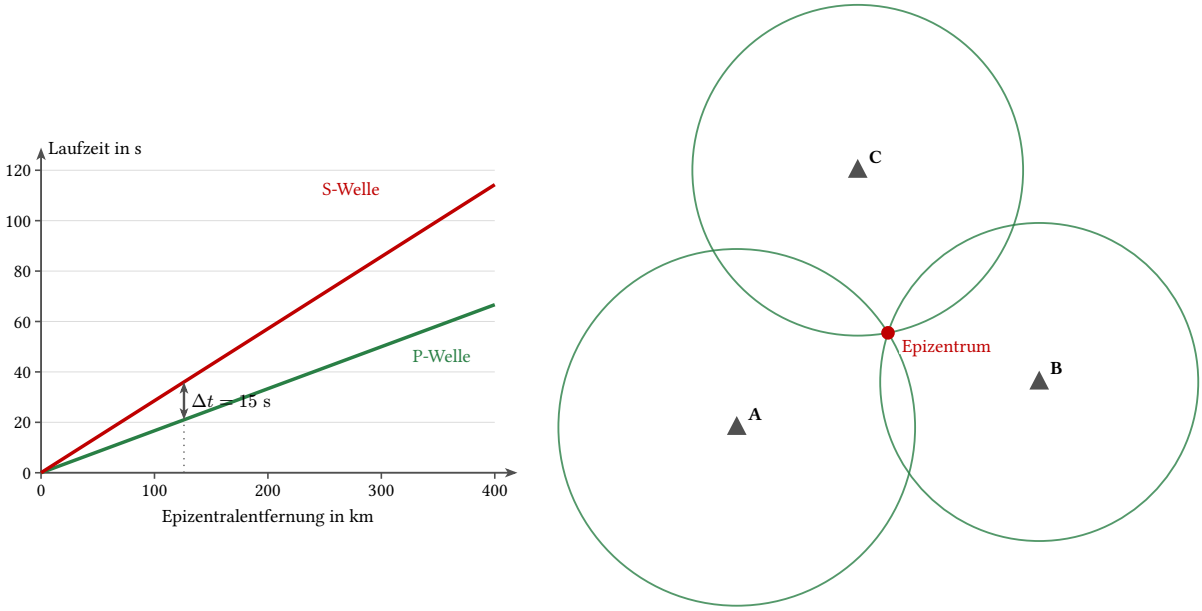


Abbildung 189: Links: Laufzeit von P- und S-Welle in Abhängigkeit von der Entfernung (Modellgeschwindigkeiten 6 und 3,5 km pro Sekunde). Rechts: Ortung mit drei Stationen.

Beispiel 3

Wie weit weg war das Beben? Eine Station misst den P-Einsatz um 10:14:20 Uhr und den S-Einsatz um 10:14:35 Uhr. Zeitunterschied: 15 s. Entfernung nach der Faustregel: $8 \cdot 15 = 120$ km. Genauer: Die S-Welle braucht für 1 km $\frac{1}{3}$,5 s ≈ 0,286 s, die P-Welle $\frac{1}{6}$ s ≈ 0,167 s; der Unterschied beträgt 0,119 s pro km, also 15 : 0,119 ≈ 126 km.

Die Stärke eines Bebens gibt man mit der **Magnitude** an. Sie wird aus den Ausschlägen im Seismogramm berechnet. Jede Stufe mehr bedeutet etwa zehnmal so große Ausschläge und etwa 32-mal so viel freigesetzte Energie. Ein Beben der Magnitude 7 setzt also rund 1000-mal so viel Energie frei wie eines der Magnitude 5. Schwache Beben sind sehr häufig, starke selten (Tabelle 42).

Magnitude	Anzahl pro Jahr	Folgen (grob)
8 und mehr	etwa 1	schwerste Zerstörung über große Gebiete
7 bis 7,9	etwa 15	schwere Schäden
6 bis 6,9	etwa 134	Schäden an schlecht gebauten Häusern
5 bis 5,9	etwa 1300	leichte Schäden

Tabelle 42: Erdbeben weltweit im langjährigen Mittel (USGS).

Wie viele Menschen sterben, hängt aber nicht nur von der Magnitude ab, sondern vor allem davon, wie dicht ein Gebiet besiedelt ist und wie gut die Häuser gebaut sind. Erdbebensichere Bauweise, Warnsysteme und Übungen retten viele Leben.

Erdbeben in Baden-Württemberg. Baden-Württemberg liegt nicht an einer Plattengrenze, wird aber vom Druck der Afrikanischen Platte gegen Europa erfasst. Spürbare Beben gibt es vor allem im Oberrheingraben und auf der

Schwäbischen Alb im Gebiet um Albstadt (Zollerngraben). Das Albstadt-Beben von 1978 erreichte die Magnitude 5,7; das Beben von Basel 1356, das die Stadt zerstörte, war wohl noch stärker.

3.3 Seebeben und Tsunamis

Ein Erdbeben unter dem Meeresboden heißt **Seebeben**. Hebt oder senkt sich dabei der Meeresboden ruckartig, wird die ganze darüberliegende Wassersäule mit angehoben oder abgesenkt. Es entsteht eine Welle, die sich vom Ozeanboden bis zur Oberfläche erstreckt: ein **Tsunami** (japanisch „Hafenwelle“). Auch Vulkanausbrüche und große Hangrutschungen können Tsunamis auslösen.

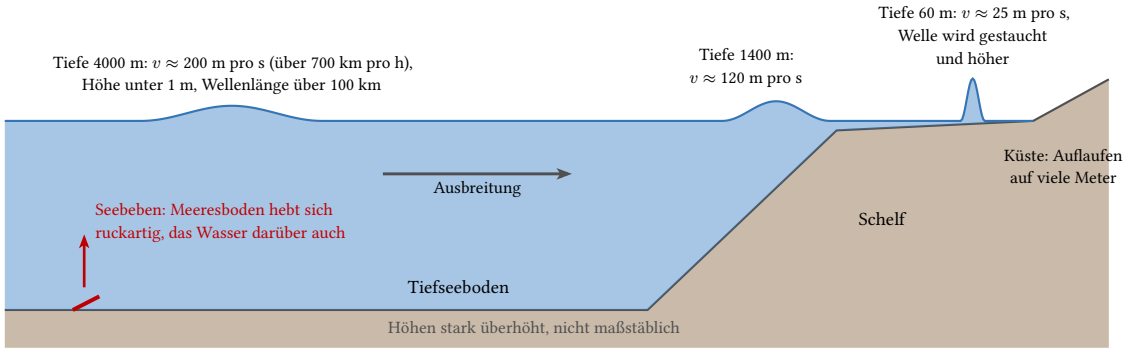


Abbildung 190: Ein Tsunami (schematisch, Höhen stark überhöht): Auf dem offenen Ozean ist er schnell, aber flach; an der Küste wird er langsamer und türmt sich auf.

Auf dem offenen Ozean ist ein Tsunami nur etwa einen Meter hoch und fällt Schiffen kaum auf. Er ist aber extrem lang (Wellenlänge über 100 km) und rast mit der Geschwindigkeit eines Verkehrsflugzeugs dahin. Erreicht er flaches Wasser, wird er langsamer, das nachfolgende Wasser schiebt sich auf, und die Welle türmt sich zu einer Wasserwand von vielen Metern auf, die weit ins Land vordringt (Abbildung 190). Oft zieht sich vorher das Meer weit zurück, ein wichtiges Warnzeichen.

Beispiel 4

Wie schnell ist ein Tsunami? Für sehr lange Wellen gilt $v = \sqrt{g \cdot h}$ mit $g = 9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$ und der Wassertiefe h. Bei $h = 4000$ m: $v = \sqrt{9{,}81 \cdot 4000}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \approx 198\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \approx 713\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$. Bei $h = 10$ m an der Küste: $v \approx 9{,}9\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \approx 36\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$, immer noch schneller, als ein Mensch rennen kann.

Ereignis	Magnitude	Plattengrenze	Folgen
Valdivia (Chile), 22.05.1960	9,5	Subduktion (Nazca-Platte)	stärkstes gemessenes Beben, Tsunami über den ganzen Pazifik
Indischer Ozean, 26.12.2004	9,1	Subduktion vor Sumatra	Tsunami in 14 Ländern, rund 230 000 Tote
Tōhoku (Japan), 11.03.2011	9,0	Subduktion (Pazifische Platte)	Tsunami bis rund 40 m Höhe, knapp 16 000 Tote und 2500 Vermisste, Unfall im Kernkraftwerk Fukushima
Türkei und Syrien, 06.02.2023	7,8	Horizontalverschiebung	über 50 000 Tote, kein Tsunami

Tabelle 43: Einige starke Erdbeben (Magnituden nach USGS; Opferzahlen gerundet).

Seit 2004 gibt es auch im Indischen Ozean ein Tsunami-Warnsystem: Seismometer und Messbojen auf dem offenen Meer melden ein Seebeben und die Welle, Warnungen gehen über Sirenen, Radio und Handy hinaus. Weil ein Tsunami vom Seebeben bis zu einer fernen Küste oft Stunden braucht, bleibt dort Zeit zur Flucht. In Küstennähe sind es aber nur Minuten; dann hilft nur, beim Beben sofort auf höheres Gelände zu laufen.

Fachbegriffe: Vulkanismus · Magma · Lava · Hot Spot · Schildvulkan · Schichtvulkan · Erdbeben · Hypozentrum · Epizentrum · Magnitude · Seebeben · Tsunami

Üben: **noctua** ↗ Ausprobieren: **Vulkantypen: effusiv oder explosiv** ↗ · **Erdbeben orten** ↗ · **Transversal- und Longitudinalwelle** ↗

4 Der Kreislauf der Gesteine

G8 · Kl. 9/10 G9 · Kl. 9/10

Ein Stück Granit aus dem Schwarzwald, ein roter Sandsteinblock am Freiburger Münster, ein Kalkstein mit einer versteinerten Muschel, ein runder Kieselstein aus dem Rhein: Jeder dieser Steine erzählt eine Geschichte von Millionen Jahren. Und keiner bleibt für immer, was er ist.

