minærva

G

SKRIPT

6 Tropen, Trockenräume und Polarräume

Erklärskript

Die Aufgaben 174–202 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 Exogene Prozesse ... 5
1.1 Kräfte von außen formen die Erdoberfläche ... 5
1.2 Verwitterung: Gestein zerfällt oder wird zersetzt ... 5
1.3 Abtragung und Transport ... 6
1.4 Ablagerung ... 7
1.5 Exogene Prozesse in den drei Zonen ... 7
2 Der tropische Regenwald ... 9
2.1 Klima und Verbreitung ... 9
2.2 Der Stockwerkbau ... 9
2.3 Armer Boden unter reichem Wald ... 10
2.4 Der kurzgeschlossene Mineralstoffkreislauf ... 10
2.5 Wanderfeldbau mit Brandrodung ... 11
2.6 Großflächige Nutzung und ihre Folgen ... 12
2.7 Den Regenwald nachhaltig nutzen ... 12
3 Trockenräume ... 14
3.1 Was ist ein Trockenraum? ... 14
3.2 Warum gibt es Wüsten? ... 14
3.3 Wüstenarten und ihre Formen ... 15
3.4 Leben mit der Trockenheit ... 15
3.5 Die Oase: Leben am Wasser ... 16
3.6 Bewässerung und Versalzung ... 17
3.7 Savanne und Desertifikation im Sahel ... 17
4 Polarräume: Natur und Nutzung ... 20
4.1 Arktis und Antarktis ... 20
4.2 Tundra und borealer Nadelwald ... 20
4.3 Permafrost ... 21
4.4 Menschen in der Arktis ... 22
4.5 Rohstoffe und Verkehr ... 22
4.6 Tourismus und Schutz ... 22
5 Nachhaltige Nutzung im Vergleich ... 24
5.1 Was heißt nachhaltig? ... 24
5.2 Ein gemeinsames Muster in drei Zonen ... 24
5.3 Die Vorteile nachhaltiger Nutzung ... 25
5.4 Was wir hier tun können ... 25

Worum es geht

Schau beim nächsten Einkauf genauer hin: Die Schokolade enthält Kakao aus Westafrika, im Brotaufstrich steckt Palmöl aus Indonesien, die Datteln kommen aus einer Oase in Tunesien, und auf der Packung der Fischstäbchen steht „Barentssee“, ein Meer der Arktis. Und manchmal liegt nach einem Regen ein feiner gelber Staub auf den Autos in Freiburg: Sand aus der Sahara, der über das Mittelmeer bis zu uns geweht wurde.

Die Tropen, die Trockenräume und die Polarräume sind weit weg, und doch sind wir mit ihnen verbunden. Alle drei sind Räume, in denen die Natur dem Menschen enge Grenzen setzt: Im Regenwald ist der Boden arm, in der Wüste fehlt Wasser, in der Arktis ist es zu kalt. Wer dort lebt oder wirtschaftet, muss sich anpassen, sonst zerstört er seine eigene Lebensgrundlage. Dieses Skript zeigt zuerst, wie Wasser, Wind, Eis und Wärme die Erdoberfläche in diesen Zonen formen, und dann, wie Menschen die drei Räume nutzen und wie man sie nachhaltig nutzen kann.

Tropen, Trockenräume und Polarräume im Lehrplan. G8: Klasse 7/8. G9: Klasse 7/8. 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. Klimazonen, Klimadiagramm, Passatkreislauf und ITC kennst du aus G5; dieses Skript baut darauf auf. Alle Klimadiagramme echter Orte beruhen auf Messwerten der Jahre 1991 bis 2020 (Deutscher Wetterdienst); Modelle sind als Modell gekennzeichnet.

1 Exogene Prozesse

G8 · Kl. 7/8 G9 · Kl. 7/8

Eine alte Sandsteinmauer bröckelt, auf einem Grabstein ist die Schrift nach hundert Jahren kaum noch zu lesen, und unter jeder Felswand liegt ein Haufen Schutt. Gestein ist nicht für die Ewigkeit gemacht. Es wird ständig zerkleinert, fortgetragen und an anderer Stelle wieder abgelagert, langsam, aber unaufhörlich.

1.1 Kräfte von außen formen die Erdoberfläche

Die Kräfte, die die Erdoberfläche gestalten, kommen aus zwei Richtungen. Aus dem Erdinneren wirken die **endogenen** Kräfte: Sie heben Gebirge, lassen Vulkane ausbrechen und die Erde beben (dazu mehr in G10). Von außen wirken die **exogenen Prozesse**. Ihr Antrieb ist die Energie der Sonne, die Wasser verdunsten lässt, Winde antreibt und Gestein erwärmt, und die Schwerkraft, die alles bergab zieht. Werkzeuge der exogenen Prozesse sind Wasser, Eis und Wind.

Exogene Prozesse laufen immer in derselben Reihenfolge ab (Abbildung 101):

1. **Verwitterung:** Das Gestein wird an Ort und Stelle gelockert, zerkleinert oder zersetzt.
2. **Abtragung:** Das gelockerte Material wird von seinem Platz entfernt, etwa wenn Schutt den Hang hinunterrutscht oder der Regen Boden abspült.
3. **Transport:** Wasser, Eis oder Wind tragen das Material fort, manchmal Tausende Kilometer weit.
4. **Ablagerung:** Wenn die Kraft des Wassers, des Eises oder des Windes nachlässt, bleibt das Material liegen.

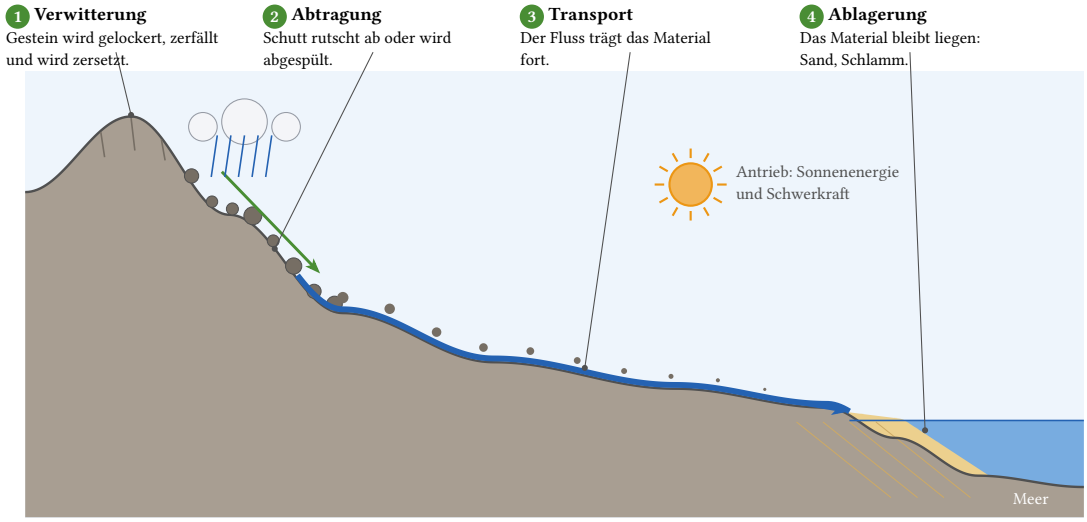


Abbildung 101: Die Kette der exogenen Prozesse vom Gebirge bis ins Meer (schematisch).

Die Verwitterung zerkleinert also, die Abtragung und der Transport räumen weg, die Ablagerung baut an anderer Stelle wieder auf. Hohe Gebirge werden so im Lauf von Jahrmillionen abgetragen, und aus den Ablagerungen entstehen Ebenen, Deltas und neue Gesteinsschichten.

Merksatz

Exogene Prozesse wirken von außen auf die Erdoberfläche: Verwitterung, Abtragung, Transport und Ablagerung. Angetrieben werden sie von der Sonnenenergie und der Schwerkraft; ihre Werkzeuge sind Wasser, Eis und Wind.

1.2 Verwitterung: Gestein zerfällt oder wird zersetzt

Man unterscheidet zwei Arten der Verwitterung (Abbildung 102).

Bei der **physikalischen Verwitterung** (auch mechanische Verwitterung) zerfällt das Gestein in immer kleinere Stücke, ohne dass sich seine Stoffe ändern. Ein Granitbrocken bleibt Granit, er wird nur kleiner.

- **Frostsprengung:** Wasser dringt in Risse ein. Gefriert es, dehnt es sich um rund 9 % aus und drückt den Riss mit großer Kraft auseinander. Taut das Eis, dringt neues Wasser tiefer ein. Je öfter die Temperatur um 0 °C pendelt, desto stärker ist die Frostsprengung: Am wirksamsten ist sie im Hochgebirge und in den Polarräumen im Frühling und Herbst.

- **Temperaturverwitterung:** In der Wüste erhitzen sich Gesteinsoberflächen tagsüber auf über 60 °C und kühlen nachts stark ab. Die äußere Schicht dehnt sich aus und zieht sich wieder zusammen, das Innere kaum. So lockert sich das Gefüge, und Schalen platzen ab.
- **Salzsprengung:** Salzhaltiges Wasser zieht in Poren und Risse. Verdunstet es, wachsen Salzkristalle und sprengen das Gestein von innen. Das geschieht vor allem in Trockenräumen und an Küsten.
- **Wurzelsprengung:** Pflanzenwurzeln wachsen in Spalten und drücken sie auseinander.

Bei der **chemischen Verwitterung** wird das Gestein zersetzt: Seine Minerale reagieren mit Wasser, mit Kohlensäure aus der Luft oder mit Säuren aus dem Boden und verwandeln sich in neue Stoffe. Kalkstein wird von kohlensäurehaltigem Regenwasser gelöst, Granit zerfällt zu Sand und Ton, und eisenhaltige Minerale „rosten“, was viele tropische Böden rot färbt. Chemische Reaktionen laufen umso schneller, je wärmer es ist, und sie brauchen Wasser. Darum ist die chemische Verwitterung in den feuchtheißen Tropen besonders stark.

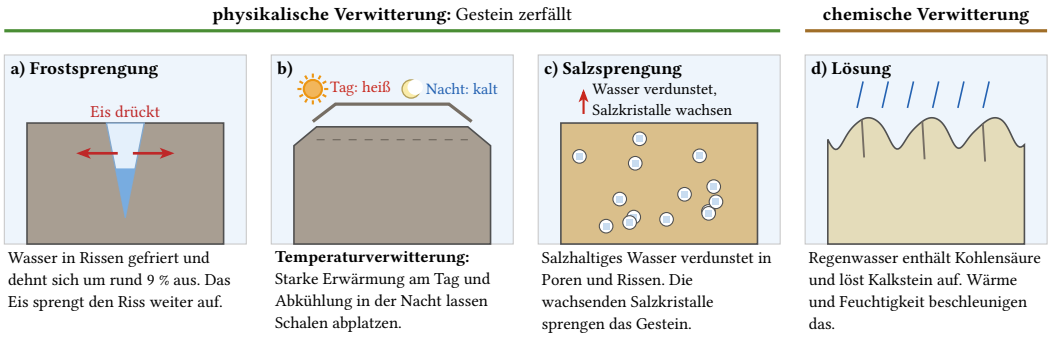


Abbildung 102: Vier Formen der Verwitterung (schematisch). a) bis c) sind physikalische Verwitterung, d) ist chemische Verwitterung.

