

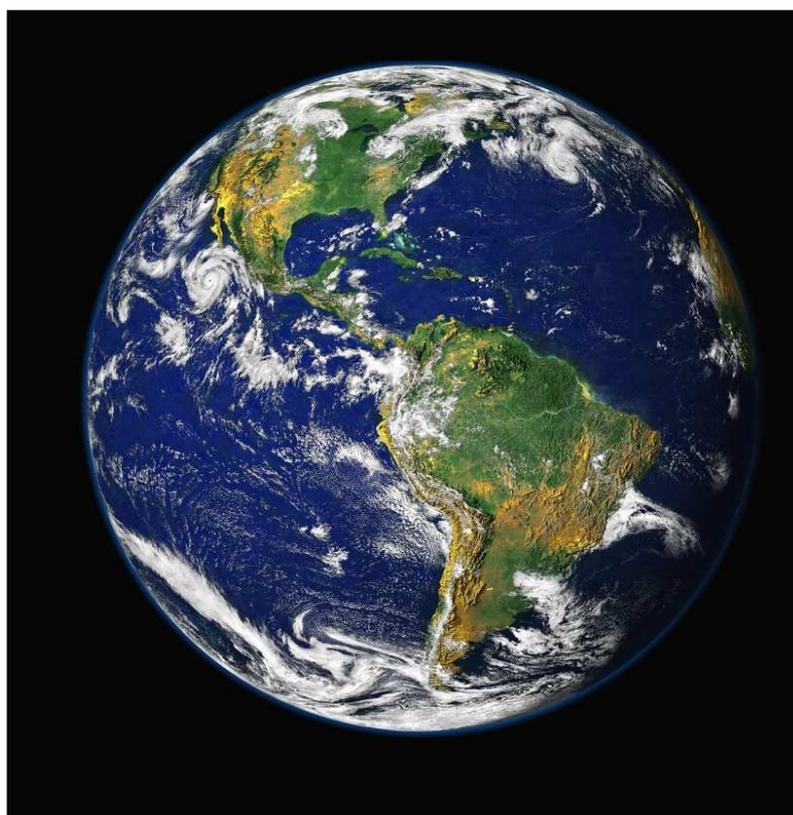
# 1 Wie funktioniert das Klima?

1.1 Was ist Wetter, was ist Klima?

1.2 Die Erdatmosphäre – eine Wärmedecke?

1.3 Der Wasser- und Kohlenstoffkreislauf

1.4 Das Klimasystem



Schulstufe

Autorin

Jahr

Sekundarstufe 1

Sibylle Reinfried & Evelin Vogler

2019



## 1 Wie funktioniert das Klima?

### 1.1 Was ist Wetter, was ist Klima?

### 1.2 Die Erdatmosphäre – eine Wärmedecke?

### 1.3 Der Wasser- und Kohlenstoffkreislauf

### 1.4 Das Klimasystem

Schulstufe	Sekundarstufe 1
Autoren	Sibylle Reinfried & Evelin Vogler
Jahr	2019
Angaben zu Titelbild	Blick auf die Erde aus dem Weltall (Bildquelle «earth-1105_1920.jpg» von Pixabay)

Herausgeber

GLOBE

PHBern

PHLuzern

Hep

Supsi

Uni Bern

SCNAT

BAFU

Link zu Website des Lernmediums

Rechte und [www.fair-kopieren.ch](http://www.fair-kopieren.ch)

# 1 Wie funktioniert das Klima?

## 1.1 Was ist Wetter, was ist Klima?

Im Fernsehen und in Zeitungen wird jeden Tag über das aktuelle und kommende Wetter berichtet. Auch das Klima ist ein Thema, zum Beispiel wenn es um den Klimawandel geht. Doch was versteht man eigentlich unter «Wetter» und «Klima»?

**Überlege:** Was bedeutet für dich „Wetter“ und was „Klima“? Wie kann man die beiden Begriffe unterscheiden? Notiere einige Gedanken und tausche dich anschliessend mit deinem Tischnachbarn / deiner Tischnachbarin aus.

Das Wetter hängt unter anderem von der *Temperatur*, der *Luftfeuchtigkeit*, dem *Niederschlag* (Regen, Schnee), dem *Wind* und dem *Luftdruck* ab. Da sich diese Wetterelemente täglich mehrfach ändern, ändert sich auch das Wetter kurzfristig.

### Lernaufgabe 1

Mit Wetter ist das gemeint, was in der Lufthülle *an einem bestimmten Ort zu einem bestimmten Zeitpunkt* geschieht. Lade die App von MeteoSchweiz auf dein Handy und schau dort das Wetter für die Schweiz am heutigen Tag an. (Für Computer- oder iPad-Nutzer:

<https://www.meteoschweiz.admin.ch/home.html?tab=overview>.)

a) Du findest dort die *Wetterprognose* (= Wettervorhersage), den *Wetterbericht* und die aktuellen *Gefahren*. Unter Animationen kann man die Veränderungen von Niederschlag (Regen, Schnee), Temperatur und Bewölkung (Wolken) im Verlauf der Zeit beobachten. Suche deinen Schulort und beobachte, wie sich dort das Wetter im Laufe des heutigen Tages verändert hat. Notiere das Datum und die Uhrzeit, an denen du deine Beobachtungen machst. (Die Legende zu den Karten findest du, wenn du den Halbkreis mit dem nach unten zeigenden Pfeil am oberen Kartenrand antippst.)