4.1 Mineral und Gestein

Schaut man ein Stück Granit genau an, erkennt man verschiedene Körner: helle, glasige Körner (Quarz), weißliche oder rosa Körner (Feldspat) und dunkle, glänzende Plättchen (Glimmer). Jedes dieser Körner ist ein **Mineral**.

Definition

Ein **Mineral** ist ein natürlich entstandener, fester Stoff mit einer bestimmten chemischen Zusammensetzung und meist einer regelmäßigen Kristallform, zum Beispiel Quarz oder Feldspat. Ein **Gestein** ist ein natürliches Gemenge aus einem oder mehreren Mineralen, zum Beispiel Granit aus Quarz, Feldspat und Glimmer.

Nach ihrer Entstehung teilt man die Gesteine in drei große Gruppen ein: Magmatite, Sedimentite und Metamorphite.

4.2 Magmatite: aus glühender Schmelze

Magmatite (Erstarrungsgesteine) entstehen, wenn Magma abkühlt. Dabei wachsen aus der Schmelze Kristalle, ähnlich wie Eiskristalle in gefrierendem Wasser; diesen Vorgang nennt man **Kristallisation**.

- Erstarrt das Magma langsam tief in der Erde, haben die Kristalle Zeit zu wachsen; es entsteht ein grobkörniges **Tiefengestein** wie **Granit**. Die Granite des Schwarzwalds erstarrten vor rund 300 Millionen Jahren in einigen Kilometern Tiefe. Dass man sie heute an der Oberfläche findet, liegt daran, dass das Gestein darüber in Millionen Jahren abgetragen wurde.
- Erstarrt die Lava schnell an der Oberfläche, bleiben die Kristalle winzig; es entsteht ein feinkörniges, oft dunkles **Ergussgestein** (Vulkangestein) wie **Basalt**. Basalt bildet den gesamten Ozeanboden. Am Kaiserstuhl findet man dunkle, basaltähnliche Vulkangesteine.

4.3 Sedimentite: aus abgelagerten Teilchen

An der Erdoberfläche wird jedes Gestein mit der Zeit zerkleinert und zersetzt: durch Frost, Hitze, Wasser, Pflanzenwurzeln und chemische Vorgänge (**Verwitterung**, vgl. G6). Wasser, Eis und Wind tragen die Bruchstücke ab und transportieren sie fort (**Erosion**). Wo die Strömung nachlässt, etwa in einem See, im Meer oder am Fuß eines Gebirges, sinken die Teilchen ab und lagern sich in Schichten ab (**Sedimentation**). Zuerst ist das abgelagerte Material locker: grober **Kies**, Sand, feiner Ton oder Kalkschlamm aus den Schalen winziger Meerestiere.

Werden die Schichten von immer neuen Ablagerungen überdeckt, werden sie zusammengepresst, Wasser wird herausgedrückt, und gelöste Stoffe verkitten die Körner. Aus lockerem Sand wird fester **Sandstein**, aus Kalkschlamm **Kalkstein**. Solche Gesteine heißen **Sedimentite** (Ablagerungsgesteine). Man erkennt sie oft an ihrer Schichtung und an Versteinerungen.

- Der rote **Buntsandstein** im Nord- und Ostschwarzwald entstand vor etwa 250 Millionen Jahren aus Sand, den Flüsse in einem heißen, trockenen Becken ablagerten. Er ist ein beliebter Baustein, etwa für das Freiburger Münster und das Heidelberger Schloss.
- Der **Muschelkalk** im Gäu und im Neckarland ist ein Kalkstein aus einem flachen Meer, das vor etwa 240 Millionen Jahren Süddeutschland bedeckte; er enthält oft Muscheln und Seelilien.
- Der **Rheinkies** in der Oberrheinebene ist ein Lockersediment: Schmelzwasserflüsse der Eiszeiten brachten ihn aus den Alpen und dem Schwarzwald und füllten damit den Oberrheingraben auf. Er wird in vielen Kiesgruben abgebaut; die runden Steine zeigen, dass sie im Wasser lange gerollt wurden.

4.4 Metamorphite: umgewandelt durch Druck und Hitze

Gerät ein Gestein tief in die Erde, etwa bei der Gebirgsbildung oder bei der Subduktion, wird es großem Druck und hohen Temperaturen ausgesetzt. Es schmilzt nicht, aber seine Minerale wandeln sich um und richten sich neu aus. Diesen Vorgang nennt man **Metamorphose** (Umwandlung), die entstandenen Gesteine **Metamorphite**

(Umwandlungsgesteine). Aus Kalkstein wird Marmor, aus Tonstein Schiefer, aus Sandstein Quarzit, aus Granit oder tonreichem Sandstein **Gneis**. Gneis erkennt man an seinen hellen und dunklen Streifen. Im Schwarzwald ist er weit verbreitet, älter als der Granit und entstand bei der Bildung eines alten Gebirges vor über 300 Millionen Jahren.

4.5 Ein Kreislauf ohne Ende

Die drei Gesteinsgruppen gehen ineinander über (Abbildung 191). Granit wird an der Oberfläche verwittert, sein Sand wird abgelagert und zu Sandstein, tonreicher Sandstein kann bei einer Gebirgsbildung zu Gneis werden, der Gneis kann in großer Tiefe schmelzen, und aus dem Magma erstarrt neuer Granit. Diesen Weg nennt man den **Kreislauf der Gesteine**. Angetrieben wird er von der Wärme im Erdinneren (Plattentektonik, Gebirgsbildung, Vulkanismus) und von der Sonne (Wetter, Wasserkreislauf, Verwitterung). Ein Umlauf dauert meist viele Millionen Jahre.

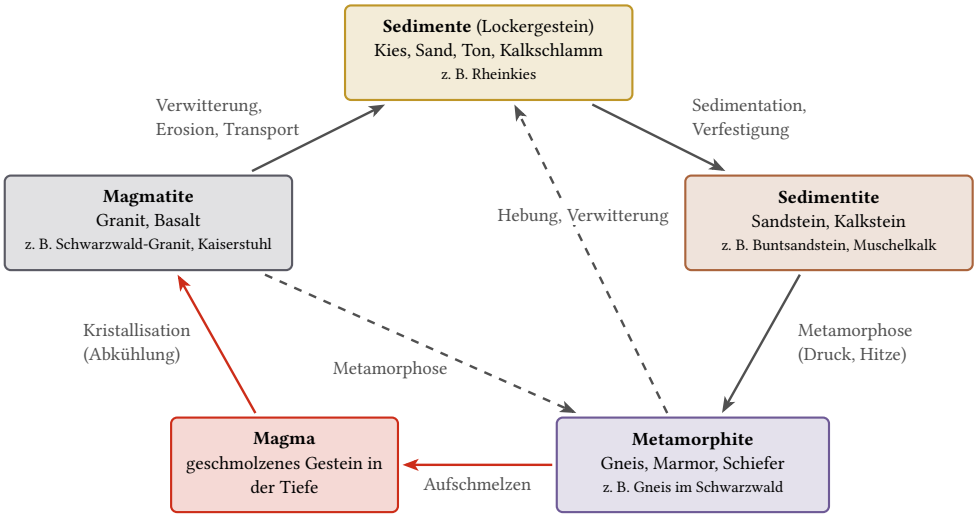


Abbildung 191: Der Kreislauf der Gesteine mit Beispielen aus Südwestdeutschland. Durchgezogene Pfeile: der „große“ Kreislauf, gestrichelt: Abkürzungen.

Merksatz

Magmatite entstehen durch Kristallisation aus Magma (Granit, Basalt). **Sedimentite** entstehen durch Verwitterung, Erosion, Sedimentation und Verfestigung (Sandstein, Kalkstein). **Metamorphite** entstehen durch Metamorphose unter Druck und Hitze (Gneis, Marmor). Jede Gruppe kann sich in jede andere umwandeln.

Südwestdeutschland ist ein gutes Beispiel, weil man hier alle Stationen des Kreislaufs auf engem Raum findet (Abbildung 192, Tabelle 44): Im Schwarzwald liegt das alte **Grundgebirge** aus Gneis und Granit offen; darüber folgen in Richtung Osten die Schichten des **Deckgebirges**: Buntsandstein, Muschelkalk, Keuper und die Kalksteine des Jura auf der Schwäbischen Alb (vgl. G2). Im Oberrheingraben liegt junger Kies, und am Kaiserstuhl kam Vulkangestein an die Oberfläche.

