

Klimasystem

Begriff **Wetter**

Wetter beschreibt den Zustand der Atmosphäre und die damit verbundenen Prozesse zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort.¹

Begriff **Witterung**

Witterung beschreibt eine während etwa drei bis fünf Tagen beobachtete Periode mit ähnlichem Wettercharakter oder mit einer typischen Wetterabfolge.² Oft wird dafür auch der Begriff Wetterlage gebraucht. Typische Beispiele sind Föhn- oder Bisenlage.

Begriff **Klima**

Klima beschreibt zusammenfassend (z.B. als Summe oder Durchschnitt) die meteorologischen Zustände und Prozesse in einem bestimmten Gebiet während einer längeren Zeit.³ Dabei gilt eine (Mess-)Periode von 30 Jahren als Standard.⁴ Das Klima wird v.a. mit den Klimaelementen Strahlung, Temperatur, Luftdruck, Wind, Luftfeuchtigkeit, Verdunstung, Niederschlag und Bewölkung beschrieben.⁵

Natürliches Klimasystem der Erde

Das natürliche Klimasystem der Erde besteht aus mehreren **Teilsystemen (Sphären)** und wird in folgende Teilsysteme unterteilt:

Atmosphäre (Luft),

Hydrosphäre (Wasser),

Kryosphäre (Eis),

Pedosphäre (Boden)

Lithosphäre (Gestein)

und Biosphäre (Pflanzen & Tiere).⁶

Die einzelnen Teilsysteme sind durch Stoff- und Energieflüsse (z.B. Wasser- und Kohlenstoffkreislauf) eng miteinander verbunden und reagieren mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten auf Veränderungen.

An der Erdoberfläche und in der Atmosphäre finden physikalische Vorgänge statt wie Einstrahlung und Abstrahlung (Reflexion bzw. Streuung) von Sonnenlicht (vgl. Abb. 1; 1, 2), Umwandlung in Wärmestrahlung (3, 4), Aufnahme und Streuung von Sonnenstrahlung von bzw. an Luftteilchen und Gasen, die Wirkung von Treibhausgasen (6), Windströmungen (7) und Verdunstung (8).

¹ Wanner, 2016, S. 21; Brönnimann, 2018, S. 18

² Spandau & Wilde, 2008, S. 4; Wanner, 2016, S. 20

³ Wanner, 2016, S. 21

⁴ Brönnimann, 2018, S. 18

⁵ Hasler, 2016, S. 62

⁶ Brönnimann, 2018, S. 23

Atmosphäre, Hydrosphäre und Kryosphäre sind verbunden durch Niederschlag und Verdunstung auf und über Wasser- und Eisflächen (7, 9). Abfluss und Meeresströmungen (11, 12) finden innerhalb des Teilsystems Hydrosphäre statt. Die Atmosphäre und die Biosphäre (auf Land und im Wasser – terrestrisch und aquatisch, 16-21) sind durch Atmung bzw. Photosynthese – den Austausch von Kohlenstoff und Sauerstoff – miteinander verbunden. Zudem wird Kohlenstoff auch mit der Pedo- und Lithosphäre ausgetauscht (23-26). Innerhalb der Teilsysteme bzw. in Verbindung mehrerer Teilsysteme gibt es viele weitere Prozesse wie Grundwasserbildung (11) oder Verschiebungen der Erdplatten und Gebirgsbildung (24, 25). Schliesslich gibt es auch seltene Einflüsse vom Weltall wie Meteoriteneinschläge (27).