**Mein Schulort:**

**Datum / Uhrzeit:**

- **Niederschlag** (Zugrichtung des Niederschlags, Menge in Millimeter pro Stunde (mm/h)):

- **Wind** (Windrichtung, Windgeschwindigkeit in Kilometer pro Stunde (km/h)):

- **Bewölkung** (Zugrichtung der Wolken, Wolkenfarbe und -form):

- **Temperatur** (Angabe in °C):

b) Vergleiche deine Notizen mit einer anderen Schülerin / einem anderen Schüler und werft einen prüfenden Blick aus dem Fenster: Regnet / schneit es? Weht ein Wind. Aus welcher Richtung? Sieht man Wolken? Welche Form und Farbe haben sie und in welche Richtung ziehen sie?

c) Arbeitet zu zweit. Verfasst eine Definition für „Wetter“ für ein Schülerlexikon. Sie soll die *allgemeinen Kennzeichen* von Wetter enthalten und angeben, welche Rolle *Ort* und *Zeit* beim Wetter spielen.

**Eure Definition für „Wetter“:**

**Lernaufgabe 2**

Arbeite zuerst allein und besprich anschliessend deine Ergebnisse mit einer Mitschülerin / einem Mitschüler.

Die Abbildungen 1.1.1 zeigt den Verlauf des Wetters am 13. Mai 2018 in Zürich, die Abbildung 1.1.2 zeigt das Klimadiagramm von Zürich. Vergleiche in den beiden Abbildungen die Temperatur und den Niederschlag.

Was haben die Diagramme „Wetterverlauf in Zürich am 13. Mai 2018“ und „Klimadiagramm von Zürich“ gemeinsam und worin unterscheiden sie sich? Es geht nicht um die Zahlen für Temperatur und Niederschlag, sondern darum, was die Diagramme darstellen. Trage deine Antworten in die Tabelle 1.1 auf der nächsten Seite ein. Wir haben bereits je ein Beispiel für dich eingetragen.

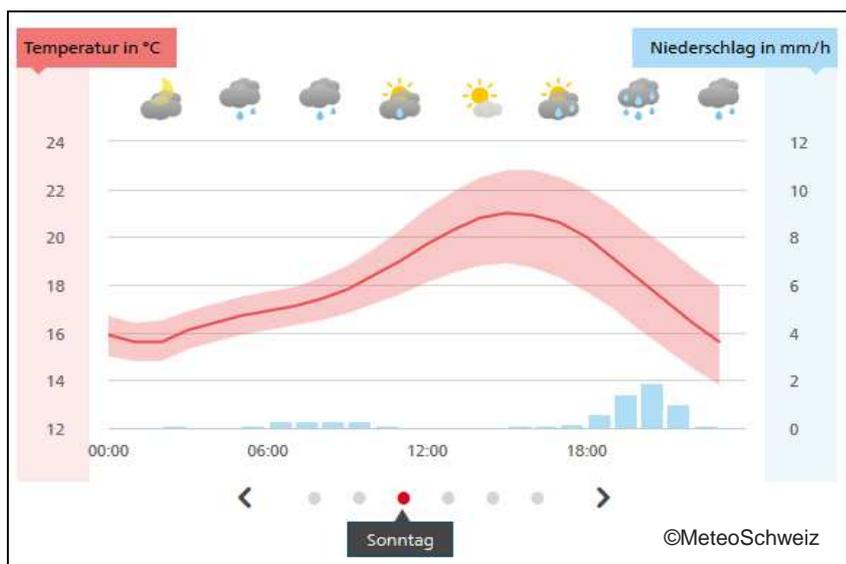


Abb. 1.1.1: Wetterverlauf in Zürich am 13. Mai 2018

(Quelle: Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, Lokalprognose Zürich für den 11. Mai 2019, <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home.html?tab=overview>, besucht am 22.6.2019)

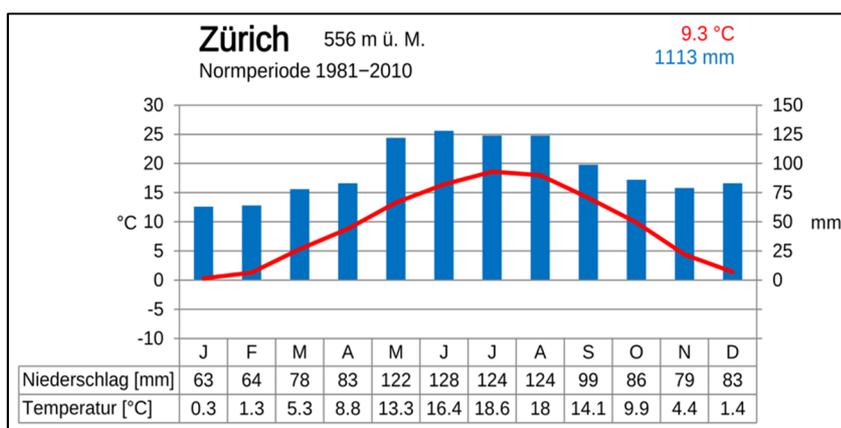


Abb. 1.1.2: Das Klima von Zürich, dargestellt in einem Klimadiagramm. Die Angaben sind 30jährige Mittelwerte.

(Quelle: Oliver Kramer, Klimadiagramm Zürich, Daten Meteoschweiz.ch; [https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Klimadiagramm\\_Z%C3%BCrich.svg](https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Klimadiagramm_Z%C3%BCrich.svg) lizenziert unter Creative Commons 4.0 International licence: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de>)

Ort: Zürich	Wetterverlauf am 13. Mai 2018	Klimadiagramm
<b>Vergleich</b>	- Man sieht die Höhe der <b>Durchschnittstemperaturen pro Stunde</b> .	- Man sieht die Höhe der <b>mittleren Durchschnittstemperatur pro Monat</b> .
<b>Schlussfolgerungen aus dem Vergleich</b>		

Tab. 1.1: Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Abb. 1.1.1 und Abb. 1.1.2.