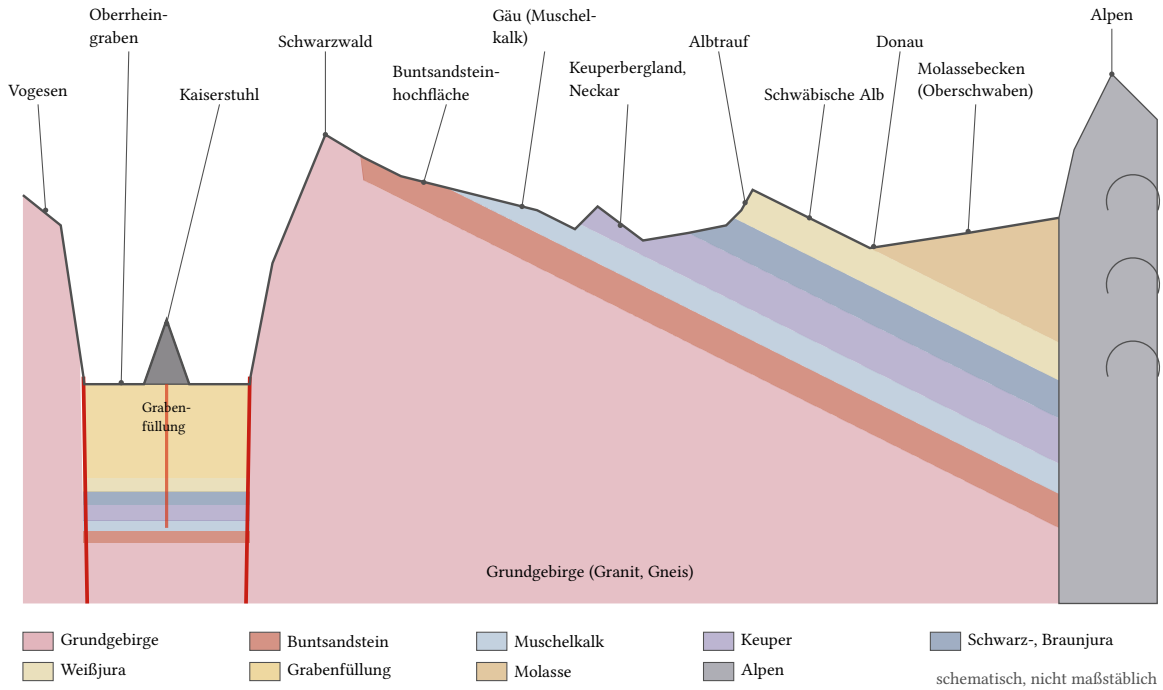


Abbildung 192: Schematisches Profil durch Südwestdeutschland vom Oberrheingraben bis zu den Alpen (nicht maßstäblich). Rosa: Grundgebirge aus Granit und Gneis; darüber das Deckgebirge aus Sedimentiten.

Gestein	Gruppe	Beispiel in der Region	Entstehung
Granit	Magmatit (Tiefengestein)	Schwarzwald, z. B. Feldberggebiet	Magma erstarrte langsam in der Tiefe
Basalt und ähnliche Vulkangesteine	Magmatit (Ergussgestein)	Kaiserstuhl, Hegau	Lava erstarrte schnell an der Oberfläche
Gneis	Metamorphit	Schwarzwald	ältere Gesteine wurden bei einer Gebirgsbildung umgewandelt
Buntsandstein	Sedimentit	Nord- und Ostschwarzwald	Sand aus Flüssen in einem trockenen Becken, verfestigt
Muschelkalk	Sedimentit	Gäu, Neckarland	Kalkschlamm und Schalen in einem flachen Meer
Kalkstein des Jura	Sedimentit	Schwäbische Alb	Ablagerungen in einem warmen Meer
Rheinkies	Lockersediment	Oberrheinebene	von Flüssen aus Alpen und Schwarzwald abgelagert

Tabelle 44: Gesteine in Südwestdeutschland und ihr Platz im Kreislauf.

Fachbegriffe: Mineral · Gestein · Magmatit · Sedimentit · Metamorphit · Kristallisation · Verwitterung · Erosion · Sedimentation · Metamorphose · Granit · Basalt · Gneis · Sandstein · Kalkstein · Kies

Üben: **noctua** ↗ Ausprobieren: **Kreislauf der Gesteine** ↗

5 Das Relief des Meeresbodens

G8 · Kl. 9/10 G9 · Kl. 9/10

Fast 71 % der Erdoberfläche sind von Meer bedeckt, im Mittel etwa 3700 m tief. Lange stellte man sich den Meeresboden als flache, schlammige Ebene vor. Seit man ihn mit Echolot und Satelliten vermisst, weiß man: Unter Wasser gibt es höhere Gebirge, tiefere Schluchten und weitere Ebenen als an Land.

5.1 Vom Strand in die Tiefsee

Fährt man von der Küste aufs offene Meer hinaus, durchquert man typische Großformen (Abbildung 193):

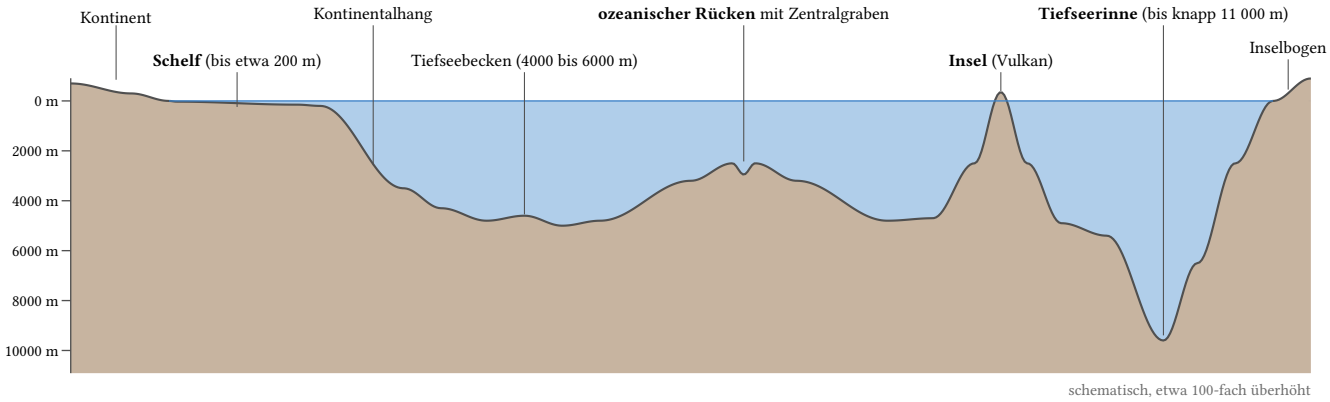


Abbildung 193: Das Relief des Meeresbodens in einem schematischen Profil (etwa 100-fach überhöht). Nicht alle Formen liegen in Wirklichkeit in einem einzigen Ozean nebeneinander.

- Der **Schelf** ist der flache Rand der Kontinente unter Wasser, meist nicht tiefer als etwa 200 m. Geologisch gehört er noch zum Kontinent. Die Nordsee ist ein solches Schelfmeer und im Mittel nur etwa 90 m tief. Weil hier viel Licht und Nährstoffe vorhanden sind, ist der Schelf reich an Leben und Fischen; hier liegen auch viele Erdöl- und Erdgasfelder und die Offshore-Windparks.
- Am **Kontinentalhang** fällt der Meeresboden steil in die Tiefsee ab.
- Die **Tiefseebecken** in 4000 bis 6000 m Tiefe nehmen den größten Teil des Meeresbodens ein. Sie sind von feinem Schlamm bedeckt, aus dem einzelne erloschene Vulkane (Seeberge) aufragen.
- Der **ozeanische Rücken** (mittelozeanische Rücken) ist ein Gebirge unter Wasser, das sich durch alle Ozeane zieht. Auf seinem Kamm liegt ein Zentralgraben; hier entsteht neuer Ozeanboden (Kapitel 2).
- Die **Tiefseerinnen** sind lange, schmale Furchen, oft über 8000 m tief, im Marianengraben knapp 11 000 m. Hier taucht eine Platte ab. Würde man den Mount Everest (8849 m) hineinstellen, läge sein Gipfel noch über 2 km unter dem Meeresspiegel.

Beispiel 5

Tiefe messen mit dem Echolot. Ein Schiff sendet einen Schallimpuls senkrecht nach unten und misst, wann das Echo vom Boden zurückkommt. Schall legt im Meerwasser etwa 1500 m pro Sekunde zurück. Kommt das Echo nach 6 s zurück, hat der Schall $1500\ \text{m} \cdot 6 = 9000\ \text{m}$ zurückgelegt, hin und zurück. Die Tiefe beträgt also $9000\ \text{m} : 2 = 4500\ \text{m}$: ein Tiefseebecken.

5.2 Inseln

Eine **Insel** ist ein Stück Land, das ringsum von Wasser umgeben ist. Nach ihrer Entstehung unterscheidet man vor allem:

- **Festlandinseln** liegen auf dem Schelf und gehörten einmal zum Kontinent. Großbritannien war noch bis vor etwa 8000 Jahren mit dem Festland verbunden, bevor der steigende Meeresspiegel nach der letzten Kaltzeit die Landbrücke überflutete.
- **Vulkaninseln** sind die Gipfel von Vulkanen, die vom Meeresboden bis über den Meeresspiegel gewachsen sind: über einem Hot Spot (Hawaii), auf einem ozeanischen Rücken (Island, Azoren) oder als Inselbogen über einer Subduktionszone (Japan, Marianen, Kleine Antillen).
- **Koralleninseln** (Atolle) bestehen aus Kalk, den Korallen in warmen, flachen Meeren aufbauen, oft als Ring um einen versunkenen Vulkan. Sie ragen meist nur wenige Meter aus dem Wasser, wie die Malediven.

Merksatz

Die großen Formen des Meeresbodens sind Folgen der Plattentektonik: An den **ozeanischen Rücken** entsteht Ozeanboden, an den **Tiefseerinnen** verschwindet er. Der **Schelf** ist der überflutete Rand der Kontinente. Viele **Inseln** sind Vulkane.

Den Meeresboden selbst erkunden

Der Atlas zeigt das Relief der Ozeane in Blautönen. Digitale Karten mit Meeresbodenrelief (zum Beispiel Google Earth oder die frei zugängliche Weltkarte der Meerestiefen GEBCO) lassen sich drehen und vergrößern: Man kann dem Mittelatlantischen Rücken folgen, die Tiefseerinnen rund um den Pazifik aufsuchen und sehen, wie flach die Nordsee ist. Die fabrica-Station terrae hilft beim Lesen von Karten.

Fachbegriffe: submarines Relief · Schelf · Kontinentalhang · Tiefseebecken · ozeanischer Rücken · Tiefseerinne · Insel

Üben: **noctua** ↗ Ausprobieren: **terræ** ↗ · **Plattengrenzen und Ozeanboden** ↗

6 Das System Meer: Salz, Strömungen, Gezeiten

G8 · Kl. 9/10 G9 · Kl. 9/10

Wer in der Nordsee badet und Wasser schluckt, merkt sofort: Meerwasser ist salzig. In der Ostsee schmeckt es viel weniger salzig, im Mittelmeer mehr. Und das Wasser steht nie still: Es steigt und fällt mit den Gezeiten, Wellen rollen heran, und große Strömungen ziehen durch die Ozeane.