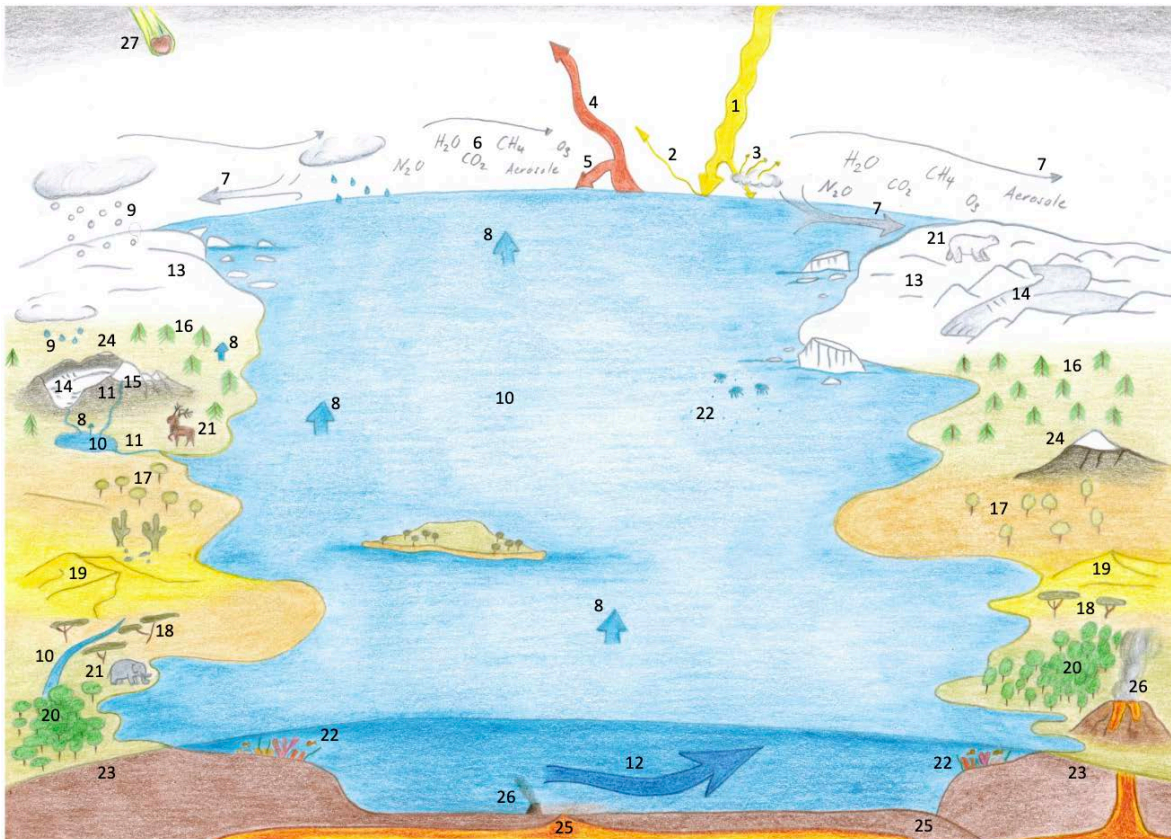
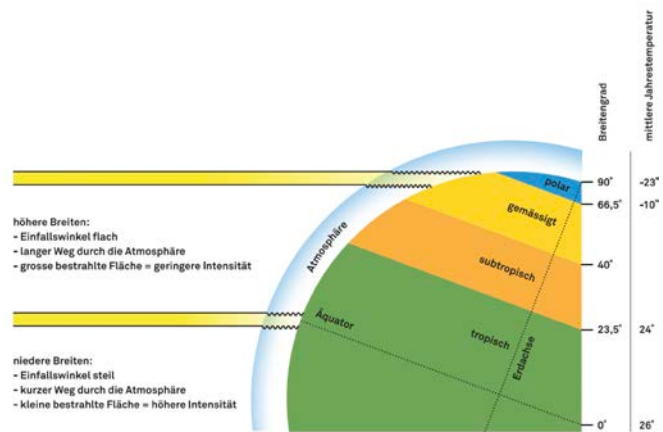


Abb. 1 Natürliches Klimasystem der Erde mit Elementen der Teilsysteme (Sphären).
Eigene Darstellung Projekt CCESO II. Zeichnung: Michelle Walz

Atmosphäre 1. Eintreffende kurzwellige Sonnen-Strahlung 2. Reflektierte kurzwellige Sonnen-Strahlung 3. Gestreute kurzwellige Sonnen-Strahlung 4. Langwellige (Wärme)-Strahlung (Emission) 5. Langwellige Gegenstrahlung 6. Treibhausgase* 7. Wind 8. Verdunstung Hydrosphäre und Kryosphäre 9. Niederschlag (Regen, Schnee) 10. See/Fluss/Meer/Ozean 11. Abfluss, Grundwasser 12. Meeresströmung 13. Eisregion 14. Gletscher 15. Permafrost *Wichtigste Treibhausgase: Wasserdampf H ₂ O, Kohlenstoffdioxid, CO ₂ , Methan CH ₄ , Lachgas/Distickstoffoxid N ₂ O, O ₃ -> Ozon	Biosphäre 16. Nadelwald 17. Laub- und Mischwälder 18. Steppe 19. Wüste 20. Regenwald 21. Fauna 22. Küstenzone (inkl. Biosphäre im Wasser) Pedosphäre 23. Boden Lithosphäre 24. Gebirge 25. Plattentektonik (divergierende/ konvergierende Platten und Gebirgsbildung) 26. Vulkane Exosphäre, interplanetarer Raum 27. Meteoriteneinschlag
--	--