### Festige und überprüfe dein Wissen

Lies die Texte in der Box zu Wetter und Klima und markiere wichtige Begriffe mit einem Farbstift / Leuchtstift. Prüfe anschliessend dein Wissen mit dem Test auf Seite 6.

#### Wetter

Unter «Wetter» versteht man den Zustand der Lufthülle (Atmosphäre) an einem bestimmten Ort und zu einem bestimmten Zeitpunkt. Es ist das, was wir täglich erleben: Sonne, Wolken, Regen, Wind, Wärme, Kälte. Im Alltag umschreibt man es oft allgemein, zum Beispiel als Aprilwetter, schönes oder kaltes Wetter. Um das Wetter zu beschreiben, misst man die Temperatur, die Menge des Niederschlags (Regen, Schnee), den Wind, die Sonnenscheindauer, den Grad der Bewölkung (leicht bewölkt, stark bewölkt, bedeckt) und anderes. Das Wetter kann sich mehrmals am Tag ändern.

#### Klima

Als Klima bezeichnet man das „durchschnittliche Wetter“ eines Ortes oder einer Region über einen längeren Zeitraum. Auch für das Klima gibt es Alltagsbeschreibungen: mildes Klima oder raues Klima. Geografen teilen die Erde in verschiedene Klimazonen ein (tropisches Klima, gemässigttes Klima und polares Klima). Die Merkmale eines Klimas leiten Forscher aus den Wetterbeobachtungen über mindestens 30 Jahre ab. Sie berechnen aus den Wetterelementen, die sie über viele Jahre messen, Durchschnittswerte. Deshalb spielen für das Klima momentane Wetterkapriolen, wie zum Beispiel ein Sturm oder ein einmaliger besonders heftiger Schneefall, keine Rolle. Im Gegensatz zum Wetter verändert sich das Klima in langen Zeiträumen ganz langsam.

**Test:** Entscheide, wo es um das Wetter (W) und wo es um das Klima (K) geht:

	In der Nordschweiz ist es bewölkt, dafür scheint im Tessin die Sonne.
	In Italien regnet es im Winter mehr als im Sommer.
	Die Bauern müssen wegen des Wintereinbruchs die Kühe schon früh von den Alpen ins Tal treiben.
	Am letzten Sonntag herrschte den ganzen Tag lang strahlender Sonnenschein.
	Der Üetliberg, der Hausberg von Zürich, eignet sich leider nicht als Skigebiet.
	Die Australierinnen und Australier könnten Weihnachten immer in kurzen Hosen feiern.
	Morgen kommt ein starker Wind aus Westen auf.
	In Grönland gibt es nur im Sommer Temperaturen über 0° Celsius.
	Gestern fiel zum ersten Mal in diesem Winter Schnee in Bern.
	An der Westküste Frankreichs fällt viel mehr Regen als in der Gegend um Paris.

**Überlege:** Wie verstehst du nach dieser Lernphase die Begriffe „Wetter“ und „Klima“? Vergleiche deine Überlegungen, die du zu Beginn auf Seite 3 notiert hast, mit deinem neu gelernten Wissen. Kannst du Unterschiede feststellen? Was hat sich verändert?

### Lernaufgabe 3

Wende nun dein Wissen an:

Lies folgende Schlagzeile aus einer Zeitung vom 24. Januar 2017 und beantworte die anschließende Frage.

#### **Rekordkälte in Europa im Januar 2017**

*Der Januar war in diesem Jahr so kalt wie seit 30 Jahren nicht mehr. Die Temperaturen lagen zehn Tage lang unter Null Grad. Die Kältewelle forderte europaweit über 100 Menschenleben.*

Andreas sagt: „Dieser kalte Winter ist ein Zeichen dafür, dass das Klima in Europa kälter wird.“ Glaubst du, dass er damit recht hat? Begründe deine Entscheidung.

ja

nein

Begründung:

Wahrscheinlich hast du angekreuzt, dass der kalte Winter von 2017 kein Zeichen dafür ist, dass das Klima in Europa kälter wird. Damit hast du recht. Die Temperatur, die typisch für ein Klima ist, ist der langjährige Durchschnittswert von vielen Messungen, während ein einziger sehr kalter Januar noch kein Anzeichen für eine Klimaveränderung ist.

Die Experten sind sich einig, dass sich das Klima weltweit ändert<sup>1</sup>. Dies gilt auch für die Schweiz. Betrachtet man die Jahresdurchschnittstemperaturen von 1864 bis 2018, also die Mittelwerte aus allen Monatsmitteltemperaturen für jedes Jahr, dann sieht man in Abbildung 1.1.3, dass jedes Jahr seit 1988 rötlich oder rot (= warm) dargestellt ist und das Rot immer dunkler wird (= noch wärmer). Dieser Trend zeigt, dass das Klima in der Schweiz wärmer wird!