6.1 Der Salzgehalt

Ein Kilogramm Meerwasser enthält im Mittel etwa 35 g gelöste Salze, vor allem Kochsalz (Natriumchlorid). Diesen Wert nennt man den **Salzgehalt**. Die Salze stammen zum größten Teil aus der Verwitterung von Gesteinen an Land: Flüsse lösen winzige Mengen und tragen sie ins Meer. Dort verdunstet Wasser, das Salz bleibt zurück und hat sich im Lauf der Erdgeschichte angereichert.

Wie salzig ein Meer ist, hängt davon ab, wie viel Süßwasser hinzukommt und wie viel verdunstet (Abbildung 194):

- **Mehr Verdunstung als Zufluss** (warmes, trockenes Klima, wenig Flüsse) erhöht den Salzgehalt: Mittelmeer und Rotes Meer.
- **Viel Süßwasser durch Flüsse und Regen** bei wenig Verdunstung senkt ihn: Die Ostsee bekommt viel Flusswasser und hat nur eine schmale Verbindung zur Nordsee; sie ist ein Brackwassermeer.

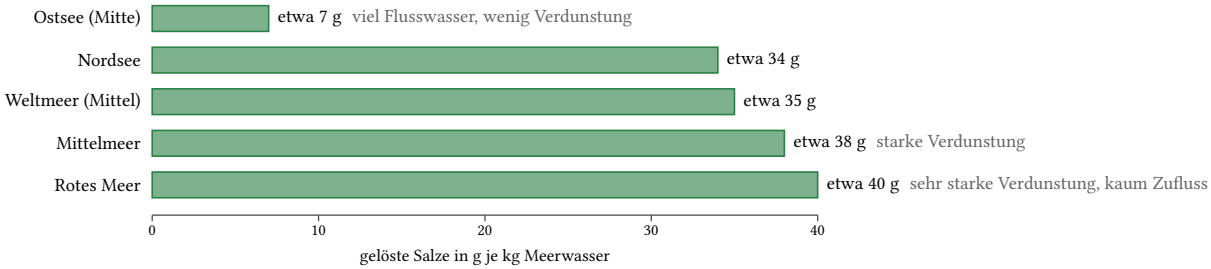


Abbildung 194: Salzgehalt im Oberflächenwasser verschiedener Meere (gerundete Werte; in der Ostsee nimmt er von West nach Ost stark ab).

Salz macht Wasser schwerer: Salziges Wasser hat eine größere Dichte als Süßwasser, kaltes Wasser eine größere als warmes. Kaltes, salziges Wasser sinkt deshalb nach unten. Außerdem gefriert Meerwasser erst bei etwa −1,9 °C.

6.2 Meeresströmungen

An der Meeresoberfläche treibt vor allem der Wind das Wasser an. Weil über den Ozeanen beständige Winde wehen, die Passate in den Tropen und die Westwinde in den mittleren Breiten (vgl. G5), entstehen beständige **Meeresströmungen**. Die Kontinente lenken sie ab, und die Erddrehung lenkt sie auf der Nordhalbkugel nach rechts. So kreist das Wasser in jedem großen Ozeanbecken in einem riesigen Wirbel, auf der Nordhalbkugel im Uhrzeigersinn (Abbildung 195).

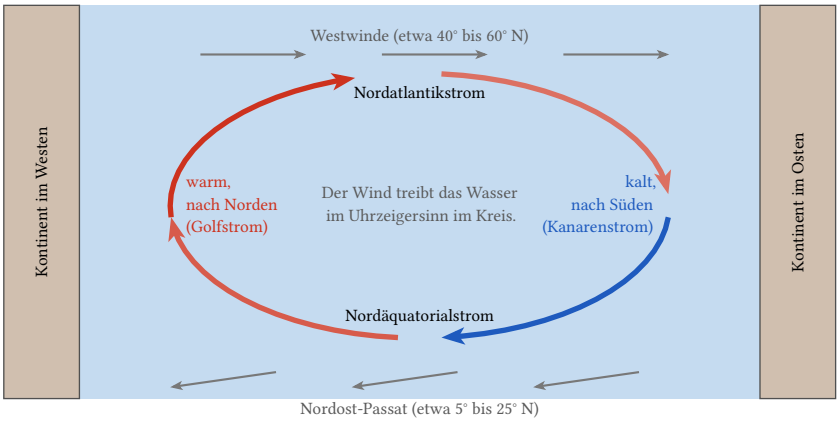


Abbildung 195: Oberflächenströmungen in einem Ozeanbecken der Nordhalbkugel (Modell, keine Karte), mit den Namen der Strömungen im Nordatlantik. Rot: warme Strömung, blau: kalte Strömung.

- **Warme Meeresströmungen** bringen Wasser aus den Tropen in höhere Breiten, zum Beispiel der Golfstrom und seine Fortsetzung, der Nordatlantikstrom. Er sorgt dafür, dass die Häfen Norwegens auch im Winter eisfrei bleiben und das Klima in Westeuropa milder ist als auf gleicher Breite in Kanada.
- **Kalte Meeresströmungen** fließen aus höheren Breiten zum Äquator, zum Beispiel der Kanarenstrom vor Westafrika oder der Humboldtstrom vor Peru. Über dem kalten Wasser bilden sich kaum Regenwolken; an diesen Küsten liegen Küstenwüsten wie die Atacama. Gleichzeitig steigt dort nährstoffreiches Tiefenwasser auf, deshalb gehören diese Meere zu den fischreichsten der Erde.

6.3 Die thermohaline Zirkulation

Neben den windgetriebenen Strömungen an der Oberfläche gibt es eine zweite, langsame Umwälzung, die bis in die Tiefsee reicht. Sie wird von Unterschieden in der Temperatur (griechisch „thermos“: warm) und im Salzgehalt („halos“: Salz) angetrieben und heißt deshalb **thermohaline Zirkulation** (Abbildung 196).

Im Nordatlantik zwischen Grönland und Norwegen gibt das warme Wasser des Nordatlantikstroms seine Wärme an die kalte Luft ab. Wenn sich im Winter Meereis bildet, bleibt das Salz im Wasser zurück. Das Wasser wird kalt und salzreich, also schwer, und sinkt bis in mehrere Tausend Meter Tiefe ab. In der Tiefe fließt es langsam nach Süden, und von oben strömt warmes Oberflächenwasser nach. Wie ein riesiges Förderband verbindet diese Umwälzung alle Ozeane; ein Wasserteilchen braucht für einen Umlauf etwa tausend Jahre.

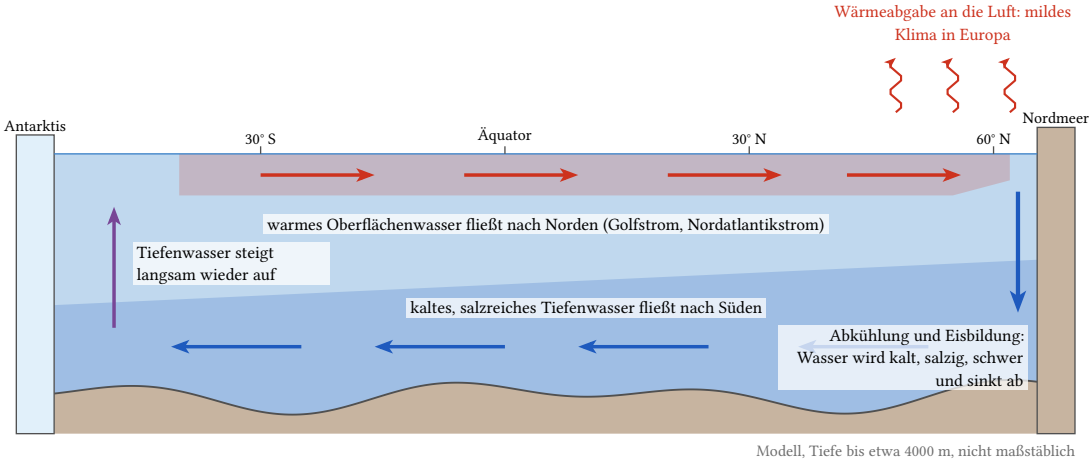


Abbildung 196: Die thermohaline Zirkulation im Atlantik als Nord-Süd-Schnitt (Modell): Im Norden sinkt kaltes, salzreiches Wasser ab und fließt in der Tiefe nach Süden; an der Oberfläche strömt warmes Wasser nach.

Merksatz

Meeresströmungen transportieren riesige Wärmemengen von den Tropen zu den Polen (**Wärmetransport**). An der Oberfläche treibt sie vor allem der Wind an, in der Tiefe die thermohaline Zirkulation: Kaltes, salzreiches Wasser sinkt ab.