Natürliche und anthropogene Antriebe des Klimasystems

Die grundlegenden Prozesse im natürlichen Klimasystem werden von der Sonne angetrieben. In der Nähe der Pole ist der Einfallswinkel der Sonneneinstrahlung flacher und der Weg durch die Atmosphäre länger (Abb. 2). Weniger Sonnenstrahlung trifft hier auf die Erdoberfläche und die Temperaturen sind daher eher tief. In Äquatornähe dagegen ist der Einfallswinkel steiler und der Weg durch die Atmosphäre kürzer. Mehr Sonnenstrahlung kommt auf der Erdoberfläche an und sorgt für mehr Wärme.⁷ Aufgrund der natürlichen Bewegungen der Erde (Rotation, Drehung um die Sonne, leichte Taumelbewegung der Erdachse), der Erdbahnschwankungen und der schiefen Erdachse ergeben sich je nach Lage auf der Erde unterschiedliche Strahlungsintensitäten und Temperaturverhältnisse.



Weitere natürliche Einflüsse des Klimasystems sind Vulkanausbrüche, die Sonnenaktivität und die natürlich vorhandenen Treibhausgase. Anthropogene, also durch den Menschen erzeugte Antriebsfaktoren sind Treibhausgase (siehe Faktenblatt 2), Aerosole und Landnutzungsänderungen.⁸ Alle diese Antriebsfaktoren haben Einfluss auf das Klimasystem. Jedes Teilsystem und auch die Wechselwirkungen zwischen ihnen werden dabei beeinflusst.⁹

Anthropogen: Als anthropogen wird etwas bezeichnet, das vom Menschen verursacht oder beeinflusst wird.

Im Text wird oft zwischen natürlichen und anthropogenen Faktoren, Einflüssen, Antrieben u.a. unterschieden.

Aerosol: Feste oder flüssige, in der Atmosphäre schwebende Partikel, z.B. Russpartikel, Asche, (Sahara-)Staub.

Austausch von Energie und Wärme in Atmosphäre und Ozeanen

Das Klimasystem versucht permanent, die Temperaturunterschiede zwischen den Polen und dem Äquatorgebiet auszugleichen. Dieser polwärts gerichtete Wärme- und damit Energietransport geschieht zu je etwa der Hälfte in der Atmosphäre und in den Ozeanen. Der Temperaturexchange in der Atmosphäre (z.B. über Windsysteme) geschieht schneller als in den Ozeanen (z.B. über Meeresströmungen). Die Ozeane speichern die Wärme daher länger. Die Ozeane sind damit riesige Wärmespeicher, die Wärmeschwankungen verzögert wieder an die Atmosphäre abgeben können.¹⁰

Austausch in der Atmosphäre

Der globale Austauschprozess von Luftmassen in der Atmosphäre wird als **Allgemeine Zirkulation der Atmosphäre (AZA)** bezeichnet. Auf der Nord- und Südhalbkugel bestehen grossräumige Windströmungen.¹¹