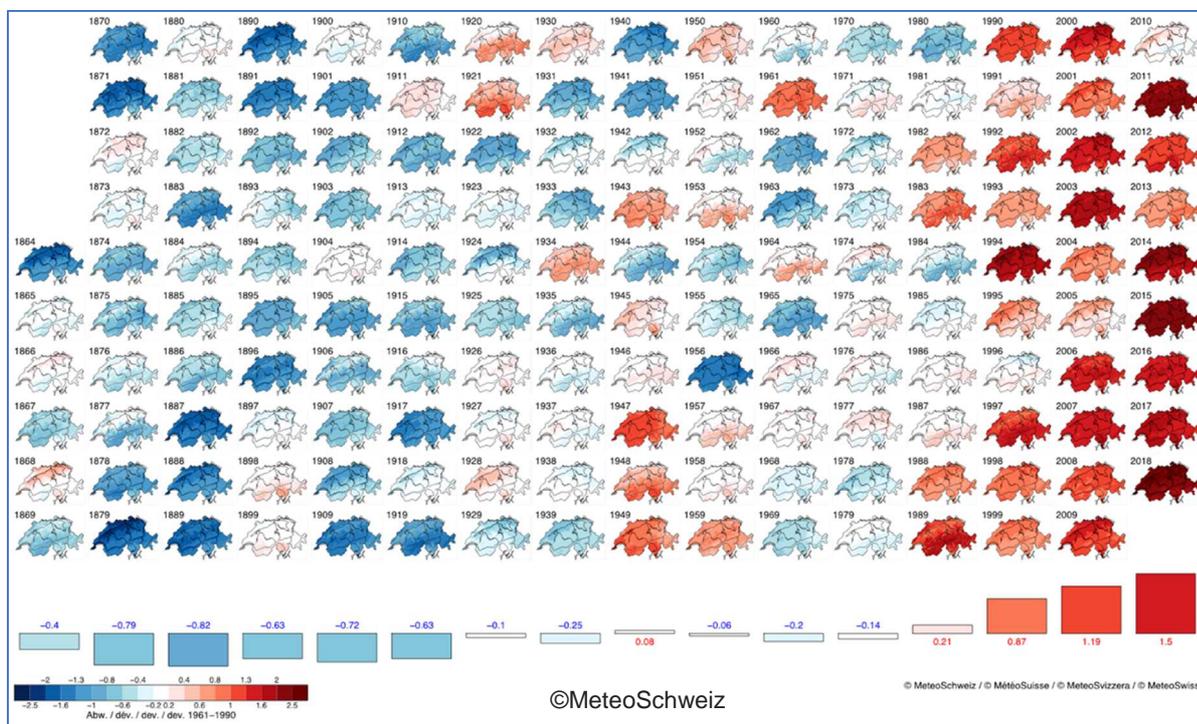


Abb. 1.1.3: Temperaturabweichungen vom Mittel 1961-1990 in der Schweiz für jedes Jahr seit 1864. Jahre unter dem Mittel sind in blau, Jahre über dem Mittel rot dargestellt. Im unteren Teil der Grafik sind die Abweichungen der Jahrzehnte als eingefärbte Säulen dargestellt.

(Quelle: Klimawandel Schweiz; Quelle: Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, Temperaturabweichungen seit 1864, <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/klimawandel-schweiz/temperatur-und-niederschlagsentwicklung.html>, besucht am 22.6.2019)

<sup>1</sup> Wenn du dich für die Erkenntnisse aus der Klimaforschung interessierst, so findest du viele zusätzliche Informationen in dieser PDF-Datei: Akademien der Wissenschaften Schweiz (2016). Brennpunkt Klima Schweiz – Grundlagen, Folgen und Perspektiven. [https://naturwissenschaften.ch/uuid/2b06c5fb-cc63-5e48-a6f8-4c011eb84888?r=20190205110021\\_1559633626\\_07094532-cb73-5262-aea-e901e7ba3a512](https://naturwissenschaften.ch/uuid/2b06c5fb-cc63-5e48-a6f8-4c011eb84888?r=20190205110021_1559633626_07094532-cb73-5262-aea-e901e7ba3a512))

## 1.2 Die Erdatmosphäre – eine Wärmedecke?

In diesem Kapitel lernst du

- wie mächtig (= dick) die Lufthülle ist, in der wir leben,
- woraus Luft besteht,
- wieso Luft wie eine Decke warmhalten kann.

### Die Mächtigkeit der Atmosphäre und die Zusammensetzung der Luft

Die Abbildung 1.2.1 (nächste Seite) zeigt den Blick eines Astronauten auf die dünne Hülle um die Erde, von der unser Leben abhängt: die Atmosphäre. Die Atmosphäre (Lufthülle) ist ungefähr 600 km mächtig. Genügend Sauerstoff für menschliches und tierisches Leben ist aber nur in den untersten paar tausend Metern vorhanden. Die grössten Höhen, in die Bergsteiger bisher ohne Sauerstoffgeräte aufgestiegen sind, betragen knapp 9 km (Mount Everest, 8848m). In dieser untersten Schicht der Atmosphäre ist 90% der gesamten Luft enthalten und hier findet auch das Wetter statt. Wir Menschen, die wir uns meistens auf der Erdoberfläche aufhalten, leben also am Boden eines Meeres aus Luft. Verglichen mit dem Durchmesser der Erde (= 6378 km) ist die Atmosphäre sehr dünn. Wenn die Erde so klein wäre wie ein Apfel, wäre die Atmosphäre nur so dick wie seine Schale. Die Atmosphäre enthält nicht nur den für uns Menschen wichtigen Sauerstoff, sie umhüllt den Planeten Erde auch wie eine wärmende Decke. Ohne Lufthülle gäbe es kein Leben auf der Erde!