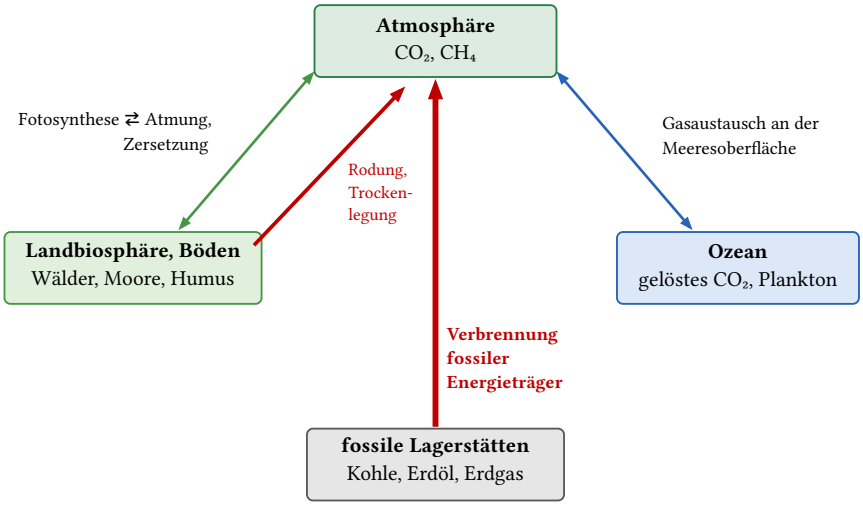
6.4 Wärmespeicher und Kohlenstoffdioxidsenke

Wasser kann sehr viel Wärme aufnehmen, bevor es wärmer wird, viel mehr als Luft oder Gestein. Die obersten Meter des Ozeans speichern so viel Wärme wie die gesamte Lufthülle. Das Meer ist deshalb ein riesiger **Wärmespeicher**: Es erwärmt sich im Sommer langsam und gibt die Wärme im Winter langsam wieder ab. Darum haben Küsten ein ausgeglichenes Seeklima (vgl. G3). Seit 1970 hat der Ozean rund 91 % der zusätzlichen Wärme aufgenommen, die durch den verstärkten Treibhauseffekt im Klimasystem bleibt (IPCC); ohne ihn wäre die Luft heute viel wärmer.

Außerdem nimmt das Meer Kohlenstoffdioxid (CO_2) aus der Luft auf, es ist eine **Kohlenstoffdioxidsenke** (Abbildung 197):

- CO_2 löst sich im Meerwasser, in kaltem Wasser besser als in warmem (wie Kohlensäure in einer kalten Sprudelflasche). Mit dem absinkenden Tiefenwasser gelangt es für Jahrhunderte in die Tiefe.
- Winzige Algen im Meer, das pflanzliche **Plankton**, nehmen bei der Fotosynthese CO_2 auf. Sterben sie, sinken ihre Reste ab, und ein Teil des Kohlenstoffs wird am Meeresboden abgelagert.

Von 2014 bis 2023 nahm der Ozean etwa ein Viertel des CO_2 auf, das Menschen durch Verbrennen von Kohle, Erdöl und Erdgas und durch Abholzen freisetzten (Global Carbon Budget 2024: rund 26 %).



Grün und Blau: natürliche Flüsse (im Gleichgewicht), Rot: zusätzliche Flüsse durch den Menschen

Abbildung 197: Der Ozean im Kohlenstoffkreislauf (vereinfacht): Zwischen Luft und Meer wird CO_2 ausgetauscht; der Ozean nimmt einen Teil des zusätzlichen CO_2 auf.

6.5 Wellen

Wenn Wind über das Wasser streicht, entstehen **Wellen**. Je stärker der Wind, je länger er weht und je größer die Wasserfläche, über die er weht, desto höher werden sie. In einer Welle wandert nicht das Wasser, sondern die Bewegung: Die Wasserteilchen kreisen fast auf der Stelle, wie ein Ball, der auf den Wellen schaukelt, aber kaum vorankommt. Nach unten werden die Kreise schnell kleiner; schon in einer Tiefe von etwa einer halben Wellenlänge ist kaum noch Bewegung zu spüren (Abbildung 198).

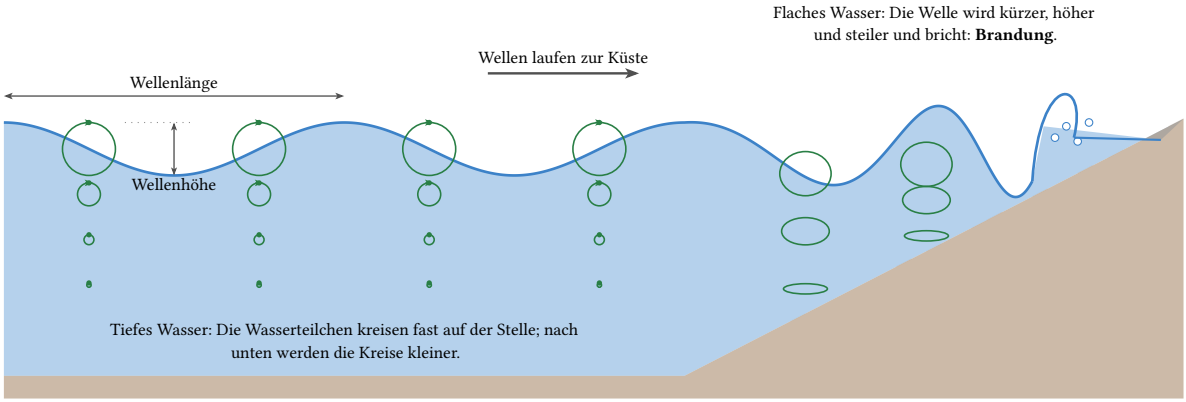


Abbildung 198: Wellen (Modell): Im tiefen Wasser bewegen sich die Wasserteilchen auf Kreisbahnen, die nach unten kleiner werden. Im flachen Wasser bremst der Boden die Bewegung, die Welle wird höher und steiler und bricht.

Kommt eine Welle in flaches Wasser, berühren die Kreisbahnen den Boden und werden gebremst. Die Welle wird kürzer, höher und steiler, bis ihr Kamm überkippt: Sie bricht, es entsteht die **Brandung**. Die Brandung ist die wichtigste Kraft, die Küsten formt: Sie nagt an Steilküsten, trägt Sand ab und lagert ihn an anderer Stelle wieder an (vgl. G2).

6.6 Gezeiten

An der Nordseeküste steigt und fällt das Wasser zweimal am Tag um mehrere Meter: Das sind die **Gezeiten** (Tiden). Steigendes Wasser heißt **Flut**, fallendes **Ebbe**; den Unterschied zwischen Hochwasser und Niedrigwasser nennt man **Tidenhub** (Abbildung 199).

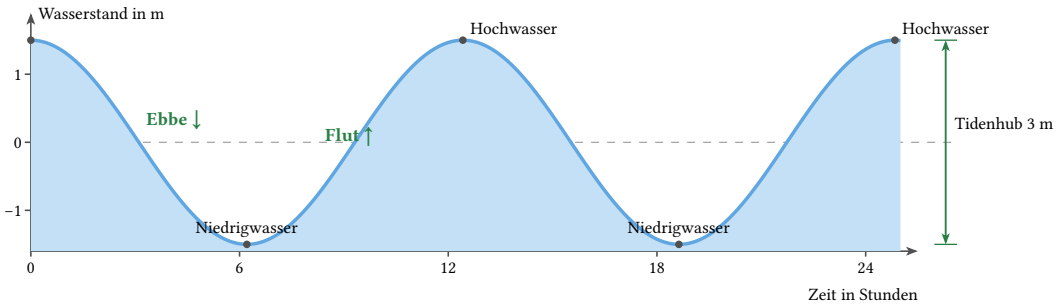
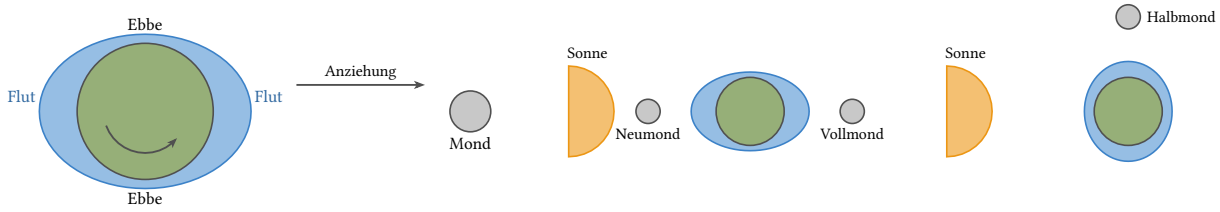


Abbildung 199: Wasserstand an einem Nordseehafen im Lauf eines Tages (Modell, vgl. G2): zweimal Hochwasser, zweimal Niedrigwasser.

Die Gezeiten entstehen durch die Anziehungskraft des Mondes (Abbildung 200). Auf der Seite der Erde, die dem Mond zugewandt ist, zieht er das Wasser etwas stärker an als die Erde als Ganzes: Es bildet sich ein Flutberg. Auf der abgewandten Seite zieht er das Wasser schwächer an als die Erde, die gleichsam „vom Wasser weggezogen“ wird: Dort entsteht ein zweiter Flutberg. Dazwischen liegt Niedrigwasser. Während sich die Erde einmal am Tag unter den beiden Flutbergen hindurchdreht, erlebt jeder Küstenort zweimal Flut und zweimal Ebbe. Weil der Mond in dieser Zeit ein Stück weiterwandert, dauert ein ganzer Zyklus nicht 12, sondern etwa 12 Stunden und 25 Minuten.



(a) zwei Flutberge

(b) Springtide: großer Tidenhub

(c) Nipptide: kleiner Tidenhub

Abbildung 200: Entstehung der Gezeiten (nicht maßstäblich, Flutberge stark übertrieben): (a) Flutberge zum Mond hin und auf der Gegenseite, (b) und (c) die Sonne verstärkt oder schwächt die Wirkung des Mondes.

Auch die Sonne erzeugt Gezeiten, aber nur etwa halb so starke. Stehen Sonne, Erde und Mond in einer Linie (bei Neumond und Vollmond), addieren sich ihre Wirkungen: **Springtide** mit besonders großem Tidenhub. Stehen sie im rechten Winkel (bei Halbmond), schwächen sie sich: **Nipptide**. Wie groß der Tidenhub an einer Küste ist, hängt außerdem von der Form der Küste und des Meeresbodens ab: In der Ostsee sind es nur wenige Zentimeter, an der deutschen Nordseeküste je nach Ort etwa 1,5 bis knapp 4 m, in der Bay of Fundy in Kanada bis etwa 16 m.