⁷ Spandau & Wilde, 2008, S. 28

⁸ Wanner, 2016, S. 25, 59 & 164

⁹ Wanner, 2016, S. 59

¹⁰ Wanner, 2016, S. 25f; Brönnimann, 2018, S. 204f

¹¹ Wanner, 2016, S. 31

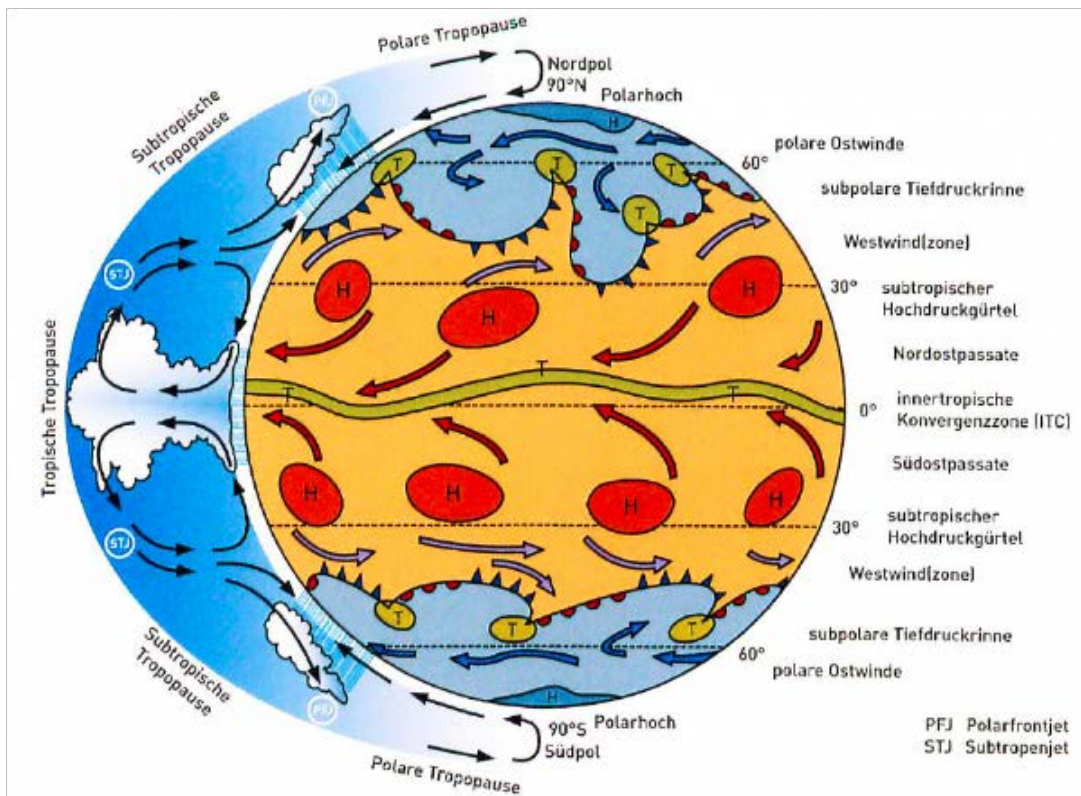


Abb. 3 Die Allgemeine Zirkulation (aus Hasler 2016, hep Verlag)

Am Äquator steigt die infolge hoher Sonneneinstrahlung erwärmte Luft nach oben, kühlt sich ab und erzeugt am Boden einen Tiefdruckgürtel. Diesen nennt man die **inner-tropische Konvergenzzone (ITC)**. Mit zunehmender Höhe kühlt die Luft ab und strömt in der Nähe der Tropopause von der ITC weg in Richtung Norden und Süden.

Tropopause

Grenzschicht zwischen der Troposphäre und der Stratosphäre. Die Tropopause liegt – abhängig von der geographischen Breite – in einer Höhe von 8km (polnah) und 16km (äquatornah) in der Atmosphäre. Sie ist durch eine deutliche Änderung im Temperaturverlauf gekennzeichnet.

Im subtropischen Hochdruckgürtel, bei ca. 30 ° Nord bzw. Süd, sinken die Luftmassen ab, erwärmen sich dabei wieder und strömen in zwei unterschiedliche Richtungen weiter. Die Richtung Äquator ausströmende Luftmasse wird zu den Passatwinden, die sich in der ITC wiedervereinen. So entstehen nördlich und südlich des Äquators zwei Strömungswalzen, der Passatkreislauf. Die Richtung Pole ausströmende Luftmasse wird zu Südwest- und Westwinden (Westwindzone). Diese treffen in der subpolaren Tiefdruckrinne auf die kalten polaren Winde.¹²

Luft und Luftdruck

Die Atmosphäre setzt sich aus Stickstoff (78,1 %), Sauerstoff (20,9 %) und Argon (0,93 %) zusammen. Den Rest (< 1%) machen Spurengase wie Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄), Distickstoffoxid (N₂O) und Ozon (O₃) aus, die als natürliche Treibhausgase sehr klimawirksam sind. Die Luftmasse direkt über einer kleinen Fläche kann man sich als eine mehrere Kilometer hohe Luftsäule vorstellen. Diese Luftsäule drückt mit ihrem Gewicht Richtung Erdoberfläche (Gewichtskraft). Dieser Druck wird als Luftdruck bezeichnet.¹³