Die Luft setzt sich aus den folgenden Gasen zusammen:

- |                                     |        |
|-------------------------------------|--------|
| - Stickstoff N <sub>2</sub>         | 78%    |
| - Sauerstoff O <sub>2</sub>         | 21%    |
| - Argon Ar                          | 0.9 %  |
| - Kohlenstoffdioxid CO <sub>2</sub> | 0.04%  |
| - übrige Gase                       | 0.06 % |

Ein besonderer Bestandteil der Luft ist auch Wasserdampf (H<sub>2</sub>O). Wasserdampf ist das einzige Gas in der Atmosphäre, welches unter natürlichen Bedingungen auch in andere Zustandsformen übergehen kann – von fest (Eis) zu flüssig (Wasser) zu gasförmig (Wasserdampf). Der Anteil von Wasserdampf in der Atmosphäre kann je nach Ort und Zeit sehr unterschiedlich sein. Deshalb wurde der Wasserdampf bei den Angaben zur Zusammensetzung der Luft weggelassen. Durchschnittlich besteht die Luft aber ungefähr aus 2.6% Wasserdampf.

### Lernaufgabe 1

Mit einem Kreisdiagramm kann man gut erkennen, wie gross der Anteil der verschiedenen Gase in der Luft ist. Stelle die Zusammensetzung der Luft in einem Kreisdiagramm dar und beschrifte die einzelnen Sektoren. Stellst du dir bei der Darstellung der Werte ein Problem?

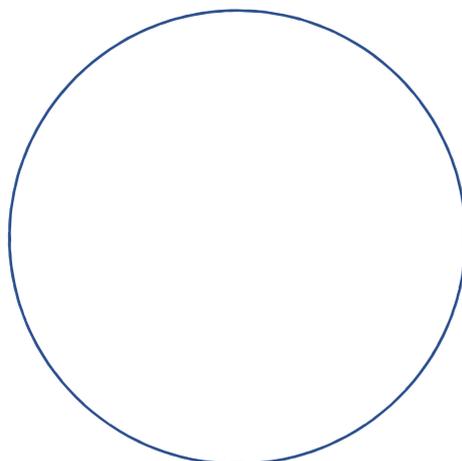




Abb. 1.2.1: Südamerika aus dem Weltall mit der Atmosphäre und dem Mond .

(Bildquelle: Steven Schmidt (2018). *Earth-Thin Blue Atmosphere-Moon image*;  
[https://www.greenpolicy360.net/w/File:Earth-Thin\\_Blue\\_Atmosphere-Moon\\_image\\_-\\_NASA.jpg](https://www.greenpolicy360.net/w/File:Earth-Thin_Blue_Atmosphere-Moon_image_-_NASA.jpg); lizenziert unter Creative  
Common 4.0 International licence [https://www.greenpolicy360.net/w/Look\\_at\\_how\\_thin\\_our\\_atmosphere\\_is](https://www.greenpolicy360.net/w/Look_at_how_thin_our_atmosphere_is))

Die Menge an Kohlenstoffdioxid  $\text{CO}_2$  in der Luft von 0.04% ist sehr gering. Sie wird oftmals auch mit der Einheit „ppm“ angegeben. Die Einheit „ppm“ bedeutet „parts per million“, oder auf Deutsch übersetzt „Teile pro Million“. Das bedeutet: Auf eine Million Luftteilchen (Luftmoleküle) kommen 400 Kohlenstoffdioxid-Teilchen (= Kohlenstoffdioxid-Moleküle). Das ist sehr wenig!  $\text{CO}_2$ -Moleküle kommen von Natur aus in der Atmosphäre vor, entstehen aber auch bei der Verbrennung von Benzin/Heizöl und Kohle. Die Menschen haben in den letzten 150 Jahren für die Warenproduktion, den Verkehr und das Wohnen (Heizen/Kühlen) immer mehr Energie benötigt, die sie aus der Verbrennung von Kohle und Benzin/Heizöl gewonnen haben. Deshalb ist der  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Atmosphäre stark gestiegen.

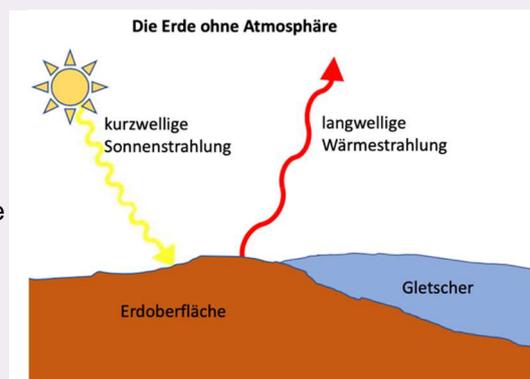
### Wieso verhält sich die Lufthülle wie eine Wärmendecke?

#### Lernaufgabe 2

a) Hast du schon einmal bemerkt, dass dunkle Flächen, zum Beispiel asphaltierte Plätze, in Sommernächten wärmer sind als ihre Umgebung? Und woher kommt es, dass man sich vom Schnee geblendet fühlt? Überlegt zu zweit, was die Gründe für diese Beobachtungen sein könnten und macht euch Notizen.

b) Lest nun den folgenden Text und studiert die Abbildung:

Wir alle wissen, dass die Sonne Licht liefert. In der Wissenschaft sagt man, dass die Sonne „kurzwellige Sonnenstrahlen“ ausstrahlt. Diese Sonnenstrahlen gelangen relativ ungehindert durch die Atmosphäre. Wenn die Sonnenstrahlen auf die Erdoberfläche treffen - also auf Gestein, Ackerboden, Wasserflächen - erwärmen sie diese. Die erwärmten Materialien geben die Wärme wieder an die Luft ab. Diese Wärme ist aber eine andere Art von Strahlung, als die kurzwellige Sonnenstrahlung. Sie heisst „langwellige Wärmestrahlung“. Sonnenstrahlung wird also an der Erdoberfläche in Wärmeenergie umgewandelt.