Merksatz

Physikalische Verwitterung zerkleinert das Gestein (Frost, Hitze und Kälte, Salz, Wurzeln). Chemische Verwitterung zersetzt es und bildet neue Stoffe (Wasser, Kohlensäure, Wärme). In der Natur wirken beide fast immer zusammen.

Typischer Fehler

Falsch: Verwitterung und Abtragung sind dasselbe: Der Fels wird weggespült.
Richtig: Verwitterung lockert und zerkleinert das Gestein an Ort und Stelle. Erst die Abtragung entfernt das Material von dort.

Auf einem flachen Plateau kann Gestein tief verwittert sein, ohne dass etwas abgetragen wird.

1.3 Abtragung und Transport

Das verwitterte Material bleibt nicht liegen. Am Hang zieht die Schwerkraft es nach unten: Steine fallen, Schutt rutscht, nach starkem Regen gleiten ganze Hänge ab. Fließendes Wasser spült Boden ab und trägt ihn in Bäche und Flüsse. Gletscher und das Inlandeis schieben Schutt vor sich her und schleifen den Untergrund ab. Und in trockenen Gebieten nimmt der Wind lockeren Sand und Staub auf.

Wie weit Material transportiert wird, hängt von seiner Größe und von der Kraft des Transportmittels ab:

- Große Blöcke und Kies werden am Boden **gerollt** oder geschoben.
- Sand **springt**: Der Wind oder das Wasser hebt die Körner kurz an, sie fliegen ein Stück und prallen wieder auf.
- Feiner Schlamm und Staub **schweben** und werden sehr weit getragen. Saharastaub erreicht regelmäßig Europa und sogar Südamerika.
- Manche Stoffe, etwa gelöster Kalk und Salze, werden **gelöst** im Wasser fortgeführt.

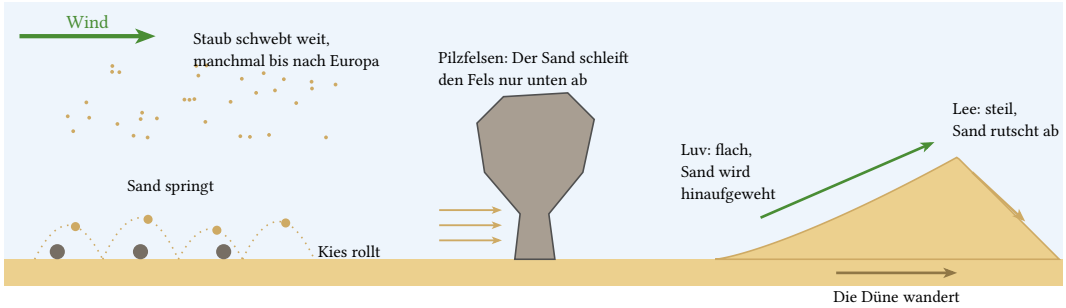


Abbildung 103: Der Wind als Werkzeug in der Wüste (schematisch): Staub schwebt, Sand springt, Kies rollt. Die springenden Sandkörner schleifen Felsen dicht über dem Boden ab, und der Sand sammelt sich zu wandernden Dünen.

Der Wind kann allerdings nur trockenes, lockeres Material bewegen. Er bläst den feinen Sand und Staub aus und lässt die groben Steine zurück. Mit den springenden Sandkörnern schleift er Felsen ab, aber nur bis etwa einen Meter über dem Boden, so hoch springen die Körner. So entstehen Pilzfelsen (Abbildung 103).

1.4 Ablagerung

Lässt die Kraft des Transportmittels nach, wird zuerst das grobe, dann das feine Material abgelagert. Ein Fluss, der aus dem Gebirge in die Ebene tritt, lässt zuerst Kies fallen, später Sand; der feinste Schlamm gelangt bis an die Mündung und baut dort ein **Delta** auf. In der Wüste lagert der Wind den Sand zu **Dünen** ab, den feinen Staub oft erst weit entfernt. Gletscher hinterlassen beim Abschmelzen Wälle aus Schutt, die **Moränen**.

Beispiel 1

Ein Wadi nach dem Regen. In der Sahara regnet es an manchen Orten nur alle paar Jahre. Fällt dann aber ein heftiger Gewitterregen auf den nackten, harten Boden, kann das Wasser kaum versickern. Es sammelt sich in den sonst trockenen Tälern, den **Wadis**, und schießt als Sturzflut talab. In wenigen Stunden transportiert es Steine, Kies und Sand, mehr als in vielen Jahren zuvor. Wo das Wadi in die Ebene mündet, verliert das Wasser an Kraft und lagert alles ab: zuerst die Steine, dann den Kies und weiter außen den Sand. Danach ist das Wadi wieder trocken, und der Wind übernimmt die Arbeit.

1.5 Exogene Prozesse in den drei Zonen

Welche Prozesse überwiegen, hängt vor allem vom Klima ab: von der Temperatur und davon, wie viel Wasser zur Verfügung steht.

	Tropen (immerfeucht)	Trockenräume	Polarräume
Klima	das ganze Jahr heiß und feucht	heiß am Tag, oft kalt in der Nacht, sehr wenig Regen	lange, sehr kalte Winter, kurze kühle Sommer
Verwitterung	vor allem chemisch, sehr stark und tief	vor allem physikalisch: Temperatur- und Salzsprengung	vor allem physikalisch: Frostsprengung
Abtragung und Transport	Flüsse mit viel Schlamm; Abspülung, wenn der Wald fehlt	Wind; seltene Sturzfluten in Wadis	Gletscher, Inlandeis, Bodenfließen, Schmelzwasser
typische Formen	tiefgründige rote Böden, abgerundete Berge	Fels-, Kies- und Sandwüste, Dünen, Pilzfelsen	Frostschutt, Moränen, Trogtäler

Tabelle 27: Exogene Prozesse in den Tropen, den Trockenräumen und den Polarräumen im Vergleich.

In den immerfeuchten Tropen zersetzt die chemische Verwitterung das Gestein seit Millionen von Jahren. Der verwitterte, rote Boden reicht oft viele Meter tief, an manchen Stellen Dutzende Meter. Unter dem geschlossenen Wald wird kaum etwas abgetragen. Wird der Wald aber gerodet, spülen die heftigen Regengüsse den ungeschützten Boden in kurzer Zeit ab. Die Flüsse färben sich dann braun von Schlamm.

In den Trockenräumen fehlt das Wasser für die chemische Verwitterung, und es gibt kaum Pflanzen, die den Boden festhalten. Hier zerkleinern Hitze, Kälte und Salz das Gestein; der Wind und die seltenen Sturzfluten räumen es weg. Mehr dazu in Abschnitt 3.

In den Polarräumen ist es meist zu kalt für chemische Verwitterung. Die Frostsprengung zerlegt den Fels in scharfkantigen Schutt. Gletscher und Inlandeis tragen ab und schleifen, und im Sommer fließt der aufgetaute, nasse Boden langsam die Hänge hinab (Abschnitt 4).

Fachbegriffe: exogene Prozesse · Verwitterung · physikalische Verwitterung · chemische Verwitterung · Abtragung · Transport · Ablagerung

Üben: **noctua** ↗

2 Der tropische Regenwald

G8 · Kl. 7/8 G9 · Kl. 7/8

Der tropische Regenwald ist der üppigste Wald der Erde: bis zu 60 Meter hohe Bäume, Lianen, Orchideen, Hunderte Baumarten auf einem einzigen Hektar. Man könnte meinen, unter so viel Grün müsse der fruchtbarste Boden der Welt liegen. Doch wer den Wald rodet und dort Mais anbaut, erntet nach zwei, drei Jahren kaum noch etwas. Wie passt das zusammen?

2.1 Klima und Verbreitung

Der **tropische Regenwald** wächst in den immerfeuchten Tropen beiderseits des Äquators: im Amazonasbecken in Südamerika, im Kongobecken in Afrika und in Südostasien (Indonesien, Malaysia, Neuguinea). Das Klima kennst du aus G5: Es ist das ganze Jahr heiß (etwa 25 bis 28 °C), und fast jeden Nachmittag gibt es einen Zenitalregen, weil die ITC nie weit weg ist. Die Monate unterscheiden sich kaum; der größte Unterschied liegt zwischen Tag und Nacht (Tageszeitenklima).

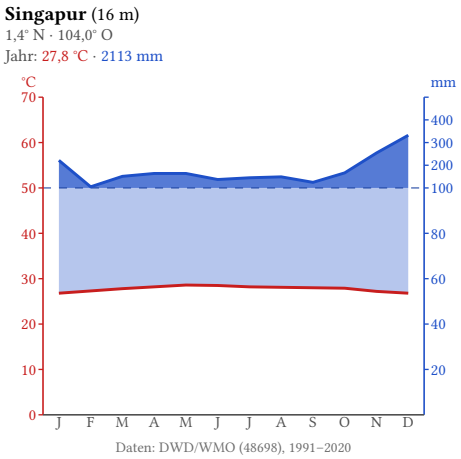


Abbildung 104: Klimadiagramm von Singapur (1° N). Jahresmittel 27,8 °C, Jahresschwankung nur 1,8 K, rund 2100 mm Niederschlag, alle Monate humid. Ein Klima wie in Manaus (G5): immerfeuchte Tropen.

Unter diesen Bedingungen gibt es keine Jahreszeiten, in denen die Pflanzen ruhen müssten. Der Wald ist **immergrün**: Jeder Baum wirft seine Blätter zu einer anderen Zeit ab, blüht und trägt Früchte, wann es für ihn passt. Nach Schätzungen leben im tropischen Regenwald mehr als die Hälfte aller Tier- und Pflanzenarten der Erde, obwohl er nur einen kleinen Teil der Landfläche bedeckt.

2.2 Der Stockwerkbau

Weil alle Pflanzen um das Licht konkurrieren, ist der Regenwald in mehreren Etagen aufgebaut, dem **Stockwerkbau** (Abbildung 105). Ganz oben ragen einzelne **Urwaldriesen** bis etwa 60 Meter auf. Darunter bilden die Kronen in 30 bis 40 Metern Höhe ein fast geschlossenes Dach, das **Kronendach**. Hier oben ist es hell, heiß und windig, hier leben die meisten Tiere. Darunter folgen eine untere Baumschicht, eine Strauchschicht und am Boden eine spärliche Krautschicht.