Fachbegriffe: Salzgehalt · Meeresströmung · thermohaline Zirkulation · Wärmetransport · Wärmespeicher · Kohlenstoffdioxidsenke · Wellen · Brandung · Gezeiten · Tidenhub · Springtide · Nipptide

Üben: **noctua** ↗ Ausprobieren: **Dichte** ↗ · **Ebbe und Flut** ↗ · **Meeresströmungen und Förderband** ↗

7 Meere im Klimawandel

G8 · Kl. 9/10 G9 · Kl. 9/10

Der Ozean hat den Klimawandel bisher gebremst: Er hat den größten Teil der zusätzlichen Wärme und ein Viertel des zusätzlichen CO_2 geschluckt. Das bleibt aber nicht ohne Folgen für das Meer selbst und für die Menschen an seinen Küsten (zum Treibhauseffekt vgl. G7).

7.1 Das Meer wird wärmer

Die **Meerwassererwärmung** ist an der Oberfläche am stärksten: Im Mittel ist das Oberflächenwasser heute rund 0,9 K wärmer als in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts (IPCC), und immer häufiger gibt es marine Hitzewellen, in denen das Wasser wochenlang ungewöhnlich warm ist. Die Folgen:

- **Korallenbleiche:** Korallen leben mit winzigen Algen zusammen, die ihnen Nahrung liefern und Farbe geben. Ist das Wasser zu warm, stoßen die Korallen die Algen ab und werden weiß. Dauert die Hitze an, sterben sie. Das Große Barriereriff in Australien erlebte zwischen 2016 und 2024 fünf Massenbleichen; 2023 bis 2025 kam es weltweit zur größten bisher beobachteten Korallenbleiche.
- **Fische wandern ab:** Viele Arten weichen in kühlere Gewässer aus, in der Nordsee zum Beispiel der Kabeljau nach Norden, während wärmeliebende Arten wie die Sardelle zuwandern.
- **Weniger Sauerstoff:** Warmes Wasser kann weniger Sauerstoff lösen, und die warme Oberflächenschicht mischt sich schlechter mit dem Tiefenwasser.
- **Wärmetransport verändert sich:** Wenn mehr Schmelzwasser aus Grönland und mehr Regen das Nordatlantikwasser leichter machen, sinkt es schlechter ab. Der IPCC hält es für sehr wahrscheinlich, dass sich die thermohaline Umwälzung im Atlantik in diesem Jahrhundert abschwächt; das würde den Wärmetransport nach Europa verringern.

7.2 Weniger Meereis

Das Meereis in der Arktis schrumpft schneller als alles andere im Klimasystem. Gemessen wird es jedes Jahr im September, wenn es am kleinsten ist. Ende der 1970er-Jahre bedeckte es dann noch rund 7 Millionen km², im Rekordjahr 2012 nur noch etwa 3,4 Millionen km², 2025 etwa 4,6 Millionen km². Im Mittel ging die **Meereisbedeckung** im September seit 1979 um etwa 12 % pro Jahrzehnt zurück (Nationales Schnee- und Eisdatenzentrum der USA, NSIDC).

Das verstärkt die Erwärmung: Eis wirft den größten Teil des Sonnenlichts zurück, dunkles Wasser verschluckt es. Schmilzt Eis, nimmt das Meer mehr Wärme auf, und noch mehr Eis schmilzt (Abbildung 201). Darum erwärmt sich die Arktis etwa drei- bis viermal so schnell wie die Erde im Mittel (vgl. G7).

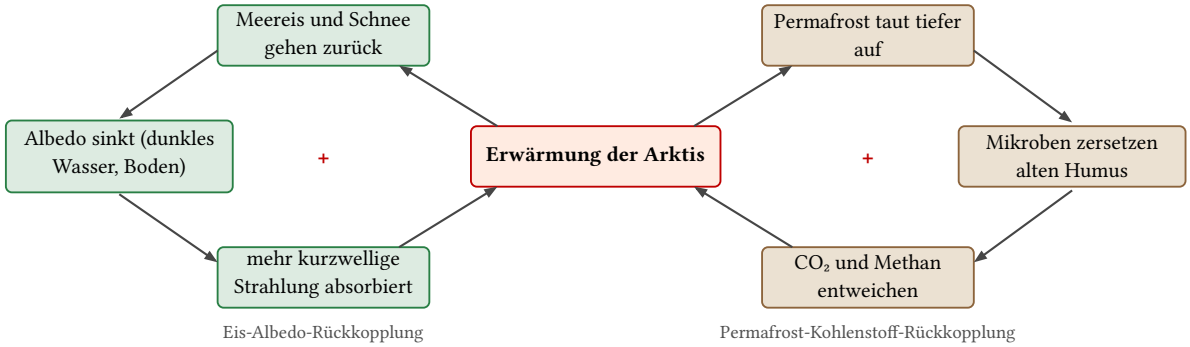


Abbildung 201: Zwei sich selbst verstärkende Kreisläufe in der Arktis (vereinfacht). Links die Eis-Albedo-Rückkopplung: Weniger Eis und Schnee bedeutet, dass mehr Sonnenstrahlung aufgenommen wird.

Typischer Fehler

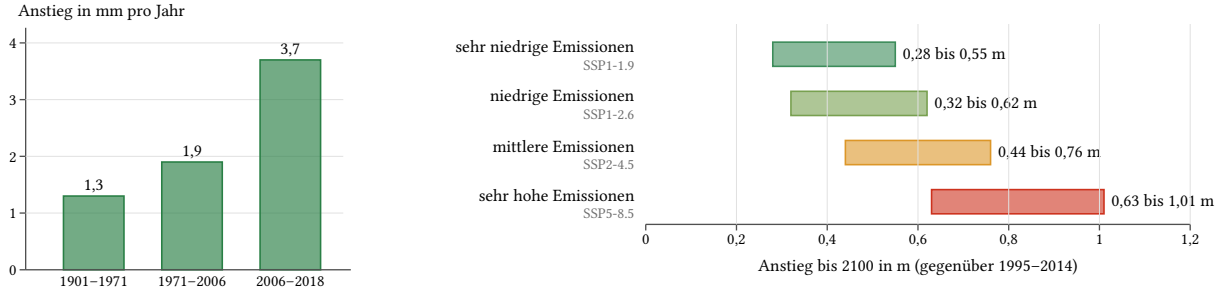
Falsch: Wenn das Meereis am Nordpol schmilzt, steigt der Meeresspiegel stark an.

Richtig: Schmelzendes Meereis hebt den Meeresspiegel kaum, denn es schwimmt schon im Wasser und verdrängt so viel Wasser, wie es wiegt. Den Meeresspiegel heben das Schmelzen von Eis an Land (Gletscher, Grönland, Antarktis) und die Ausdehnung des wärmer werdenden Wassers.

Wie ein Eiswürfel in einem Glas: Schmilzt er, läuft das Glas nicht über.

7.3 Der Meeresspiegel steigt

Der **Meeresspiegelanstieg** hat zwei Hauptursachen: Wasser dehnt sich aus, wenn es wärmer wird, und Eis an Land schmilzt und fließt ins Meer, aus Gebirgsgletschern und aus den Eisschilden Grönlands und der Antarktis. Nach dem Weltklimarat IPCC stieg der mittlere Meeresspiegel von 1901 bis 2018 um etwa 20 cm, und zwar immer schneller (Abbildung 202 a). Satellitenmessungen der US-Behörden NASA und NOAA zeigen seit 1993 einen Anstieg um rund 10 cm.



(a) bisher: immer schneller **(b) bis 2100: je nach Emissionen**

Abbildung 202: Meeresspiegelanstieg nach dem IPCC (Sechster Sachstandsbericht 2021): (a) mittlere Anstiegsraten bisher, (b) wahrscheinlicher Anstieg bis 2100 bei verschiedenen Emissionspfaden (SSP: Szenarien von sehr niedrigen bis sehr hohen Emissionen).

Wie stark er bis 2100 steigt, hängt davon ab, wie viel Treibhausgas die Menschheit noch ausstößt: bei sehr niedrigen Emissionen wahrscheinlich um 28 bis 55 cm, bei sehr hohen um 63 cm bis gut einen Meter (Abbildung 202 b). Ein Anstieg von bis zu 2 m kann bei sehr hohen Emissionen nicht ausgeschlossen werden, weil man noch nicht genau weiß, wie schnell die großen Eisschilde zerfallen können. Und auch wenn die Emissionen sinken, steigt das Meer noch Jahrhunderte weiter, weil sich der Ozean und die Eisschilde nur langsam anpassen.

Beispiel 6

Wie viel ist ein halber Meter? An einer flachen Küste, die nur um 1 m auf 1 km Entfernung ansteigt, rückt die Uferlinie bei 50 cm Anstieg um 500 m landeinwärts. Bei einer Sturmflut liegt das Wasser dann zusätzlich einen halben Meter höher und dringt weiter ins Land vor.

7.4 Versauerung

Löst sich CO_2 im Meerwasser, entsteht Kohlensäure: $CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$. Das Wasser wird dadurch saurer, sein pH-Wert sinkt (Abbildung 203). Seit Beginn der Industrialisierung ist der pH-Wert des Oberflächenwassers von etwa 8,2 auf 8,1 gesunken. Das klingt wenig, bedeutet aber rund 30 % mehr Säure, weil die pH-Skala in Zehnerschritten zählt. Meerwasser ist zwar immer noch leicht basisch, doch diese **Versauerung** macht es Muscheln, Schnecken, Korallen und Kalkalgen schwerer, ihre Schalen und Skelette aus Kalk zu bauen. Weil viele von ihnen am Anfang der Nahrungskette stehen, kann das ganze Ökosystem betroffen sein.

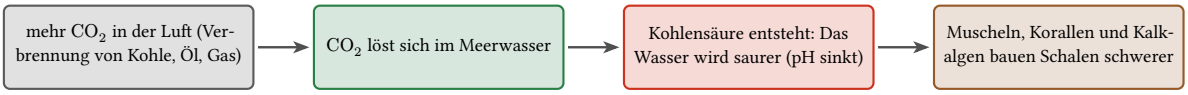


Abbildung 203: Versauerung des Meeres als Wirkungskette.