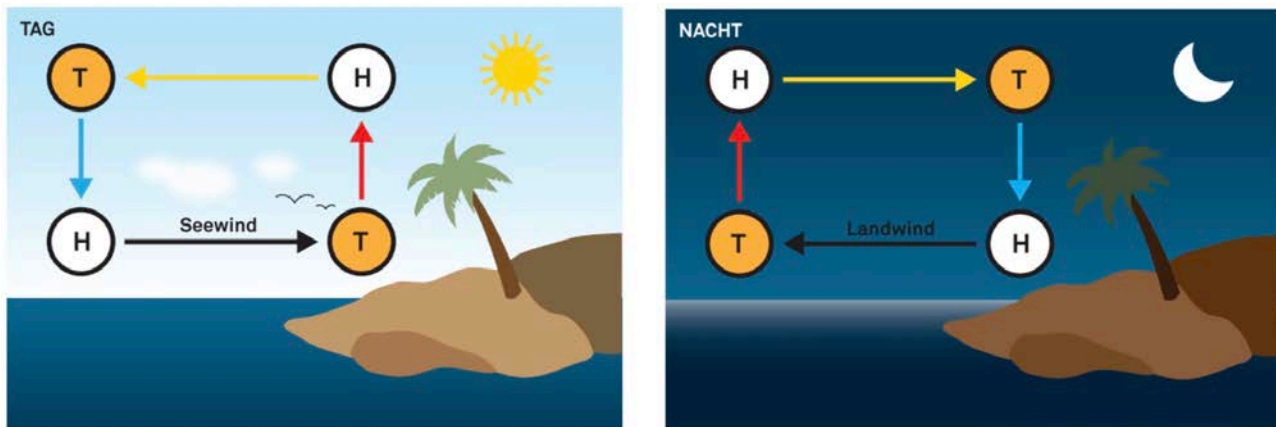
Der Normalluftdruck drückt auf Meereshöhe bei 0°C mit 1013 Hektopascal auf eine Fläche von 1m². Dies entspricht dem Druck einer 10,13 Meter hohen Wassersäule.

¹² Hasler, 2016, S. 74

¹³ Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/wetter/messwerte/messwerte-anstationen.html?param=airpressure-qfe>

Im Volksmund sagt man, die Luft in den Bergen sei dünn. Tatsächlich ist der Luftdruck auf 5500m ü.M. nur noch halb so hoch wie auf Meereshöhe, wobei die Abnahme des Luftdruckes nicht gleichmässig verläuft.¹⁴

Aber nicht nur die Höhe hat einen Einfluss auf den Luftdruck, sondern auch die Temperatur. Gut zu sehen ist dies am Beispiel des Land-Seewindes.



Tagsüber wärmt sich das Festland durch die Sonneneinstrahlung stärker auf und somit ist es über dem Festland wärmer als über dem Wasser. Die warme Luftmasse steigt auf und hinterlässt in Bodennähe ein Tiefdruckgebiet (weniger Luftteilchen über einem m²). Dadurch wird Luft, die über dem Wasser ist, in Richtung Land „angezogen“ (Wind vom Hoch ins Tief). Wir spüren den Wind, der vom Wasser in Richtung Land weht.

In der Nacht kühlt das Festland schneller ab als das Wasser. Die Luft über dem Wasser ist damit wärmer und steigt in die Höhe. Durch das entstehende Tiefdruckgebiet über dem Wasser wird Luft vom Land „angezogen“ (Landwind). Die Windrichtung ändert sich zwischen Tag und Nacht.¹⁵

Austausch in den Ozeanen

Neben Gezeiten werden die Strömungen im Ozean vor allem durch Dichteunterschiede und Wind angetrieben. Unterschiedliche Dichten in den verschiedenen Meeresgebieten entstehen dadurch, dass das **Wasser verschiedene Temperaturen** und auch **Salzgehalte** hat.¹⁶ Eine typische Meeresströmung ist der Golfstrom (genauer: Nordatlantikstrom), der warmes Wasser in den oberen Schichten des Ozeans von den Subtropen (Golf von Mexiko, Karibik) bis in die europäische Polarregion führt. Dort wird das Wasser kälter, damit dichter und schwerer, sinkt in tiefere Meeresschichten ab und strömt dann im tiefen Ozean zurück nach Süden.