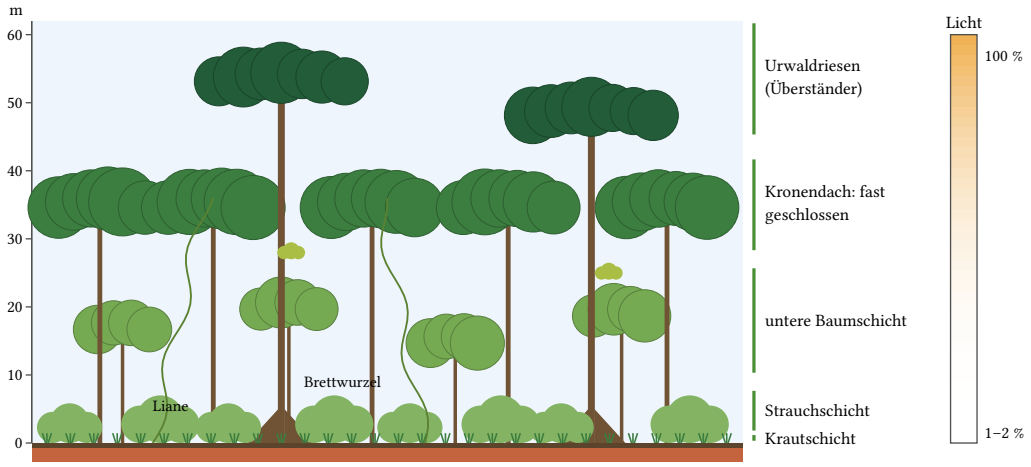


Abbildung 105: Der Stockwerkbau des tropischen Regenwalds (schematisch, typische Höhen). Am Boden kommt nur noch etwa 1 bis 2 % des Sonnenlichts an.

Am Waldboden ist es dämmrig, feucht und windstill. Junge Bäume warten hier oft jahrelang, bis ein alter Baum umstürzt und eine Lichtung entsteht. **Lianen** wurzeln im Boden und klettern an den Stämmen zum Licht empor. **Aufsitzerpflanzen** (Epiphyten) wie Orchideen und Bromelien wachsen gleich oben auf den Ästen und holen sich das Wasser aus dem Regen und der feuchten Luft. Die riesigen Bäume haben flache Wurzeln; damit sie nicht umfallen, stützen sie sich auf breite **Brettwurzeln**.

2.3 Armer Boden unter reichem Wald

Gräbt man im Regenwald, findet man unter einer dünnen Schicht aus Laub und Humus einen roten oder gelben, lehmigen Boden. Er ist durch die chemische Verwitterung viele Meter tief zersetzt (Abschnitt 1). Was an Nährstoffen im Gestein steckte, haben die täglichen Regengüsse über Jahrmillionen ausgewaschen. Übrig bleiben vor allem Ton und Eisen- und Aluminiumverbindungen, die dem Boden die rote Farbe geben. Dieser Ton kann Nährstoffe nur schlecht festhalten, ähnlich wie ein Sieb das Wasser.

Definition

Bodenfruchtbarkeit ist die Fähigkeit eines Bodens, Pflanzen mit Wasser, Luft und Nährstoffen zu versorgen und so dauerhaft Erträge zu ermöglichen. Sie hängt vom Humus, von den Tonmineralen, von den Bodenlebewesen und vom Klima ab.

Die Bodenfruchtbarkeit der meisten Regenwaldböden ist also gering. Dass dort trotzdem der üppigste Wald der Erde wächst, liegt an einem besonderen Kreislauf.

2.4 Der kurzgeschlossene Mineralstoffkreislauf

Pflanzen brauchen zum Wachsen **Mineralstoffe** (Nährsalze) wie Kalium, Calcium, Magnesium und Phosphor. Sie nehmen sie mit den Wurzeln auf und bauen sie in Blätter, Holz und Früchte ein. Fallen Blätter und Zweige zu Boden, zersetzen Pilze, Bakterien, Termiten und andere Bodenlebewesen sie; die Mineralstoffe werden wieder frei und können erneut aufgenommen werden. Diesen Weg nennt man den **Mineralstoffkreislauf** (auch Nährstoffkreislauf).

Im Regenwald läuft dieser Kreislauf extrem schnell (Abbildung 106). In der feuchten Wärme ist ein herabgefallenes Blatt in wenigen Wochen zersetzt. Die frei werdenden Mineralstoffe gelangen gar nicht erst tief in den Boden: Ein dichtes Geflecht aus feinen Wurzeln und **Wurzelpilzen** durchzieht die Streuschicht und holt sie sofort wieder in die Pflanzen zurück. Man spricht von einem **kurzgeschlossenen Mineralstoffkreislauf**. Der größte Teil der Mineralstoffe steckt deshalb nicht im Boden, sondern in den lebenden Pflanzen.

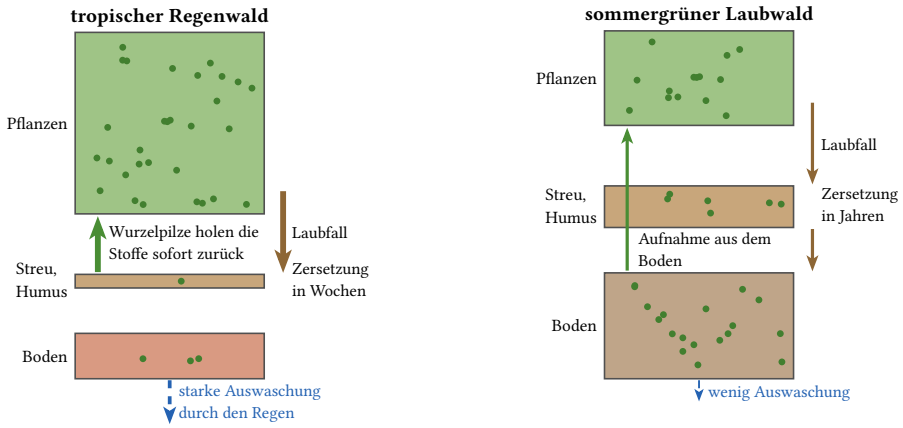


Abbildung 106: Mineralstoffkreislauf im tropischen Regenwald und im sommergrünen Laubwald Mitteleuropas (schematisch). Punkte: Mineralstoffe; Pfeilbreite: Menge pro Jahr. Im Regenwald steckt fast alles in den Pflanzen, im Laubwald ein großer Teil im Humus und im Boden.

Im Laubwald bei uns ist es anders: Im Herbst fällt das Laub auf einmal, und weil es kühler ist, dauert die Zersetzung ein bis mehrere Jahre. Dabei entsteht viel Humus. Humus und die Tonminerale unserer Böden speichern Mineralstoffe gut. Wird ein Laubwald gerodet, bleibt deshalb ein fruchtbarer Boden zurück, auf dem man jahrhundertelang Ackerbau treiben kann.

Merksatz

Im tropischen Regenwald steckt der größte Teil der Mineralstoffe in den Pflanzen. Streu wird in Wochen zersetzt, Wurzeln und Wurzelpilze nehmen die Mineralstoffe sofort wieder auf: Der Mineralstoffkreislauf ist kurzgeschlossen. Der Boden selbst speichert kaum Nährstoffe.

Typischer Fehler

Falsch: Unter dem üppigen Regenwald muss ein sehr fruchtbarer Boden liegen.

Richtig: Der Regenwaldboden ist nährstoffarm. Die Nährstoffe stecken in den Pflanzen und kreisen schnell zwischen Pflanzen und Streu.

Wird der Wald entfernt, wird der Kreislauf unterbrochen: Die Nährstoffe gehen mit dem Holz, dem Feuer und dem Regen verloren.

2.5 Wanderfeldbau mit Brandrodung

Die Menschen, die seit Jahrtausenden im Regenwald leben, haben eine an diesen Boden angepasste Form der Landwirtschaft entwickelt: den **Wanderfeldbau** (Abbildung 107). Eine Familie schlägt in der trockeneren Jahreszeit ein kleines Stück Wald, lässt das Holz trocknen und verbrennt es. Diese **Brandrodung** hat einen Sinn: Die Asche enthält die Mineralstoffe der verbrannten Pflanzen und düngt den Boden. Zwischen den verkohlten Stümpfen pflanzt die Familie Maniok, Mais, Bohnen, Süßkartoffeln und Bananen.

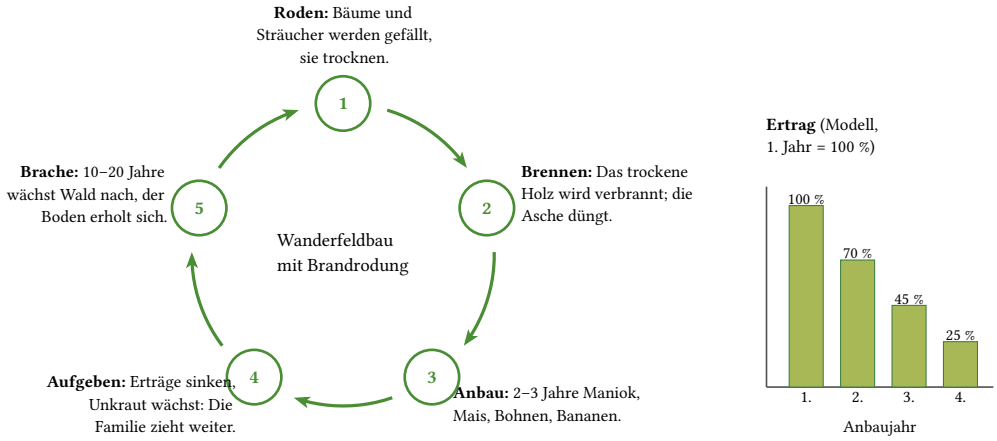


Abbildung 107: Wanderfeldbau mit Brandrodung als Kreislauf; rechts der typische Rückgang der Erträge (Modell).

Nach zwei bis drei Jahren sind die Mineralstoffe aus der Asche verbraucht oder ausgewaschen, Unkraut wuchert, die Erträge sinken stark. Die Familie gibt das Feld auf und rodet ein neues Stück. Auf dem alten Feld wächst ein **Sekundärwald** nach (ein nachgewachsener Wald, der artenärmer ist als der ursprüngliche Wald). Nach 10 bis 20 Jahren Brache hat sich wieder genug Biomasse und damit Mineralstoffe angesammelt, und das Feld kann erneut genutzt werden.

Der Wanderfeldbau ist nachhaltig, solange wenige Menschen viel Wald zur Verfügung haben und die Brache lang genug ist. Leben aber mehr Menschen auf derselben Fläche, wird die Brache verkürzt. Dann erholt sich der Boden nicht mehr, die Erträge sinken von Mal zu Mal, und der Wald verschwindet.

2.6 Großflächige Nutzung und ihre Folgen

Heute wird der Regenwald vor allem großflächig genutzt, und dabei gehen jedes Jahr riesige Flächen verloren. Im Jahr 2024 verschwanden in den Tropen nach Messungen mit Satelliten rund 6,7 Millionen Hektar ursprünglicher Wald (Global Forest Watch, University of Maryland), fast doppelt so viel wie im Jahr davor. Das ist fast die doppelte Fläche Baden-Württembergs in einem einzigen Jahr; ein großer Teil ging durch Brände verloren. Die wichtigsten Ursachen:

- **Rinderweiden:** In Amazonien wird der größte Teil der gerodeten Fläche zu Weideland für Rinder.
- **Sojaanbau:** Soja wird vor allem als Futtermittel für Schweine, Rinder und Geflügel angebaut, auch für den Export nach Europa.
- **Plantagen:** Vor allem in Indonesien und Malaysia, die zusammen den größten Teil des Palmöls der Welt erzeugen, wurde Regenwald durch Ölpalmen ersetzt. Weitere Plantagenfrüchte sind Kautschuk, Kakao, Kaffee und Bananen.
- **Holzeinschlag:** Wertvolle Tropenhölzer werden geschlagen; für den Abtransport werden Straßen in den Wald gebaut, auf denen dann Siedler und Viehzüchter nachrücken.
- **Bergbau und Staudämme:** Eisenerz, Bauxit (für Aluminium) und Gold werden im Tagebau gewonnen; Stauseen überfluten Wald.