7.5 Küstenveränderung und Küstenschutz

Etwa jeder zehnte Mensch lebt in tief liegenden Küstengebieten, viele davon in großen Städten wie Shanghai, Mumbai, Lagos, New York oder Hamburg. Der Meeresspiegelanstieg verändert die Küsten (**Küstenveränderung**): Sturmfluten laufen höher auf, Strände und Steilküsten werden schneller abgetragen (Abbildung 204), Salzwasser dringt ins Grundwasser und in Flussmündungen ein, flache Inseln und Deltas werden überflutet. Besonders bedroht sind Inselstaaten wie die Malediven oder Tuvalu, die nur wenige Meter über den Meeresspiegel ragen, und dicht besiedelte Deltas wie in Bangladesch.

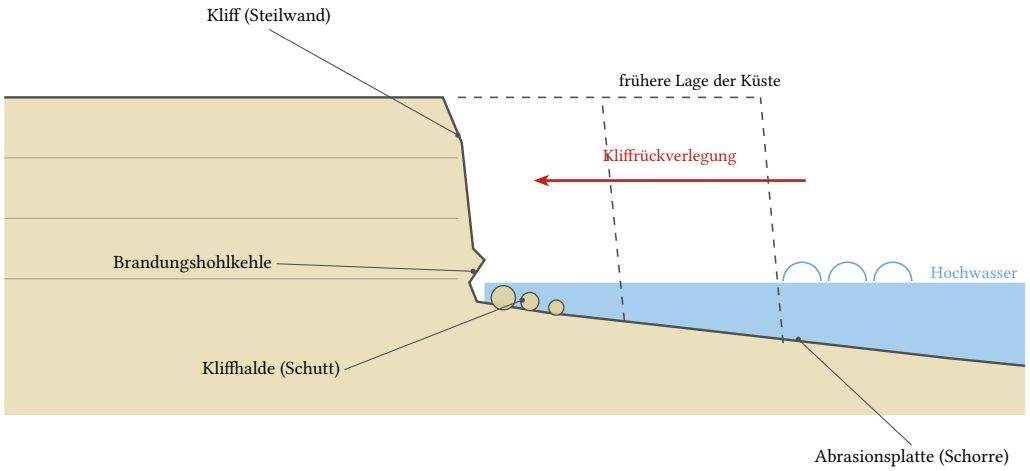


Abbildung 204: Eine Steilküste (Kliff) weicht zurück (schematisch): Die Brandung höhlt den Fuß aus, die Wand stürzt nach. Steigt der Meeresspiegel, greift die Brandung höher an.

Gegen- und Schutzmaßnahmen (**Küstenschutz**) lassen sich in drei Gruppen ordnen:

- **Schützen durch Bauwerke:** Deiche, Schutzmauern, Sperrwerke an Flussmündungen (in den Niederlanden das Deltawerk, in Hamburg die Hochwasserschutzanlagen). Deiche an der Nordsee werden heute so gebaut, dass man sie später noch erhöhen kann („Klimadeich“). Vor dem Deich fangen Lahnungen Schlick auf, sodass neues Vorland wächst, das die Wellen bremst (Abbildung 205).
- **Mit der Natur arbeiten:** Sand vor die Küste spülen (Sandvorspülung, auf Sylt jedes Jahr etwa eine Million Kubikmeter), Dünen bepflanzen, Salzwiesen, Mangroven und Korallenriffe erhalten, die Wellen brechen.
- **Anpassen oder zurückweichen:** Häuser auf Pfählen, Bauverbote in gefährdeten Zonen, Warnsysteme und Evakuierungspläne; wo Schutz nicht mehr möglich ist, der geplante Rückzug aus den bedrohten Gebieten.

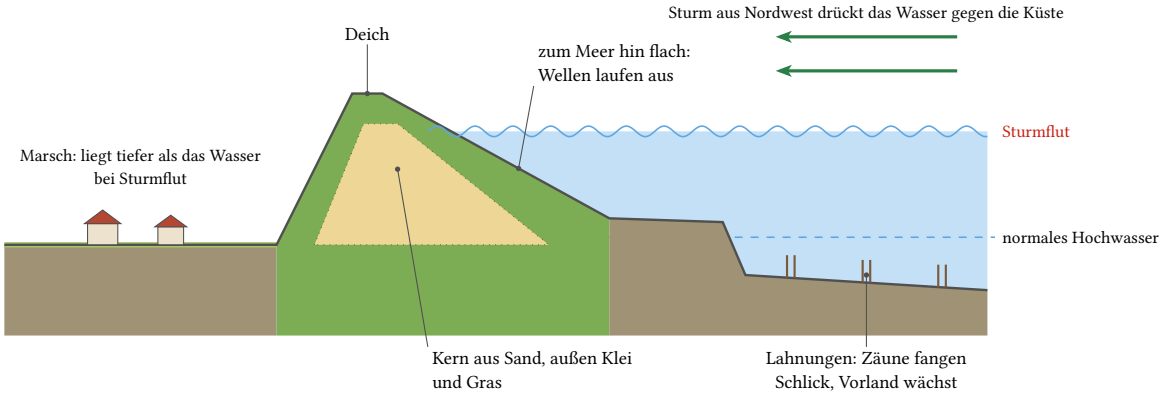


Abbildung 205: Küstenschutz an der Nordsee (schematisch, vgl. G2): Deich mit flacher Seeseite, davor Lahnungen, die Schlick auffangen und das Vorland wachsen lassen.

Küstenschutz kostet viel Geld. Reiche Länder wie die Niederlande können sich Deiche für Jahrhunderte leisten, arme Länder oft nicht, obwohl sie am wenigsten zum Klimawandel beigetragen haben. Der wirksamste Schutz bleibt deshalb, die Emissionen zu senken.

Fachbegriffe: Meerwassererwärmung · Korallenbleiche · Wärmetransport · Meereisbedeckung · Meeresspiegelanstieg · Versauerung · Küstenveränderung · Küstenschutz

Üben: **noctua** ↗ Ausprobieren: **CO_2-Badewanne und Restbudget** ↗ · **Meeresströmungen und Förderband** ↗

8 Meere nutzen und schützen

G8 · Kl. 9/10 G9 · Kl. 9/10

Das Meer liefert Nahrung, Rohstoffe und Energie, es ist der wichtigste Verkehrsweg des Welthandels und ein Ziel für Millionen Urlauber. Jede dieser Nutzungen greift in ein Ökosystem ein, in dem alles mit allem zusammenhängt. Der Bildungsplan nennt drei Beispiele für Gefährdungen: Überfischung, Verschmutzung und die Veränderung von Ökosystemen durch Tourismus. Dieses Kapitel behandelt alle drei; im Unterricht wird eines davon vertieft.

8.1 Wechselwirkungen im Ökosystem Meer

Im Meer hängen Lebewesen, Wasser, Klima und Mensch eng zusammen; man spricht von **Wechselwirkungen**. Plankton bildet die Grundlage der Nahrungskette, von ihm leben kleine Fische, von diesen größere Fische, Seevögel, Robben und Wale. Wird ein Glied geschwächt, wirkt sich das auf viele andere aus. Und weil das Meer keine Grenzen kennt, reicht eine Verschmutzung an einer Stelle oft Tausende Kilometer weit.

So erörterst du eine Frage zur Nutzung des Meeres

a) **Frage klären:** Worum geht es, wer ist beteiligt (Fischer, Hotelbesitzer, Urlauber, Staaten, Umweltverbände)?
b) **Gefährdung beschreiben:** Was geschieht mit dem Meer, mit welchen Folgen für Natur und Menschen?
c) **Möglichkeiten sammeln:** Welche Maßnahmen gibt es? Für jede Maßnahme Vorteile und Nachteile ökologisch (Natur), ökonomisch (Wirtschaft) und sozial (Menschen) abwägen.
d) **Urteilen:** Eine begründete eigene Meinung bilden; dabei sagen, welches Argument am schwersten wiegt.

8.2 Beispiel 1: Überfischung durch Fischerei

Fisch ist für über drei Milliarden Menschen eine wichtige Eiweißquelle. Moderne Fangflotten mit Echolot, riesigen Schleppnetzen und Kühlschiffen können ganze Fischschwärme auf einmal fangen. Werden mehr Fische gefangen, als durch Fortpflanzung nachwachsen, schrumpft der Bestand: **Überfischung**. Nach der Welternährungsorganisation FAO war 1974 etwa jeder zehnte Fischbestand überfischt, 2021 waren es 37,7 %.

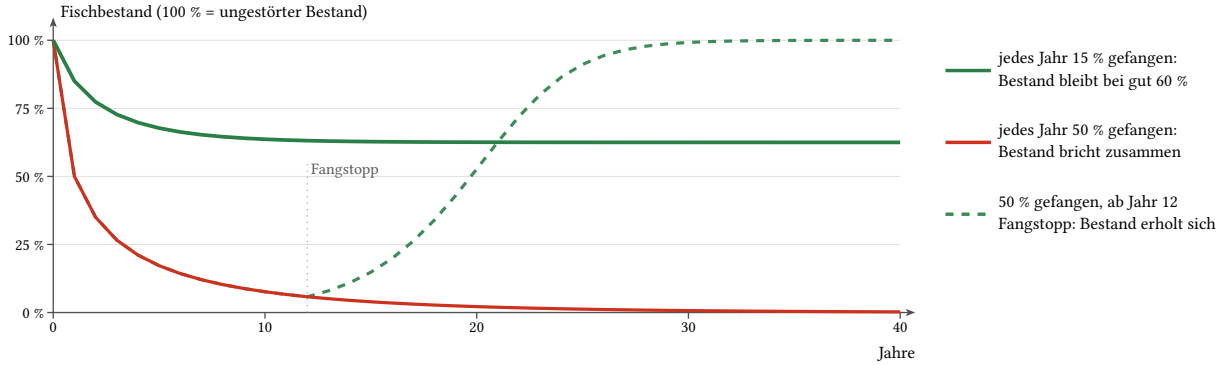


Abbildung 206: Modell eines Fischbestands: Er wächst nach, solange er nicht zu klein ist. Wird jedes Jahr ein kleiner Teil gefangen, stellt sich ein Gleichgewicht ein; wird zu viel gefangen, bricht er zusammen. Nach einem Fangstopp kann er sich erholen, wenn noch genug Tiere übrig sind.