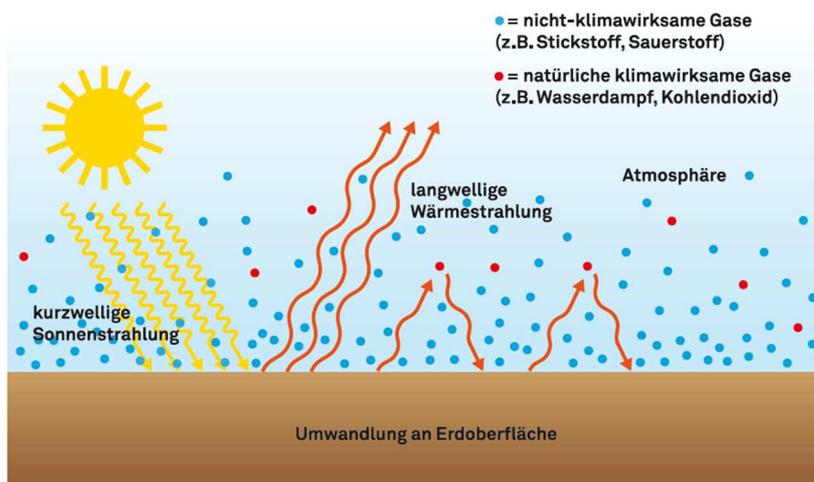


Wir kennen alle den Effekt, dass sich dunkle Oberflächen erwärmen, wenn sie von der Sonne beschienen werden. Manchmal spürt man sogar, dass sie Wärme abstrahlen, obwohl die Sonne schon untergegangen ist, zum Beispiel nachts auf asphaltierten Plätzen. Die Erdoberfläche „schluckt“ (absorbiert) aber nicht das ganze Sonnenlicht. Ein kleiner Teil der Sonnenstrahlen wird auch zurückgeworfen (reflektiert), beispielsweise wenn die Sonnenstrahlen auf Schnee- oder Eisflächen oder Wolken treffen.

c) Stimmen eure Erklärung oben mit den Aussagen im Text überein? Wenn nicht, korrigiert sie entsprechend.

#### Der natürliche Treibhauseffekt

Wenn die gesamte langwellige Wärmestrahlung wieder in den Weltraum gelangen würde, wie oben bei Lernaufgabe 2 gezeichnet, wäre es auf der Erde bitterkalt: durchschnittlich minus  $18^\circ\text{C}$ ! Bei solchen Temperaturen wäre auf der Erde kein Leben möglich. Heute liegt die Durchschnittstemperatur bei ungefähr plus  $15^\circ\text{C}$ . Der Grund dafür sind die sogenannten Treibhausgase in der Atmosphäre, wie Kohlenstoffdioxid  $\text{CO}_2$ , Wasserdampf und andere (s. Abbildung 1.2.2). Sie lassen die langwellige Wärmestrahlung, die von der Erdoberfläche kommt, nicht durch, sondern werfen sie zur Erde zurück (man nennt das „Gegenstrahlung“), wodurch sich die Atmosphäre und die Erdoberfläche zusätzlich erwärmen. Die Wirkung der Treibhausgase wird manchmal mit einem Glasdach in einem Treibhaus verglichen – deshalb nennt man sie auch so. Den Einfluss der Treibhausgase auf die Temperatur der Erde nennt man „Treibhauseffekt“. Ohne den Einfluss des Menschen befinden sich Ein- und Ausstrahlung für lange Zeit im Gleichgewicht.



#### Was sind Treibhausgase?

Treibhausgase sind Gase in der Atmosphäre, die den sogenannten Treibhauseffekt verursachen.

Beispiele von Treibhausgasen sind:

- Wasserdampf (H<sub>2</sub>O)
- Kohlenstoffdioxid, auch Kohlendioxid genannt (CO<sub>2</sub>)
- Methan (CH<sub>4</sub>)

Verglichen mit Stickstoff und Sauerstoff sind diese Gase nur in sehr kleinen Mengen in der Atmosphäre vorhanden – ihre Wirkung ist jedoch sehr gross.

Abbildung 1.2.2: Der natürliche Treibhauseffekt durch das Zusammenwirken von Sonnenstrahlung, Wärmestrahlung und Treibhausgasen (Quelle: Projekt CCESO, 2019).

### Lernaufgabe 3

Im Zusatzmaterial zu 1.2: Treibhauseffekt findet ihr eine Skizze und dazu passende Stichwörter. Schreibt die Begriffe direkt in die Skizze. Vergleicht anschliessend mit dem Text „Der natürliche Treibhauseffekt“ S. 10 und der Abbildung 1.2.2 oben. Habt ihr alles richtig gemacht? Wenn nicht, korrigiert eure Arbeit.

## Überprüfe dein Wissen

1) Wie sähe es auf der Erde ohne den natürlichen Treibhauseffekt aus?

2) Was geschieht mit der durchschnittlichen Temperatur auf der Erde, wenn sich der Anteil des Kohlenstoffdioxids (CO<sub>2</sub>) in der Atmosphäre weiter erhöht?

- Die Temperatur bleibt unverändert.  
 Die Temperatur steigt.  
 Die Temperatur sinkt.

*Begründung:*

3) Entscheide, ob die folgenden Aussagen richtig (r) oder falsch (f) sind. Hebe die fehlerhaften Stellen mit einem Farbstift hervor und verbessere die falschen Aussagen.