Definition

Eine **Plantage** ist ein großer landwirtschaftlicher Betrieb, der auf riesigen Flächen eine einzige Dauerkultur (**Monokultur**) anbaut, zum Beispiel Ölpalmen, Kautschuk oder Bananen, meist für den Verkauf auf dem Weltmarkt.

Die Folgen reichen weit über den Wald hinaus:

- **Boden:** Ohne Kronendach prasseln die Regengüsse direkt auf den Boden und spülen ihn ab. Die wenigen Nährstoffe sind schnell verbraucht; Weiden und Felder müssen gedüngt oder nach einigen Jahren aufgegeben werden.
- **Artenvielfalt:** Mit dem Wald verschwinden Tier- und Pflanzenarten, viele davon, bevor sie überhaupt entdeckt wurden.
- **Klima:** Bäume speichern Kohlenstoff. Wird der Wald verbrannt, gelangt er als Kohlenstoffdioxid in die Luft und verstärkt den Klimawandel (G7).
- **Wasserkreislauf:** Der Regenwald verdunstet riesige Wassermengen, die in der Region wieder als Regen fallen. Ohne Wald wird es trockener, und der übrige Wald wird anfälliger für Brände.
- **Menschen:** Indigene Völker verlieren ihren Lebensraum; es kommt zu Konflikten um Land.

2.7 Den Regenwald nachhaltig nutzen

Den Regenwald nur zu schützen und gar nicht zu nutzen, ist für die Menschen dort keine Lösung; sie müssen von etwas leben. Es gibt aber Nutzungen, die den Wald erhalten:

- **Agroforstwirtschaft:** Nutzpflanzen werden im Stockwerkbau angebaut, wie im Wald selbst: Kakao oder Kaffee im Schatten hoher Bäume, darunter Bananen und Gemüse. Der Boden bleibt bedeckt, die Laubstreu düngt, und die Bauern ernten verschiedene Produkte über das ganze Jahr.
- **Sammelwirtschaft:** Paranüsse, Früchte, Naturkautschuk oder Heilpflanzen werden gesammelt, ohne Bäume zu fällen. In Brasilien gibt es dafür eigene Schutzgebiete, die Sammlerreservate.
- **Schutzgebiete und Rechte für indigene Völker:** Wo Indigene ihr Land sicher besitzen, wird erfahrungsgemäß weniger Wald gerodet.
- **Zertifiziertes Holz:** Nur einzelne Bäume werden gefällt, der Wald bleibt als Ganzes erhalten (zum Beispiel mit dem FSC-Siegel).
- **Sanfter Tourismus:** Besucher bezahlen dafür, den Wald zu erleben; das schafft Einkommen, ohne ihn zu zerstören.
- **Unser Verbrauch:** Weniger Fleisch (Soja als Futter), Palmöl und Tropenholz nur aus geprüfter Herkunft, Recyclingpapier.

Beispiel 2

Kakao im Schatten. Kakaobäume stammen aus dem Unterholz des Regenwalds und vertragen Schatten. In einer Agroforst-Pflanzung wachsen sie unter hohen Schattenbäumen, dazwischen Bananenstauden und Maniok. Die Ernte an Kakao ist etwas kleiner als in einer offenen Plantage in praller Sonne. Dafür bleibt der Boden geschützt, die Pflanzung trägt Jahrzehnte, Vögel und Insekten finden Lebensraum, und die Bauernfamilie hat mit Bananen, Früchten und Holz weitere Einnahmen, wenn der Kakaopreis fällt.

Fachbegriffe: tropischer Regenwald · Stockwerkbau · Bodenfruchtbarkeit · Mineralstoffkreislauf · Wanderfeldbau · Brandrodung · Plantage · Agroforstwirtschaft

Üben: **noctua** ↗ Ausprobieren: **Klimadiagramm-Baukasten** ↗ · **climæ** ↗

3 Trockenräume

G8 · Kl. 7/8 G9 · Kl. 7/8

Die Sahara ist mit rund 9 Millionen km² die größte Trockenwüste der Erde, ungefähr so groß wie die USA. Wer an Wüste denkt, stellt sich meist hohe Sanddünen vor. Tatsächlich besteht nur etwa ein Fünftel der Sahara aus Sand. Der Rest ist Fels, Kies und Geröll.

3.1 Was ist ein Trockenraum?

In einem Trockenraum verdunstet mehr Wasser, als an Niederschlag fällt; die meisten Monate sind arid. Je nachdem, wie trocken es ist, unterscheidet man:

- **Wüste:** Es fallen meist weniger als 100 bis 150 mm Niederschlag im Jahr, oft in einzelnen, heftigen Güssen. Fast alle Monate sind arid, Pflanzen wachsen nur vereinzelt oder gar nicht.
- **Halbwüste:** etwa 150 bis 250 mm; Gräser, Sträucher und dornige Büsche bedecken den Boden lückenhaft.
- **Savanne** (am Rand der Tropen): Auf eine Regenzeit folgt eine lange Trockenzeit; Gras mit einzelnen Bäumen und Sträuchern (Abschnitt 3.7).

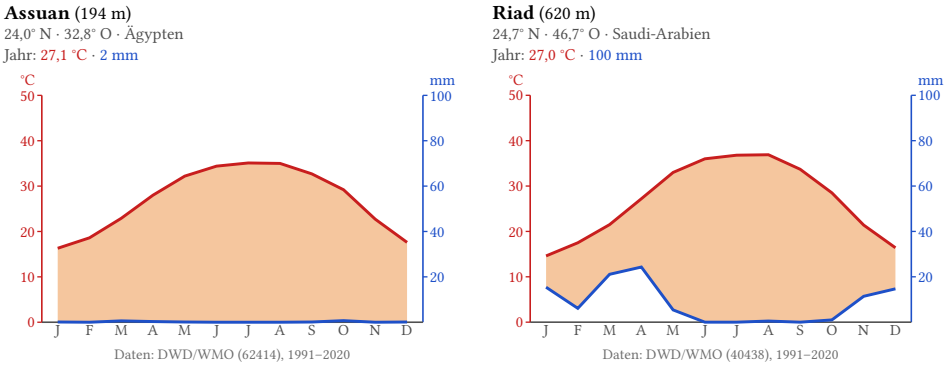


Abbildung 108: Klimadiagramme zweier Wüstenstationen: Assuan in Ägypten (24° N, im Jahr nur etwa 2 mm Niederschlag) und Riad in Saudi-Arabien (25° N, rund 100 mm). Alle Monate sind arid.

Typisch für die Wüste sind große Temperaturunterschiede. Weil kaum Wolken den Himmel bedecken, heizt die Sonne den Boden tagsüber stark auf, und nachts strahlt er die Wärme ungehindert in den Weltraum ab. Im Sommer werden tagsüber oft über 40 °C gemessen, in klaren Winternächten kann es in der Sahara Frost geben. Assuan hat im Juli eine Mitteltemperatur von 35 °C, im Januar von 16 °C (Abbildung 108).

3.2 Warum gibt es Wüsten?

Wüsten entstehen dort, wo Luft absinkt oder feuchte Luft nicht hingelangt. Man unterscheidet drei Ursachen (Abbildung 109):

- **Wendekreiswüsten:** Unter der subtropisch-randtropischen Hochdruckzone sinkt die Luft ab, erwärmt sich und wird trocken (Passatkreislauf, G5). Beispiele: Sahara, Arabische Wüste, die Wüsten Australiens.
- **Küstenwüsten:** An Küsten mit kaltem Meerwasser kühlt sich die Luft unten ab. Kalte Luft liegt unter warmer und kann nicht aufsteigen; es bildet sich Nebel, aber kaum Regen. Beispiele: Atacama in Chile, Namib in Afrika.
- **Binnenwüsten:** Sie liegen weit vom Meer entfernt im Inneren der Kontinente oder hinter hohen Gebirgen, im Regenschatten. Die feuchte Luft regnet auf der Luvseite der Gebirge ab. Beispiele: Gobi und Taklamakan in Asien.

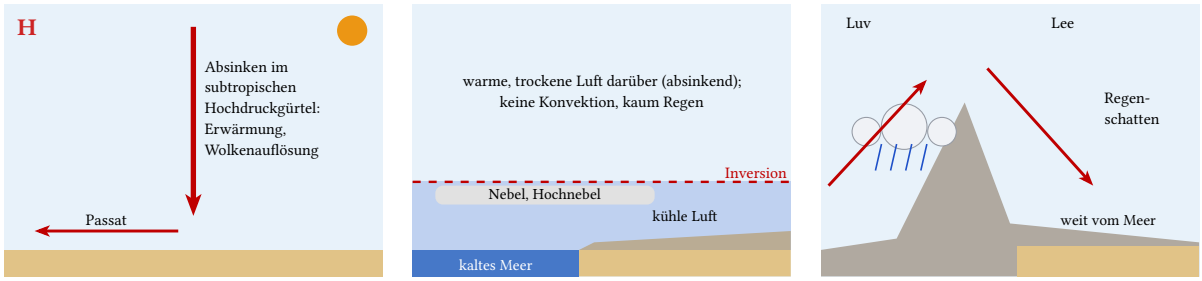


Abbildung 109: Drei Ursachen für Wüsten (schematisch): absinkende Luft unter dem Hochdruckgürtel, kaltes Meer vor der Küste („Inversion“: warme Luft liegt über kalter; „Konvektion“: Aufsteigen warmer Luft), Regenschatten hinter einem Gebirge.

3.3 Wüstenarten und ihre Formen

Nach der Oberfläche unterscheidet man vier Wüstenarten. An ihnen kann man die exogenen Prozesse aus Abschnitt 1 gut verfolgen (Abbildung 110):

- **Felswüste** (arabisch Hamada): Auf Hochflächen und an Gebirgen zerlegen Temperatur- und Salzsprengung das Gestein in Blöcke. Der Wind bläst alles Feine fort; zurück bleibt nackter Fels mit Schutt.
- **Kieswüste** (Serir oder Reg): Am Fuß der Gebirge haben Sturzfluten in den Wadis Kies und Geröll abgelagert. Der Wind hat den Sand dazwischen ausgeblasen.
- **Sandwüste** (Erg): Wo der Wind langsamer wird, lagert er den Sand ab. Es entstehen Dünenfelder mit Dünen von wenigen Metern bis weit über 100 Meter Höhe.
- **Salzpfanne** (Schott): In abflusslosen Senken sammelt sich nach Regen das Wasser. Es verdunstet, das gelöste Salz bleibt als weiße Kruste zurück.