Kreisläufe im Klimasystem

Zwischen den Teilsystemen (Sphären) des Klimasystems findet ein stetiger Austausch an Masse und Energie statt. Beispielsweise beeinflussen sich die allgemeine atmosphärische Zirkulation und die Ozeanzirkulation gegenseitig. Atmosphärische Strömungen (Winde) treiben die Ozeanzirkulation an der Oberfläche an und führen den Ozeanen Wärme und atmosphärischen Kohlenstoff oder durch Niederschlag Wasser zu. Die Ozeane wiederum geben Wärme und durch Verdunstung Feuchtigkeit an die Atmosphäre ab (siehe Wasserkreislauf, Kohlenstoffkreislauf unten).¹⁷ In äqua-

¹⁴ Egli, Hasler, Probst, 2016, S. 71

¹⁵ Egli, Hasler, Probst, 2016, S. 72

¹⁶ Wanner, 2016, S. 35

¹⁷ Wanner, 2016, S. 159

tornahen Gebieten erwärmt die Atmosphäre die Ozeane, während in polnahen Gebieten das Meerwasser die oberflächennahen Luftschichten erwärmt.

Der globale **Wasserkreislauf** und der globale **Kohlenstoffkreislauf** sind zentral für das Klima und verbinden verschiedene Teilsysteme des Klimasystems miteinander.¹⁸

Wasserkreislauf

Der globale Wasserkreislauf beschreibt die Zirkulation des Wassers zwischen Atmosphäre, Ozeanen, Land-, Schnee- und Eisflächen.¹⁹ Innerhalb des Klimasystems ist das Wasser ungleich verteilt. 96.5% des Wassers befindet sich in Ozeanen und Meeren und 0.9% ist salzhaltiges Grundwasser. 2.6% sind Süßwasser, 1.7% als Eis und Schnee, 0.8% als süßes Grundwasser und weniger als 0.1% in Seen, Flüssen u.a.²⁰ In der Atmosphäre sind nur 0.001% des Wassers gespeichert. Weil die Speicherkapazitäten in Atmosphäre, Ozeanen, auf dem Land und unter der Erdoberfläche so unterschiedlich sind, ist auch die Verweildauer unterschiedlich lang. In den Ozeanen beträgt sie ca. 3000 Jahre, in der Atmosphäre ca. neun Tage.²¹ Der grösste Teil des Wassers, das über Meeren und Ozeanen verdunstet, fällt als Niederschlag wieder dorthin zurück.