Wenn die Erde so groß wie ein Apfel wäre, dann hätte die Atmosphäre etwa die Dicke seiner Schale.	
Der Hauptbestandteil der Luft ist das Treibhausgas CO <sub>2</sub> .	
Die Lufthülle der Erde bewirkt den natürlichen Treibhauseffekt.	
Langwellige Sonnenstrahlen durchdringen die Erdatmosphäre relativ ungehindert.	
Nur ein Teil der kurzwelligen Wärmestrahlen wird an der Erdoberfläche reflektiert.	
Der grösste Teil der Sonnenstrahlen wird an der Erdoberfläche in Wärmestrahlung umgewandelt und wieder Richtung Weltall abgestrahlt.	
Treibhausgase werfen einen Teil der Sonnenstrahlen zurück und hindern sie daran, ins Weltall zu gelangen.	
Durch die Wirkung der Treibhausgase wird die Erdoberfläche und Atmosphäre zusätzlich erwärmt.	

## 1.3 Der Wasser- und Kohlenstoffkreislauf

### Der Wasserkreislauf

**Überlege:** Was stellst du dir unter dem «Kreislauf des Wassers» vor? Fertige eine Zeichnung mit deinen Vorstellungen an und beschrifte sie. Du hast dafür Platz auf dieser Seite. Vergleiche anschliessend deine Zeichnung mit der Abb. 1.3.1 auf der nächsten Seite. Die Zahlen in Abbildung 1.3.1 musst du vorläufig noch nicht beachten.

Was ist in deiner Zeichnung anders als in der Skizze? Was fehlt? Ergänze deine Skizze.

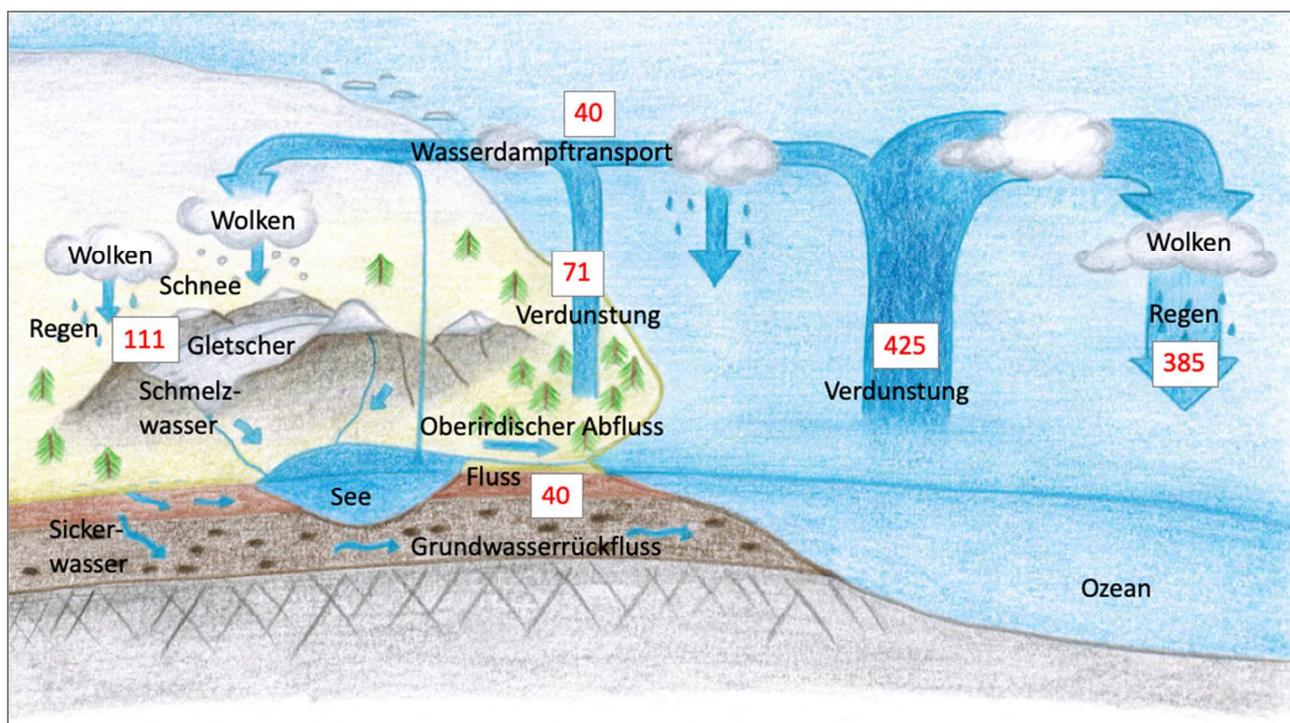


Abb. 2.3.1: Der Wasserkreislauf. Die roten Zahlen zeigen den geschätzten Wasser- und Wasserdampftransport auf der Erde in 1000 km<sup>3</sup> pro Jahr (Quelle: Eigene Darstellung Projekt CCESO II. Zeichnung: Michelle Walz;; Zahlen aus Wanner, H. 2015, *Klima und Mensch*, Haupt Verlag, S. 41).

Die Ozeane, die Luft, die Seen und Flüsse, die Gletscher, und das Grundwasser sind Wasserspeicher, die miteinander verbunden sind. Im Wasserkreislauf bewegt sich das Wasser von einem Speicher zum anderen.

### Lernaufgabe 1

Betrachte die Zahlen in der Abbildung 2. 3.1 genauer.

a) Addiere die Gesamtmenge des Niederschlags (Regen/Schnee) und die Gesamtverdunstung. Was fällt dir auf? Notiere die Werte:

b) Vergleiche die Verdunstungswerte über dem Meer und über dem Land und die Niederschlagswerte über dem Meer und über dem Land. Was fällt dir auf? Notiere:

c) Addiere dann die Werte für Verdunstung und Niederschlag über dem Meer und über dem Land. In welchem Verhältnis stehen Sie zueinander? Notiere die Werte:

d) Was könnte sich im Wasserkreislauf ändern, wenn die Atmosphäre wärmer wird?