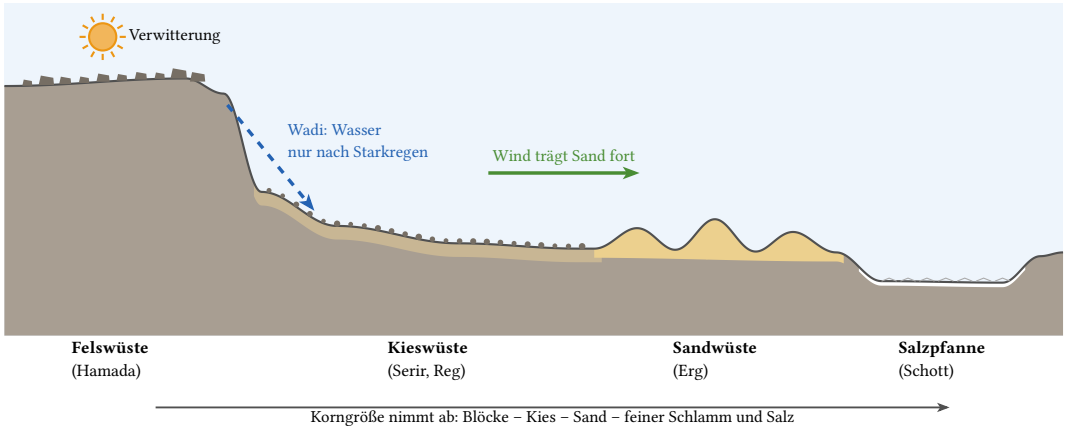


Abbildung 110: Wüstenarten in einem Profil vom Gebirge in eine Senke (schematisch). Je weiter vom Gebirge weg, desto feiner das abgelagerte Material.

3.4 Leben mit der Trockenheit

Pflanzen und Tiere der Wüste sind an den Wassermangel angepasst. Manche Pflanzen haben bis zu 20 Meter lange Wurzeln, andere speichern Wasser in dicken Blättern oder Stämmen oder haben winzige, ledrige Blätter, die wenig verdunsten. Viele Samen liegen jahrelang im Boden; nach einem Regen keimen sie, blühen und bilden in wenigen Wochen neue Samen.

Auch die Menschen haben sich angepasst. **Nomaden** ziehen mit ihren Herden aus Kamelen, Ziegen und Schafen von Weide zu Weide und von Brunnen zu Brunnen, je nachdem, wo es gerade geregnet hat. Weil sie nicht lange an einem Ort bleiben, kann sich die Weide erholen. Sesshafte Bauern leben dagegen in den Oasen.

3.5 Die Oase: Leben am Wasser

Definition

Eine **Oase** ist ein Ort in der Wüste, an dem es dauerhaft Wasser gibt, sodass Pflanzen wachsen und Menschen Ackerbau treiben können.

Woher das Wasser kommt, bestimmt die Art der Oase (Abbildung 111):

- **Flussoase:** Ein Fluss durchquert die Wüste, sein Wasser stammt aus einem regenreichen Gebiet. Man nennt ihn **Fremdlingsfluss**. Das bekannteste Beispiel ist der Nil: Sein Wasser kommt aus dem Äthiopischen Hochland und aus Ostafrika; in Ägypten ist das schmale Niltal eine einzige, über tausend Kilometer lange Flussoase.
- **Grundwasseroase:** In einer Senke liegt das Grundwasser so nah unter der Oberfläche, dass man es mit Brunnen erreicht.
- **Artesische Oase:** Eine wasserführende Gesteinsschicht liegt zwischen zwei wasserundurchlässigen Schichten. Ihr Wasser stammt aus weit entfernten Gebirgen, wo der Regen versickert. Weil das Einzugsgebiet höher liegt, steht das Wasser unter Druck und steigt in einem Brunnen oder an einer Spalte von selbst nach oben.
- **Foggara-Oase:** Am Fuß eines Gebirges wird das Grundwasser durch einen unterirdischen Stollen mit leichtem Gefälle zur Oase geleitet. Senkrechte Schächte dienten beim Bau zum Graben und zum Herausholen des Schutts. Solche Stollen heißen in Nordafrika Foggara, in Iran Qanat.

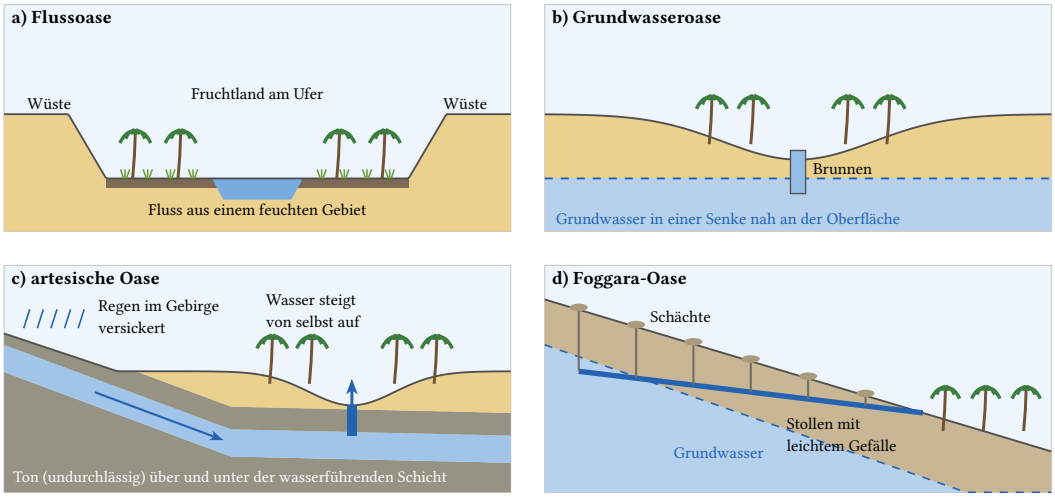


Abbildung 111: Vier Oasentypen im Querschnitt (schematisch).

Das Wasser ist in der Oase so kostbar, dass jeder Platz genutzt wird. Man baut im **Stockwerkanbau** an (Abbildung 112): Oben spenden die Dattelpalmen Schatten, darunter wachsen Obstbäume und am Boden Gemüse, Getreide und Futterpflanzen. Der Schatten senkt die Verdunstung. Über ein Netz aus Gräben wird das Wasser nach festen Regeln auf die Gärten verteilt. Ein arabisches Sprichwort sagt über die Dattelpalme, sie wolle „die Füße im Wasser und den Kopf im Feuer".

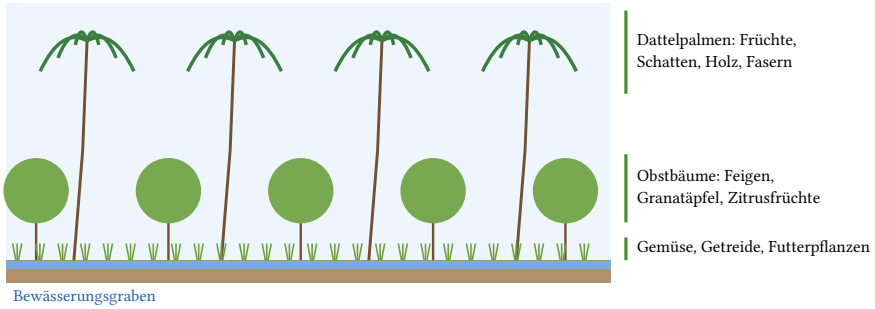


Abbildung 112: Stockwerkanbau in einem Oasengarten (schematisch).

Viele Oasen haben sich stark verändert. Mit Motorpumpen und Tiefbrunnen holt man heute viel mehr Wasser aus dem Boden als früher. Damit lassen sich neue Felder anlegen, aber der Grundwasserspiegel sinkt; alte Brunnen und Foggaras fallen trocken. Oft wird **fossiles Grundwasser** gefördert, das sich vor vielen Tausend Jahren gebildet hat, als die Sahara feuchter war. Es wird heute kaum neu gebildet und ist irgendwann aufgebraucht.

3.6 Bewässerung und Versalzung

Mit **Bewässerung** kann man auch in der Wüste Landwirtschaft treiben, sogar mit mehreren Ernten im Jahr, denn Sonne und Wärme gibt es genug. In Ägypten, Saudi-Arabien oder Libyen werden so Getreide, Gemüse, Obst und Futterpflanzen angebaut. Doch Bewässerung in Trockenräumen hat eine gefährliche Nebenwirkung: die **Versalzung**.

Jedes Fluss- oder Grundwasser enthält gelöste Salze, auch wenn man sie nicht schmeckt. Verdunstet das Wasser auf dem Feld, bleibt das Salz zurück. Wird außerdem zu viel bewässert, steigt der Grundwasserspiegel. Kommt das Grundwasser der Oberfläche nahe, steigt es im Boden wie in einem Docht nach oben und verdunstet; auf dem Boden bildet sich eine weiße Salzkruste (Abbildung 113). Auf versalzten Böden wachsen kaum noch Pflanzen.

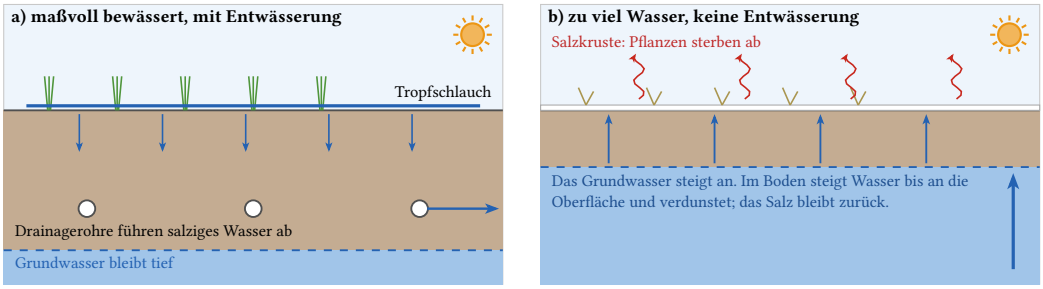


Abbildung 113: Bewässerung mit und ohne Entwässerung (schematisch). Ohne Entwässerung steigt das Grundwasser, verdunstet an der Oberfläche, und Salz reichert sich an.

Gegen Versalzung hilft:

- sparsam bewässern, etwa mit **Tropfbewässerung**, bei der das Wasser über Schläuche direkt an die Wurzeln tropft;
- eine **Entwässerung** (Drainage), die das salzhaltige Sickerwasser abführt, damit der Grundwasserspiegel nicht steigt;
- versalzte Böden mit viel Wasser durchspülen, aber nur, wenn das Wasser abfließen kann;
- salzverträgliche Pflanzen wie Dattelpalmen oder Gerste anbauen.

Beispiel 3

Der Assuan-Staudamm. Bis in die 1960er-Jahre trat der Nil jeden Spätsommer über die Ufer, bewässerte das Niltal und hinterließ fruchtbaren Schlamm. Mit dem Hochdamm bei Assuan, der 1970 fertig wurde, staute Ägypten den Nil zum rund 500 km langen Nassersee. Seitdem gibt es keine verheerenden Hochwasser und keine Dürrejahre mehr, die Felder können das ganze Jahr bewässert werden, und das Kraftwerk liefert Strom. Doch der Schlamm bleibt im Stausee liegen: Die Bauern müssen Kunstdünger kaufen, und das Nildelta wird vom Meer angegriffen, weil kein Nachschub an Sand und Schlamm mehr kommt. Weil ganzjährig bewässert wird und das Hochwasser die Böden nicht mehr durchspült, sind viele Felder versalzt.