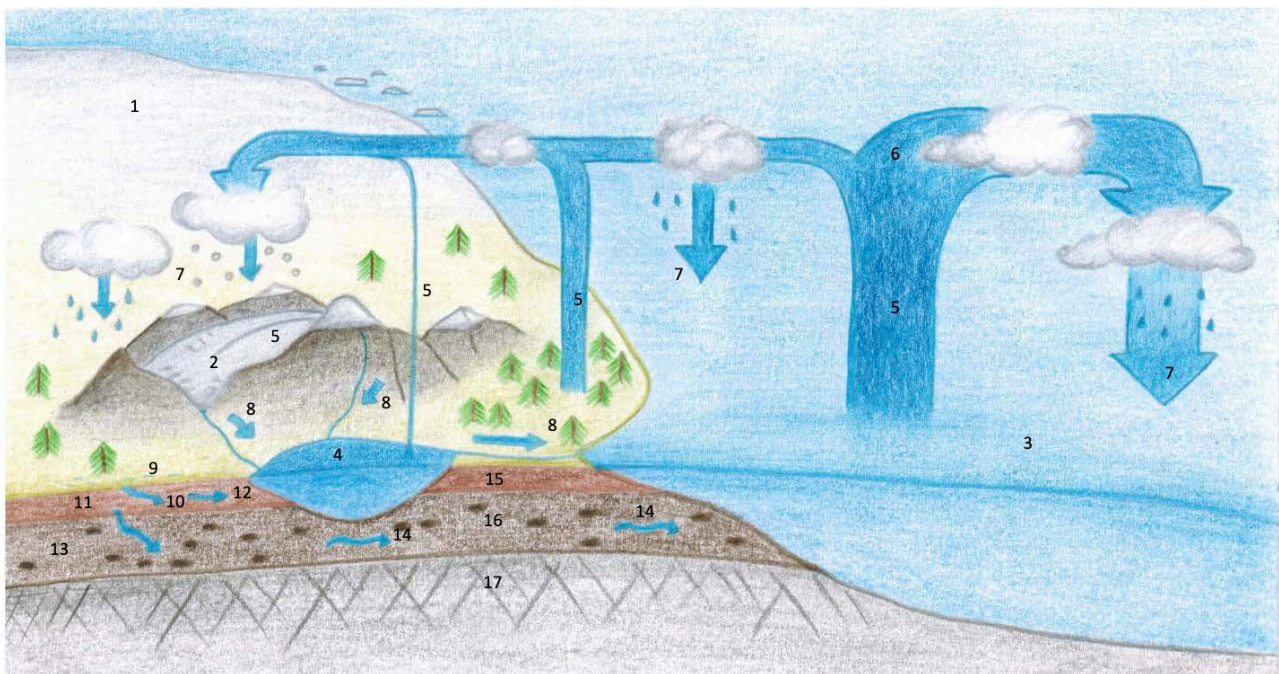


Abb. 4 Globaler Wasserkreislauf (Eigene Darstellung Projekt CCESO II. Zeichnung: Michelle Walz)

Wasserhaushalt

- | | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| (1) Eisregion | (7) Niederschlag (Regen und Schnee) | (13) Grundwasserspeicher |
| (2) Gletscher/Schnee | (8) Abfluss | (14) Grundwasserabfluss |
| (3) Ozean | (9) Sumpfgebiet | (15) Boden |
| (4) See | (10) Infiltration | (16) Lockergestein |
| (5) Verdunstung/Sublimation | (11) Bodenfeuchtespeicher | (17) Festgestein |
| (6) Wasserdampftransport | (12) Abfluss im Boden | |

Die Kryosphäre (Gletscher, Schnee, polare Eiskappen, Meereis) spielt für den Wasserkreislauf eine wichtige Rolle als Speicher und Isolator. Schnee und Eis bedecken durchschnittlich 10% der

¹⁸ Brönnimann, 2018, S. 11

¹⁹ Wanner, 2016, S. 41ff

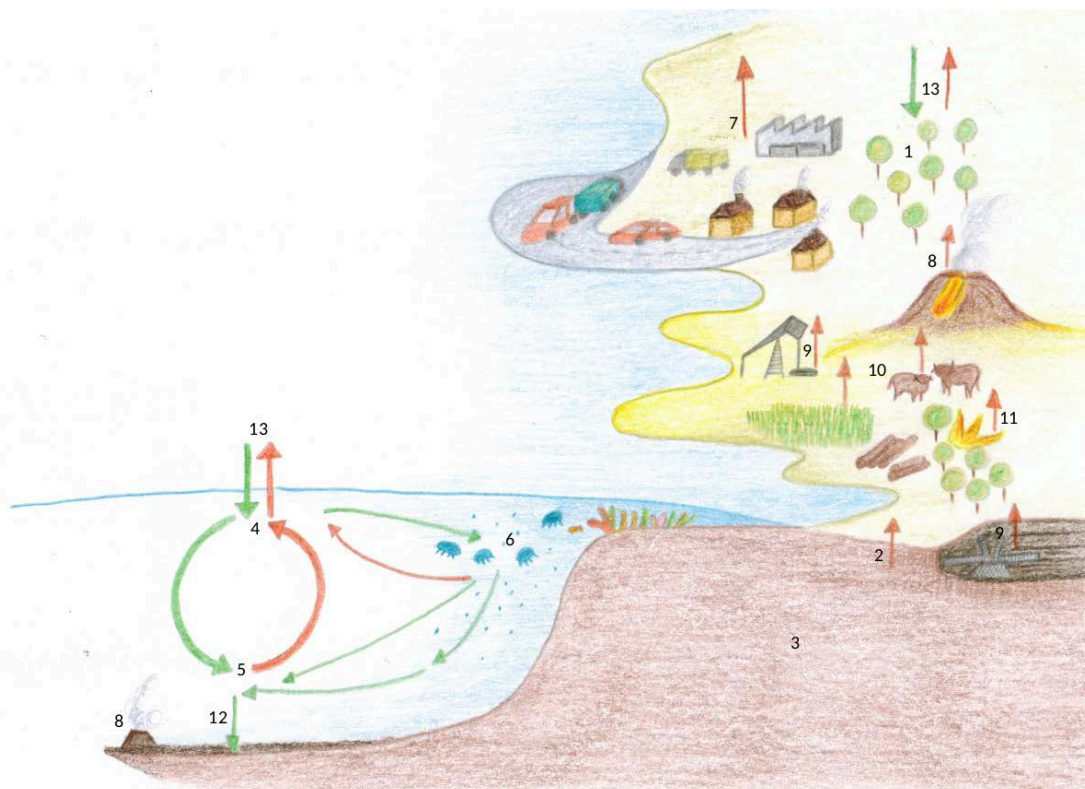
²⁰ Gemäss Angaben des US-Geological Surveys (<https://water.usgs.gov/edu/earthwherewater.html>)