Das Modell in Abbildung 206 zeigt das Prinzip: Ein Fischbestand verhält sich wie ein Sparkonto, von dem man nur die Zinsen abheben darf. Wird zu viel gefangen, schrumpft das „Kapital“, und es wachsen immer weniger Jungfische nach. Vor Neufundland brach der riesige Kabeljaubestand Anfang der 1990er-Jahre zusammen; 1992 wurde der Fang verboten, und Zehntausende Menschen verloren ihre Arbeit. In der östlichen Ostsee ist der gezielte Fang von Dorsch seit 2019 verboten. Dazu kommt der **Beifang**: Fische, Schildkröten, Delfine und Seevögel, die unbeabsichtigt ins Netz geraten und meist tot zurück ins Meer geworfen werden. Grundschleppnetze pflügen zudem den Meeresboden um.

Möglichkeiten einer nachhaltigen Nutzung:

- **Fangquoten** nach wissenschaftlicher Empfehlung, die nur so viel Fang erlauben, wie nachwächst, und Kontrollen auf See;
- **Schonzeiten und Mindestgrößen**, damit Fische sich fortpflanzen können, bevor sie gefangen werden, und Netze mit größeren Maschen;
- **Meeresschutzgebiete**, in denen nicht gefischt wird und aus denen sich Fische in die Umgebung ausbreiten;

- **Verbraucher** achten auf Siegel für nachhaltige Fischerei und essen weniger von bedrohten Arten;
- **Aquakultur** (Fischzucht) kann den Druck auf wilde Bestände senken, braucht aber selbst Futter, oft aus Wildfisch, und verschmutzt teils das Wasser.

8.3 Beispiel 2: Verschmutzung durch Abfall, Rohstoff- und Energiewirtschaft

Abfall. Jedes Jahr gelangen mehrere Millionen Tonnen Plastik ins Meer; eine bekannte Schätzung kommt für 2010 auf 4,8 bis 12,7 Millionen Tonnen. Der größte Teil stammt von Land: aus Ländern ohne geregelte Müllentsorgung, über Flüsse und Abwasser, vom Wind verweht. Dazu kommen verlorene Fischernetze. Plastik zersetzt sich nicht, sondern zerfällt durch Sonnenlicht und Wellen in immer kleinere Teile, das **Mikroplastik** (Abbildung 207). In den großen Meereswirbeln sammelt sich der Müll an. Seevögel, Schildkröten und Wale verfangen sich in Netzen oder verhungern mit einem Magen voller Plastik; Mikroplastik gelangt über Plankton und Muscheln in die Nahrungskette bis zum Menschen. Früher wurden auch Abfälle, Klärschlamm und nach dem Zweiten Weltkrieg große Mengen Munition im Meer versenkt; allein in den deutschen Gewässern von Nord- und Ostsee liegen heute noch rund 1,6 Millionen Tonnen alte Munition.

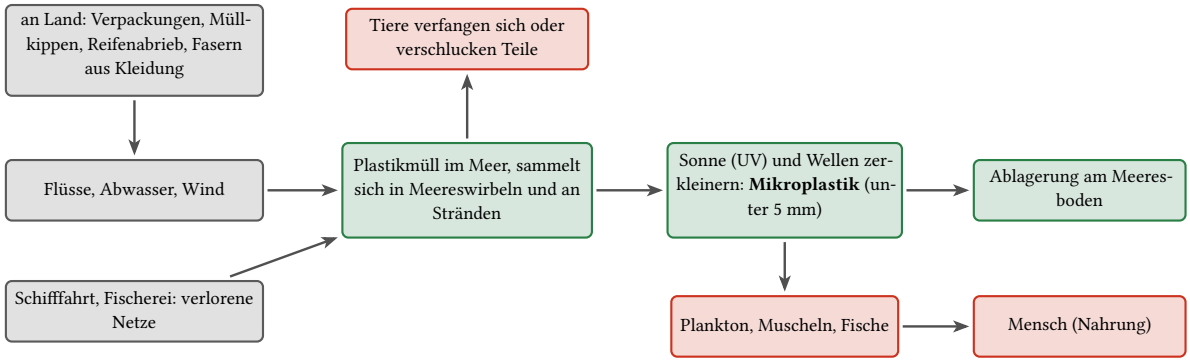


Abbildung 207: Wege des Plastiks ins Meer und in die Nahrungskette (vereinfacht).

Rohstoffwirtschaft. Etwa ein Drittel des weltweit geförderten Erdöls stammt aus Feldern im Meer. Bei Unfällen auf Bohrinseln oder Tankern verschmutzt Öl Küsten und tötet Vögel, Fische und Meeressäuger, zum Beispiel 1989 beim Tanker Exxon Valdez in Alaska oder 2010 beim Untergang der Bohrinsel Deepwater Horizon im Golf von Mexiko, bei dem fast 800 Millionen Liter Öl ausliefen. Umstritten ist der **Tiefseebergbau**: Am Meeresboden liegen Manganknollen mit Metallen, die für Batterien gebraucht werden. Ihr Abbau würde Lebensräume zerstören, die sich über Jahrtausende kaum erholen.

Landwirtschaft und Energie. Dünger von den Feldern gelangt über die Flüsse ins Meer und lässt Algen massenhaft wachsen. Wenn sie absterben und zersetzt werden, wird der Sauerstoff am Meeresboden verbraucht; in der Ostsee gibt es deshalb große sauerstoffarme „Todeszonen“. Offshore-Windparks liefern Strom ohne CO_2-Ausstoß, beim Bau stört der Lärm aber Schweinswale; zugleich werden die Fundamente zu künstlichen Riffen, und weil in den Parks nicht gefischt wird, können sie Fischen Rückzugsräume bieten.

Möglichkeiten einer nachhaltigen Nutzung: Müll vermeiden und recyceln, Müllentsorgung in den Herkunftsländern aufbauen, Einwegplastik verbieten (in der EU seit 2021 zum Beispiel Trinkhalme und Plastikbesteck), Kläranlagen verbessern, weniger Dünger einsetzen, strenge Sicherheitsregeln für Bohrinseln und Tanker (Doppelhüllentanker), Strände reinigen.

8.4 Beispiel 3: Veränderung von Ökosystemen durch Tourismus

Küsten sind die beliebtesten Urlaubsziele der Welt. Tourismus bringt Arbeit und Einkommen, gerade in Ländern mit wenig Industrie: Auf den Malediven ist er der wichtigste Wirtschaftszweig. Er kann aber die Natur zerstören, von der er lebt (**Veränderung von Ökosystemen**):

- Hotels, Straßen und Häfen werden direkt an den Strand gebaut; Dünen, Mangrovenwälder und Seegraswiesen verschwinden, die Küste ist dann schutzloser gegen Sturm und Erosion.
- Taucher und Schnorchler, die Korallen berühren oder darauf stehen, Anker von Booten und Sonnencreme schädigen Korallenriffe; Souvenirjäger nehmen Korallen und Muscheln mit.
- Hotels verbrauchen viel Süßwasser und erzeugen Abwasser und Müll, die oft ungeklärt ins Meer gelangen.
- Kreuzfahrtschiffe stoßen viele Abgase aus und bringen Tausende Menschen auf einmal in kleine Orte.

Dass es auch anders geht, zeigt das **Wattenmeer** an der Nordsee: Es ist Nationalpark und seit 2009 UNESCO-Weltnaturerbe. Besucherlenkung (Wege, Ruhezonen für Vögel, geführte Wattwanderungen), Bauverbote und Umweltbildung verbinden Tourismus und Naturschutz. Weitere Möglichkeiten sind Obergrenzen für Besucherzahlen, Eintrittsgelder für Schutzgebiete, Siegel für umweltfreundliche Hotels, festgelegte Bojen statt Anker an Riffen und Regeln für Taucher.

8.5 Nachhaltige Nutzung: Wer schützt das Meer?

Etwa zwei Drittel der Ozeane gehören zur **Hohen See**, die keinem Staat gehört. Lange gab es dort kaum Regeln. 2023 beschlossen die Vereinten Nationen das **Hochseeabkommen**; es ist seit Januar 2026 in Kraft und erlaubt erstmals Schutzgebiete auf der Hohen See. Auf der Weltnaturkonferenz 2022 einigten sich die Staaten darauf, bis 2030 je 30 % der Land- und Meeresflächen unter Schutz zu stellen; bisher ist erst knapp ein Zehntel der Meere geschützt, streng geschützt noch viel weniger. Das Nachhaltigkeitsziel 14 der Vereinten Nationen lautet „Leben unter Wasser“: Ozeane, Meere und Meeresressourcen erhalten und nachhaltig nutzen.

Merksatz

Nachhaltig ist eine Nutzung des Meeres, wenn sie nicht mehr entnimmt, als nachwächst, die Ökosysteme nicht zerstört und auch künftigen Generationen Nahrung, Arbeit und Erholung ermöglicht. Dafür braucht es Regeln (Quoten, Schutzgebiete, Verbote), die Staaten gemeinsam durchsetzen, und Menschen, die ihren Konsum ändern.

Fachbegriffe: Wechselwirkungen · Überfischung · Beifang · Aquakultur · Verschmutzung · Mikroplastik · Veränderung von Ökosystemen · Meeresschutzgebiet · nachhaltige Nutzung

Üben: **noctua** ↗