3.7 Savanne und Desertifikation im Sahel

Südlich der Sahara liegt ein mehrere Hundert Kilometer breiter Streifen, der vom Atlantik bis zum Roten Meer reicht: der **Sahel** (arabisch für „Ufer“, gemeint ist das Ufer der Wüste). Hier geht die Wüste in die **Savanne** über. Weiter nach Süden wird die Regenzeit immer länger, die Vegetation immer dichter (G5):

- **Dornsavanne:** 2 bis 4½ humide Monate; Gras und dornige Büsche, vereinzelt Bäume wie Akazien.
- **Trockensavanne:** 4½ bis 7 humide Monate; hohes Gras, mehr Bäume, darunter der Affenbrotbaum.
- **Feuchtsavanne:** 7 bis 9½ humide Monate; bis zu mehrere Meter hohes Gras, Wälder an den Flüssen.

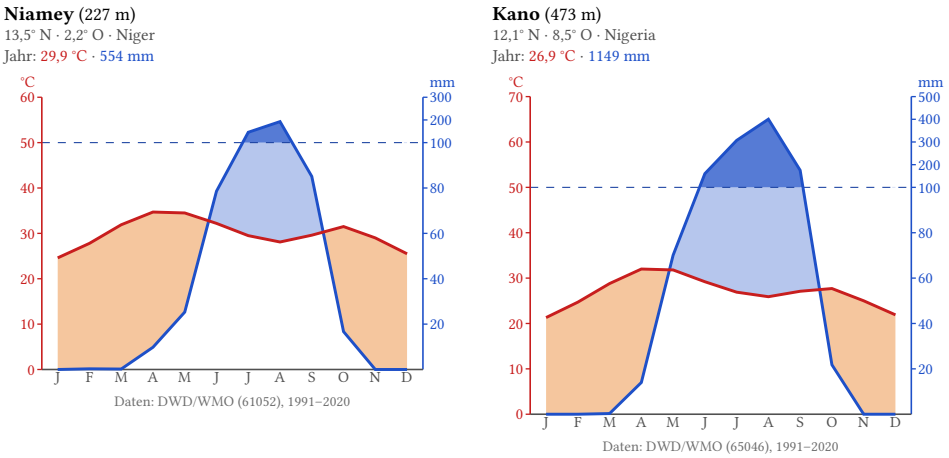


Abbildung 114: Niamey in Niger (13,5° N) liegt im Sahel: 554 mm, 4 humide Monate, Dornsavanne. Kano in Nigeria (12° N) liegt etwas weiter im Süden: 1149 mm, 5 humide Monate, Trockensavanne.

Im Sahel fallen etwa 150 bis 600 mm Niederschlag im Jahr, alles in einer kurzen Regenzeit im Sommer, wenn die ITC nach Norden kommt. Wie viel Regen fällt, schwankt aber stark von Jahr zu Jahr: Auf feuchte Jahre folgen Dürren. Schwere Dürren wie 1968 bis 1973 und 1983/84 haben viele Menschenleben und Millionen Tiere gekostet.

Die Menschen im Sahel leben vor allem vom Regenfeldbau (Hirse, Sorghum, Erdnüsse), der ohne künstliche Bewässerung auskommt, und von der Viehhaltung. Seit Jahrzehnten wächst die Bevölkerung schnell. Wo der Boden zu stark beansprucht wird, verliert er seine Fruchtbarkeit: Es kommt zur Desertifikation.

Definition

Desertifikation ist die Verschlechterung von Böden und Vegetation in Trockengebieten durch Klimaschwankungen und menschliche Tätigkeiten (nach der UN-Konvention zur Bekämpfung der Wüstenbildung, 1994). Fruchtbares Land wird dabei zu wüstenähnlichem Land.

Die Ursachen greifen ineinander (Abbildung 115): Mehr Menschen brauchen mehr Nahrung und mehr Brennholz. Felder werden auch in trockeneren Gebieten angelegt, die Brache wird verkürzt, die Herden werden größer und weiden um neue Brunnen alles kahl, Bäume und Büsche werden als Brennholz gefällt. Ohne Pflanzendecke heizt sich der Boden auf, der Regen verschlämmt ihn zu einer harten Kruste, das Wasser fließt oberflächlich ab und nimmt Boden mit. In der Trockenzeit bläst der Wind den feinen Boden fort. Kommt dann eine Dürre, bricht alles zusammen.

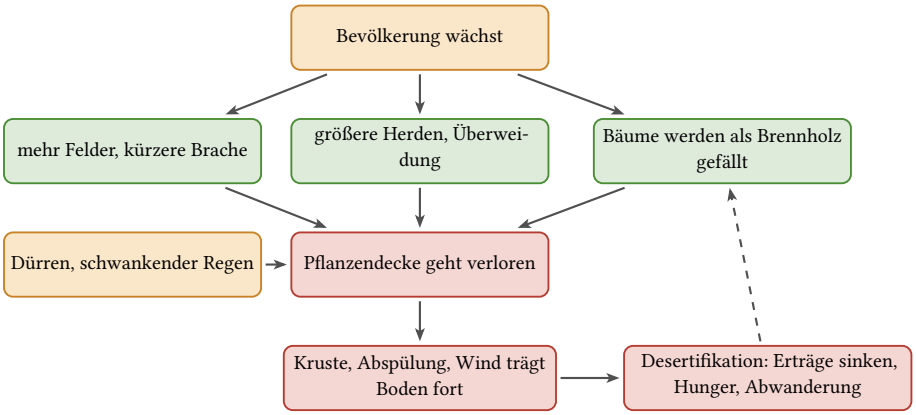


Abbildung 115: Wirkungsgefüge der Desertifikation im Sahel (vereinfacht). Gestrichelt: Die Not verstärkt die Übernutzung weiter.

Typischer Fehler

Falsch: Die Sahara wandert jedes Jahr ein Stück nach Süden und begräbt das Land unter Sand.

Richtig: Desertifikation entsteht vor Ort: Der Boden wird durch Übernutzung und Dürren schlechter. Die Grenze der Wüste schwankt mit dem Regen von Jahr zu Jahr vor und zurück.

Gegen die Desertifikation gibt es einfache und wirksame Mittel (Abbildung 116):

- **Steinwälle** entlang der Höhenlinien bremsen das abfließende Regenwasser; es versickert, und hinter den Wällen sammelt sich fruchtbarer Boden.
- **Pflanzgruben** (Zaï): In kleine Gruben kommen Dung oder Kompost und Saatgut; sie fangen das Regenwasser auf.

- **Bäume schützen und nachwachsen lassen:** In Niger lassen Bauern auf ihren Feldern Bäume aus alten Wurzelstöcken wieder austreiben. Die Bäume spenden Schatten, bremsen den Wind, liefern Laub als Futter und Dünger und Holz. Auf Millionen Hektar ist so wieder mehr Grün entstanden.
- **Herden an die Weide anpassen,** Brunnen nur in größeren Abständen anlegen, sparsame Kochherde, die weniger Brennholz brauchen.
- Die **Große Grüne Mauer:** Afrikanische Staaten wollen quer durch den Sahel einen Gürtel aus Bäumen, Weiden und Feldern anlegen.

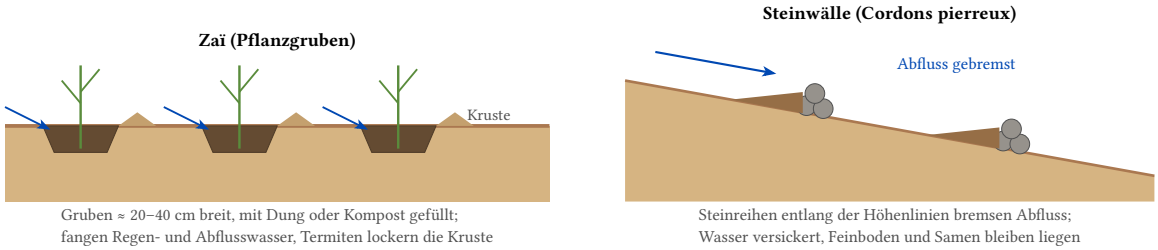


Abbildung 116: Zwei einfache Verfahren gegen Desertifikation (schematischer Querschnitt): Pflanzgruben (Zaï) und Steinwälle entlang der Höhenlinien.

Fachbegriffe: Wüste · Oase · Bewässerung · Versalzung · Savanne · Desertifikation

Üben: **noctua** ↗ Ausprobieren: **Planetarische Zirkulation** ↗ · **Klimadiagramm-Baukasten** ↗

4 Polarräume: Natur und Nutzung

G8 · Kl. 7/8 G9 · Kl. 7/8

Longyearbyen auf Spitzbergen ist eine der nördlichsten Städte der Welt. Von Ende Oktober bis Mitte Februar geht hier die Sonne nicht auf, im Sommer geht sie monatelang nicht unter. Wer die Stadt verlässt, muss wegen der Eisbären ein Gewehr mitnehmen. Trotzdem leben dort Menschen, arbeiten in Forschung, Tourismus und Verwaltung, gehen zur Schule und in den Supermarkt.

4.1 Arktis und Antarktis

Die Polarräume liegen jenseits der Polarkreise, wo es Polartag und Polarnacht gibt (G5). Die Sonne steht dort auch im Sommer tief, ihre Strahlen treffen flach auf. Dazu kommt: Schnee und Eis werfen einen großen Teil des Sonnenlichts zurück, frischer Schnee bis zu 90 %. So bleibt es kalt.

Die beiden Polarräume sind sehr verschieden (Abbildung 117):

- Die **Arktis** um den Nordpol ist ein Meer, das Nordpolarmeer, das von den Kontinenten Nordamerika, Europa und Asien und von Grönland umgeben ist. Es ist größtenteils von **Meereis** bedeckt, gefrorenem Meerwasser, das meist nur wenige Meter dick ist und im Sommer zum Teil schmilzt. Zur Arktis zählen auch die Nordränder der Kontinente mit Tundra und Grönland mit seinem Inlandeis.
- Die **Antarktis** um den Südpol ist ein Kontinent, rund 14 Millionen km² groß, fast vierzigmal so groß wie Deutschland. Er ist fast ganz von **Inlandeis** bedeckt, einem Eisschild, der im Mittel rund 2 km und an der dicksten Stelle knapp 5 km dick ist. Im Inlandeis der Antarktis ist rund 60 % des Süßwassers der Erde gespeichert. Der Kälterekord der Erde wurde hier gemessen: −89,2 °C an der Station Wostok am 21. Juli 1983.