²¹ Brönnimann, 2018, S. 38

Landfläche und speichern ca. 2/3 des Süsswassers. Der grösste Teil des Eises befindet sich auf Grönland und in der Antarktis.²² Meereis hat eine isolierende Wirkung. Es verhindert als Isolationschicht zwischen Ozean und Atmosphäre einerseits den Wärmetransport und die Verdunstung von den Ozeanen in die Atmosphäre. Andererseits reflektiert Eis einen grossen Teil der kurzwelligeren Sonnenstrahlen, die so nicht vom Wasser aufgenommen und in Wärme umgewandelt werden können.²³

Kohlenstoffkreislauf

Der globale Kohlenstoffkreislauf hat ebenfalls einen grossen Einfluss auf das Klimasystem. Kohlenstoffverbindungen, wie Kohlenstoffdioxid CO_2 oder Methan CH_4 , wirken sich als Treibhausgase direkt auf das Klima aus (siehe Faktenblatt 2).²⁴ Besonders in Ozeanen, in Böden und in der Vegetation werden grosse Mengen an Kohlenstoffverbindungen gespeichert. Ozeane enthalten ca. 50-mal mehr Kohlenstoff als die Atmosphäre. Auch hier agiert der Ozean als wichtiger Speicher, der CO_2 aus der Atmosphäre aufnimmt. In der Atmosphäre wird hingegen relativ wenig Kohlenstoff gespeichert. Ein grosser Anteil des von Menschen ins Klimasystem eingebrachten Kohlenstoffes gelangt zuerst in die Atmosphäre und von dort in die Hydrosphäre. Ein weiterer Teil des Kohlenstoffes in der Atmosphäre wird durch Pflanzen aufgenommen und damit in der Biosphäre (zwischen-)gespeichert.



Kohlenstoffhaushalt

- | | | |
|------------------------------------|--|---|
| 1. Pflanzen | 6. Plankton, Algen | 10. Landnutzung (Säuerung) / Landwirtschaft |
| 2. Boden | 7. Industrie/Verkehr/Verbrennung fossiler Energieträger | 11. Abholzung, Waldbrände, Brandrodung |
| 3. fossile Lagerstätten | 8. Vulkan in Ozeanen und auf Kontinenten, Inseln | 12. Sedimente/Ablagerung |
| 4. Obere Zone der Ozeane | 9. Abbau/Förderung/Verbrennung fossiler Energieträger (Erdöl, Kohle) | 13. Photosynthese/Atmung |
| 5. Tiefe Zone der Ozeane (Tiefsee) | | |

²² Wanner, 2016, S. 37f

²³ Wanner, 2016, S. 40; Brönnimann, 2018, S. 205ff

²⁴ Wanner, 2016, S. 47ff; Brönnimann, 2018, S. 39

Literatur

Allianz Umweltstiftung (2016). Wissen – Informationen zum Thema „Klima“: Grundlagen, Geschichte, Projektionen (4. Auflage). Berlin: Allianz

tung. https://umweltstiftung.allianz.de/content/dam/onemarketing/umweltstiftung/umweltstiftung/media/download/wissen_klima_2016.pdf

Brönnimann, S. (2018). *Klimatologie*. Bern: Haupt Verlag.

Hasler, M. (2016). Wetter und Klima. In H.-R. Egli, M. Hasler, & M. Probst (Hrsg.), *Geografie - Wissen und verstehen* (S. 61-84). Bern: hep verlag ag.

Spandau, L., & Wilde, P. (2008). *Klima - Basiswissen, Klimawandel, Zukunft*. Stuttgart: Eugen Ulmer KG.

Wanner, H. (2016). *Klima und Mensch - Eine 12'000-jährige Geschichte*. Bern: Haupt Verlag.