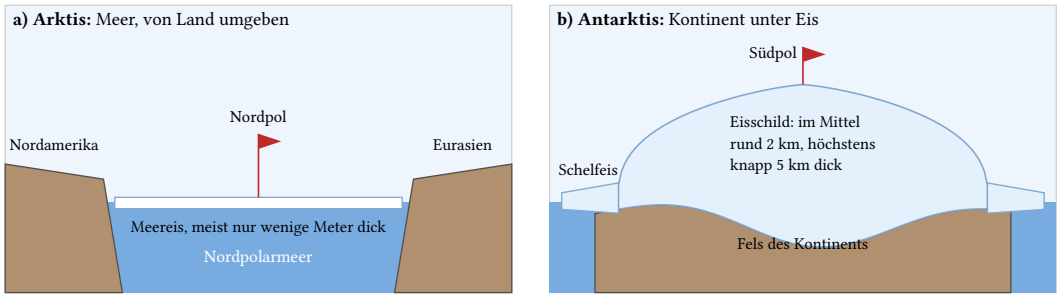


Abbildung 117: Arktis und Antarktis im Querschnitt (schematisch, Höhen stark überhöht).

Weil die Antarktis ein hoher, vereister Kontinent ist und vom Meer abgeschnitten, ist sie viel kälter als die Arktis. Auf dem Inlandeis wächst nichts; es ist eine **Kältewüste**, in der im Jahr kaum Schnee fällt. In der Arktis dagegen gibt es an den Rändern der Kontinente Pflanzen, Tiere und Menschen.

Typischer Fehler

Falsch: Am Nordpol steht man auf einem Kontinent aus Eis wie am Südpol.

Richtig: Am Nordpol schwimmt Meereis auf dem Nordpolarmeer; darunter ist Wasser. Nur die Antarktis ist ein Kontinent.

Deshalb gibt es am Nordpol keine Forschungsstation auf festem Grund, wohl aber am Südpol.

4.2 Tundra und borealer Nadelwald

Vom Pol nach Süden folgen auf der Nordhalbkugel drei Vegetationszonen aufeinander (Abbildung 118):

- **polare Eiswüste:** Auch der wärmste Monat bleibt unter 0 °C. Eis und Schnee tauen nie ganz, es wachsen höchstens Flechten auf Felsen.
- **Tundra:** Der wärmste Monat erreicht 0 bis 10 °C. Die Vegetationszeit dauert nur zwei bis drei Monate. Für Bäume reicht das nicht; es wachsen Moose, Flechten, Gräser und Zwergsträucher wie Zwergbirke und Heidelbeere. Die Grenze, jenseits derer keine Bäume mehr wachsen, heißt **Baumgrenze**.
- **borealer Nadelwald** (Taiga): Mindestens ein Monat ist im Mittel wärmer als 10 °C. Hier wachsen Fichten, Kiefern, Lärchen und Birken, im Osten Sibiriens fast nur Lärchen, die im Winter ihre Nadeln abwerfen. Der boreale Nadelwald ist die größte Waldzone der Erde; er zieht sich als breiter Gürtel durch Skandinavien, Russland, Alaska und Kanada.

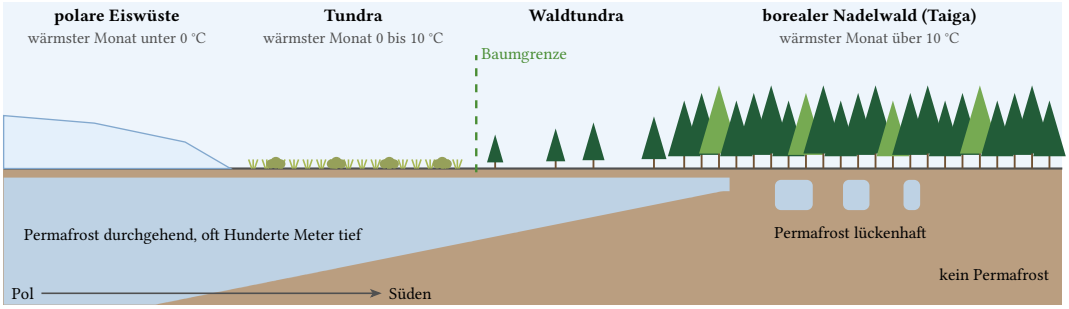


Abbildung 118: Profil durch die kalte Zone der Nordhalbkugel vom Pol nach Süden (schematisch).

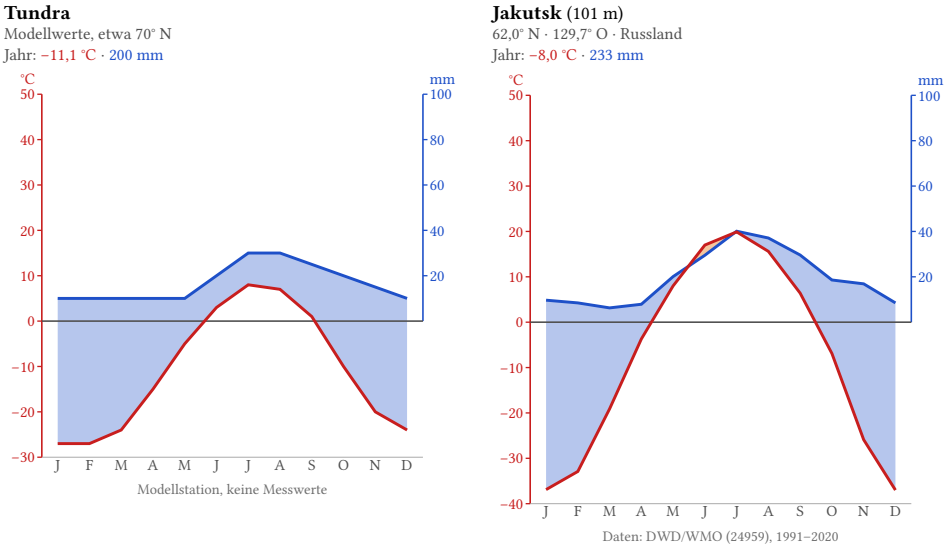


Abbildung 119: Links eine Tundra-Station (Modell, keine Messwerte): Juli 8 °C, also unter 10 °C. Rechts Jakutsk in Sibirien (62° N): Juli 19,9 °C, borealer Nadelwald; Jahresschwankung fast 57 K.

Im borealen Nadelwald läuft der Mineralstoffkreislauf genau umgekehrt wie im Regenwald: In der Kälte zersetzen die Bodenlebewesen die Nadeln nur sehr langsam. Es sammelt sich eine dicke Schicht aus halb zersetzter Streu an, der **Rohhumus**. Die Mineralstoffe stecken dort fest, der Boden darunter ist sauer und nährstoffarm. Auch hier ist die Bodenfruchtbarkeit gering, aber aus dem entgegengesetzten Grund.

4.3 Permafrost

In weiten Teilen der Tundra und des borealen Nadelwalds taut der Boden auch im Sommer nur oberflächlich auf. Darunter ist er dauerhaft gefroren.

Definition

Permafrost (Dauerfrostboden) ist Boden oder Gestein, das mindestens zwei Jahre ohne Unterbrechung gefroren bleibt. Über dem Permafrost taut im Sommer eine Schicht von einigen Dezimetern bis wenigen Metern auf, der **Auftauboden**.

Permafrost gibt es auf etwa einem Viertel der Landfläche der Nordhalbkugel. In Sibirien reicht er stellenweise über tausend Meter tief; er ist in der Kälte der Eiszeiten entstanden. Er hat große Folgen für Natur und Menschen (Abbildung 120):

- **Staunässe:** Das Schmelzwasser kann nicht in den gefrorenen Untergrund versickern. Obwohl es wenig regnet, ist die Tundra im Sommer voller Sümpfe, Seen und Mücken.
- **Bodenfließen:** Der aufgetaute, wassergetränkte Auftauboden gleitet an Hängen langsam auf dem gefrorenen Untergrund hinab, ein exogener Prozess, den es nur in Kältegebieten gibt.
- **Bauen:** Ein beheiztes Haus, das direkt auf dem Boden steht, taut den Permafrost unter sich auf; es sinkt ein und bekommt Risse. Darum stehen Häuser in Permafrostgebieten auf Pfählen, unter denen die kalte Luft durchstreichen kann. Rohrleitungen werden auf Stelzen verlegt.

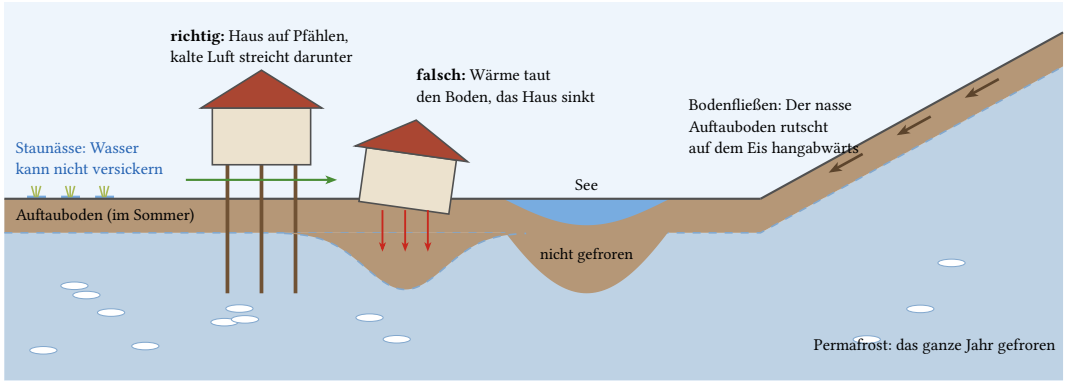


Abbildung 120: Permafrost im Querschnitt (schematisch): Auftauboden, Staunässe, Bodenfließen am Hang, richtig und falsch gebaute Häuser und ein See, unter dem der Boden nicht gefroren ist.

Mit dem Klimawandel taut der Permafrost an vielen Orten auf. Häuser, Straßen und Leitungen werden beschädigt, und aus dem aufgetauten Boden entweichen Treibhausgase (G7).

4.4 Menschen in der Arktis

Die **Inuit** leben seit Jahrhunderten im Norden Kanadas, in Alaska und in Grönland. Früher lebten sie fast ganz von dem, was Meer und Tundra boten: Sie jagten Robben, Wale, Walrosse und Karibus und fischten. Aus Fellen nähten sie Kleidung, aus Knochen und Treibholz bauten sie Schlitten und Kajaks. Im Winter zogen sie über das Meereis zur Jagd, und unterwegs bauten sie aus Schneeblöcken Iglus als Unterkunft. Im Norden Europas und Asiens leben Völker wie die Samen und die Nenzen traditionell von der Rentierhaltung und ziehen mit ihren Herden zwischen Winter- und Sommerweiden.

Heute leben die meisten Inuit in festen Siedlungen mit Schule, Krankenstation und Supermarkt. Sie fahren Motorschlitten und Motorboote, arbeiten in Verwaltung, Bergbau oder Tourismus und haben Internet. Lebensmittel müssen per Schiff oder Flugzeug gebracht werden und sind sehr teuer; die Jagd ist deshalb noch immer wichtig, auch für die eigene Kultur. Seit 1999 haben die Inuit in Kanada ein eigenes Territorium, Nunavut, das sie weitgehend selbst verwalten. Der Wandel bringt auch Probleme: Arbeitslosigkeit, der Verlust alter Fertigkeiten und der Sprache, und das Meereis, auf dem gejagt wird, wird durch den Klimawandel unsicher.

4.5 Rohstoffe und Verkehr

Unter der Arktis lagern große Rohstoffvorkommen. Nach einer Schätzung des Geologischen Dienstes der USA (2008) liegen dort etwa 13 % des noch unentdeckten Erdöls und 30 % des noch unentdeckten Erdgases der Welt. In Alaska und in Westsibirien wird seit Jahrzehnten Erdöl und Erdgas gefördert, in Nordsibirien werden Nickel und andere Metalle abgebaut, auf Grönland werden Lagerstätten erkundet. Weil das Meereis schrumpft, werden außerdem Schiffswege entlang der Nordküste Russlands und Kanadas länger im Jahr befahrbar; der Seeweg von Europa nach Ostasien wird dadurch viel kürzer.

Die Förderung ist schwierig und teuer: Kälte, Dunkelheit, Eis, Stürme und der Permafrost machen jeden Bau aufwendig. Und sie ist riskant. Die Natur der Polarräume ist sehr empfindlich: Pflanzen wachsen langsam, eine Fahrspur in der Tundra ist noch nach Jahrzehnten zu sehen. Öl, das bei einem Unfall ins kalte Meer gelangt, wird viel langsamer abgebaut als in warmem Wasser, und in Eis und Dunkelheit ist es kaum zu bekämpfen.

4.6 Tourismus und Schutz

Immer mehr Menschen wollen die Polarräume sehen: Kreuzfahrtschiffe fahren nach Spitzbergen, Grönland und in die Antarktis. Die Antarktis besuchten in der Saison 2023/24 über 100 000 Menschen. Tourismus bringt Geld und kann Menschen für den Schutz der Polarräume begeistern. Er bringt aber auch Abgase, Lärm, Abfall und das Risiko, fremde Pflanzensamen oder Krankheiten einzuschleppen. Die Reiseveranstalter in der Antarktis haben sich deshalb strenge Regeln gegeben: An einer Landestelle dürfen höchstens 100 Menschen gleichzeitig an Land, von großen Schiffen mit mehr als 500 Passagieren darf niemand an Land gehen, und zu Tieren muss man Abstand halten.

Die Antarktis ist durch einen internationalen Vertrag besonders geschützt. Der **Antarktisvertrag** von 1959 bestimmt, dass sie nur friedlich und für die Forschung genutzt werden darf; Ansprüche einzelner Staaten ruhen. Ein

Umweltschutzprotokoll von 1991 verbietet den Abbau von Rohstoffen. Deutschland betreibt dort Forschungsstationen, etwa die Neumayer-Station III.

Für die Arktis gibt es keinen solchen Vertrag. Sie gehört zu großen Teilen zu den Anrainerstaaten, und die wollen ihre Rohstoffe nutzen. Es gibt aber Schutzgebiete, zum Beispiel den Nationalpark Nordostgrönland, den größten Nationalpark der Erde, und im Arktischen Rat beraten die Anrainerstaaten gemeinsam mit den Vertretern der indigenen Völker über Umweltschutz.

Merksatz

Polarräume sind besonders empfindlich: Kälte, kurze Vegetationszeit und Permafrost lassen die Natur nur langsam wachsen und sich nur langsam erholen. Die Antarktis ist durch den Antarktisvertrag geschützt, in der Arktis stehen Rohstoffnutzung und Schutz im Konflikt.

Fachbegriffe: Arktis · Antarktis · Meereis · Inlandeis · Tundra · borealer Nadelwald · Permafrost

Üben: **noctua** ↗ Ausprobieren: **Gletscher und Massenbilanz** ↗ · **climæ** ↗

5 Nachhaltige Nutzung im Vergleich

G8 · Kl. 7/8 G9 · Kl. 7/8

Hans Carl von Carlowitz, Oberberghauptmann in Sachsen, stand vor über 300 Jahren vor einem Problem: Für die Bergwerke und Schmelzöfen im Erzgebirge wurde so viel Holz geschlagen, dass die Wälder verschwanden. Carlowitz schrieb 1713, man dürfe nur so viel Holz schlagen, wie nachwächst, damit der Wald „eine continuirliche beständige und nachhaltende Nutzung“ erlaube. Daher stammt das Wort **Nachhaltigkeit**.

5.1 Was heißt nachhaltig?

Heute versteht man unter Nachhaltigkeit mehr als eine kluge Forstwirtschaft. Eine bekannte Formulierung stammt aus dem Brundtland-Bericht der Vereinten Nationen von 1987: Eine nachhaltige Entwicklung befriedigt die Bedürfnisse der heutigen Generation, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen.

Definition

Eine **nachhaltige Nutzung** eines Raums erhält seine natürlichen Grundlagen (Boden, Wasser, Pflanzen, Tiere) auf Dauer, ermöglicht den Menschen dort ein Auskommen und ist gerecht, auch gegenüber den Menschen, die nach uns leben. Ökologische, ökonomische und soziale Ziele müssen gleichzeitig erfüllt sein.



Abbildung 121: Das Nachhaltigkeitsdreieck: Eine Nutzung ist erst nachhaltig, wenn sie alle drei Ziele zugleich erfüllt.

Die drei Ziele stehen oft im Konflikt. Eine Ölpalmplantage bringt viel Geld (ökonomisch), zerstört aber den Regenwald (ökologisch) und vertreibt vielleicht Kleinbauern (sozial). Ein strenges Schutzgebiet schützt den Wald, nimmt aber den Menschen, die darin leben, ihre Lebensgrundlage, wenn sie nicht beteiligt werden. Nachhaltige Lösungen suchen einen Ausgleich.

5.2 Ein gemeinsames Muster in drei Zonen

Tropen, Trockenräume und Polarräume sind sehr verschieden, aber an ihnen zeigt sich dasselbe Muster. In jedem dieser Räume gibt es einen Faktor, der knapp ist und die Nutzung begrenzt: im Regenwald die Nährstoffe im Boden, in der Wüste das Wasser, im Polarraum die Wärme. Die Menschen, die dort seit Langem leben, haben Nutzungsformen entwickelt, die mit diesem Mangel umgehen. Moderne, großflächige Nutzung überschreitet die Grenzen oft, und dann wird der Raum geschädigt.

	tropischer Regenwald	Trockenraum	Polarraum
knapper Faktor	Nährstoffe im Boden	Wasser	Wärme, Vegetationszeit
angepasste Nutzung	Wanderfeldbau mit langer Brache, Sammelwirtschaft	Nomaden, Oasen mit Stockwerkanbau und Wasserrecht	Jagd und Fischfang der Inuit, Rentierhaltung
Übernutzung	großflächige Rodung für Weiden, Soja, Plantagen	zu viele Brunnen, Überweidung, Bewässerung ohne Entwässerung	Rohstoffabbau, Verschmutzung, Massentourismus
Folgen	Bodenabtrag, Nährstoffverlust, Artenverlust, CO_2	sinkendes Grundwasser, Versalzung, Desertifikation	Schäden an Tundra und Meer, die sich kaum erholen
nachhaltige Wege	Agroforstwirtschaft, Schutzgebiete, zertifiziertes Holz	Tropfbewässerung, Steinwälle, Bäume schützen, Herden anpassen	Antarktisvertrag, Schutzgebiete, Regeln für den Tourismus

Tabelle 28: Natur, Nutzung und Nachhaltigkeit in den drei Zonen im Vergleich.

Man kann das mit dem Begriff der **Tragfähigkeit** beschreiben: Ein Raum kann auf Dauer nur eine bestimmte Zahl von Menschen und Tieren ernähren, wenn die Nutzungsweise gleich bleibt. Wird diese Grenze überschritten, sinkt die Tragfähigkeit sogar, weil Boden, Wasser und Vegetation geschädigt werden. Mit angepassten Techniken, etwa Tropfbewässerung oder Agroforstwirtschaft, kann man die Tragfähigkeit erhöhen, ohne den Raum zu zerstören.

5.3 Die Vorteile nachhaltiger Nutzung

Nachhaltige Nutzung ist kurzfristig oft weniger ertragreich als die rücksichtslose Ausbeutung. Auf lange Sicht hat sie aber große Vorteile:

- **Dauerhafte Erträge:** Ein Agroforst trägt Jahrzehnte, ein ausgelaugter Weideboden nach Rodung nur wenige Jahre. Ein versalzter Acker ist für immer verloren.
- **Sicherheit:** Wer verschiedene Produkte erntet, ist weniger abhängig von einer Missernte oder vom Weltmarktpreis eines einzigen Produkts.
- **Lebensgrundlage und Heimat:** Menschen müssen nicht abwandern, ihre Kultur bleibt erhalten.
- **Natur und Klima:** Wälder speichern Kohlenstoff, Artenvielfalt bleibt erhalten, Wasser- und Nährstoffkreisläufe funktionieren weiter.
- **Weniger Konflikte:** Wo Wasser, Weide und Land für alle reichen, gibt es weniger Streit darum.

So beurteilst du eine Nutzung

a) **Beschreiben:** Wo wird wie genutzt? Wer sind die Beteiligten (Bauern, Unternehmen, Staat, Umweltschützer, Verbraucher)?
b) **Prüfen:** Welche Folgen hat die Nutzung ökologisch, ökonomisch und sozial, heute und in 20 Jahren?
c) **Abwägen:** Welche Ziele stehen im Konflikt? Wer gewinnt, wer verliert?
d) **Urteilen:** Ist die Nutzung nachhaltig? Begründe dein Urteil und nenne, was man verbessern könnte.

5.4 Was wir hier tun können

Viele Eingriffe in die drei Räume geschehen, weil wir hier Waren kaufen, die dort erzeugt werden. Jeder kann etwas beitragen: weniger Fleisch essen (für Futtersoja wird Regenwald gerodet), auf die Herkunft von Palmöl, Holz, Kakao und Kaffee achten, Papier sparen und Recyclingpapier nehmen, Energie sparen (der Klimawandel trifft die Polarräume besonders stark, G7). Siegel wie FSC für Holz oder Fairtrade für Kakao helfen bei der Auswahl, auch wenn kein Siegel alle Probleme löst.

Beispiel 4

Ein Urteil bilden: Palmöl im Brotaufstrich. Ölpalmen liefern auf derselben Fläche viel mehr Öl als Raps, Soja oder Sonnenblumen. Ein Verzicht auf Palmöl würde also mehr Fläche für andere Ölpflanzen verbrauchen. Das Problem ist nicht die Ölpalme selbst, sondern dass für neue Plantagen Regenwald gerodet wurde. Ein begründetes Urteil könnte lauten: Palmöl ist vertretbar, wenn es von Flächen stammt, die nicht durch neue Rodung entstanden sind, und wenn die Arbeiter fair bezahlt werden; sparsamer Verbrauch ist trotzdem sinnvoll.

Fachbegriffe: Nachhaltigkeit · nachhaltige Nutzung · Tragfähigkeit

Üben: **noctua** ↗ Ausprobieren: **terræ** ↗