## Der Kohlenstoffkreislauf

Kohlenstoff befindet sich in unterschiedlicher Form in der **Atmosphäre**, in **Landlebewesen**, im **Boden**, im **Meerwasser**, und in der **Erdkruste**.

### Stoffe, die Kohlenstoff enthalten

**Luft** ist ein Gemisch verschiedener Gase. Sie besteht heute zu 0.04% aus Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>). Das C im CO<sub>2</sub> steht für den Kohlenstoff.

**Holz** ist das harte Gewebe im Stamm und den Ästen von Bäumen und Sträuchern. Es entsteht beim Wachstum. Die Zellen, aus denen das Holz aufgebaut ist, dienen als Gerüst und sie enthalten unter anderem Stoffe wie Zellulose. Auch die Zellwände aller Blätter bestehen aus Zellulose. Zellulose enthält viel Kohlenstoff. Der Grundbaustein der Zellulose ist die Glucose, auch *Traubenzucker* genannt. Zellulose ist ein Produkt der Fotosynthese. (Pflanzen wandeln mit Hilfe von Licht und dem Blattgrün CO<sub>2</sub> plus Wasser in Zucker und Sauerstoff um.)

**Humus** ist in den obersten Bodenschichten enthalten. Er entsteht, wenn abgestorbene Pflanzen von Bodenlebewesen zersetzt werden. Humus enthält neben Kohlenstoff auch wichtige Nährstoffe, welche von den Pflanzen wieder aufgenommen werden können und so das Pflanzenwachstum ermöglichen.

**Algen** leben im Süß- und Meerwasser und enthalten Kohlenstoff in Form von Zellulose, die Gerüstsubstanz der Zellen.

**Kohle** ist ein schwarzes, festes Ablagerungsgestein, das vor vielen Millionen Jahren aus Pflanzenresten entstand und heute tief in der Erdkruste liegt. Kohle kann zu mehr als 90% aus Kohlenstoff bestehen. Weil die Kohle vor sehr langer Zeit entstanden ist, bezeichnet man sie als *fossilen Brennstoff oder fossilen Energieträger*.

**Erdöl und Erdgas:** Erdöl ist ein in der Erdkruste eingelagertes Stoffgemisch, das vor vielen Millionen Jahren hauptsächlich aus Meeresalgen und Kleinstlebewesen im Meer (Plankton) entstanden ist. Erdgas ist ein natürliches Gasgemisch, das häufig mit Erdöl zusammen vorkommt und auf ähnliche Weise entstanden ist. Beide bestehen aus chemischen Verbindungen, die viel Kohlenstoff enthalten. Weil Erdöl und Erdgas vor sehr langer Zeit entstanden sind, bezeichnet man sie ebenfalls als *fossile Energieträger*.

**Kalkstein** wird häufig aus den Überresten von toten Lebewesen gebildet, wie den kalkigen Schalen von Muschel oder den Kalkgerüsten von Korallen. Die kalkigen Überreste der Tiere verbinden sich mit dem im Wasser gelösten Kohlenstoff zu Kalkstein.

### Was meint man mit «Kohlenstoffkreislauf»?

Genau wie sich Wasser im Wasserkreislauf bewegt, bewegt sich auch Kohlenstoff von einem Speicher zum anderen. Speicherregionen sind die Atmosphäre, das Meerwasser, die Erdkruste mit den fossilen Brennstoffen und Kalkgesteinen und die Pflanzen. Nachfolgend sind einige Vorgänge beschrieben, bei denen Kohlenstoff von einem Speicher in einen anderen gelangt. Ohne den Einfluss des Menschen wäre der Abfluss und die Zufuhr von Kohlenstoff von Speicher zu Speicher im Gleichgewicht.

## Lernaufgabe 2

In der Abbildung 2.3.2 sind die fünf Speicherregionen für Kohlenstoff: **Atmosphäre, Meerwasser, Landlebewesen, Boden** und **Erdkruste** dargestellt. Der graue kreisförmige Pfeil, der alles miteinander verbindet, zeigt dir, dass Kohlenstoff von einem Speicher in den anderen gelangt.

a) Ordne die folgenden acht Vorgänge der Abbildung 2.3.2 zu und trage die Buchstaben A-H an geeigneten Stellen in die Abbildung ein. Den Buchstaben G haben wir schon für dich eingetragen, damit du siehst, wie die Aufgabe gemeint ist.

*A. Pflanzen, wie z. B. Bäume, speichern Kohlenstoff. Bei der Fotosynthese wird Kohlenstoff aus der Luft ( $\text{CO}_2$ ) mit Hilfe von Sonnenenergie und Wasser in Glucose (Traubenzucker) umgewandelt und bildet die Gerüstsubstanz Zellulose in den Stämmen, Ästen und Blättern.*

*B. Kohlenstoff aus der Luft ( $\text{CO}_2$ ) wird im Ozean gelöst.*

*C. Kohlenstoff, der im Wasser als gelöstes  $\text{CO}_2$  vorkommt, löst sich wieder aus dem Meerwasser und geht in Form von  $\text{CO}_2$  in die Luft.*

*D. Durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern (Kohle, Erdöl, Erdgas), die vom Menschen aus der Erdkruste gefördert werden, wird Kohlenstoff in Form von  $\text{CO}_2$  in die Atmosphäre abgegeben.*

*E. Durch Veränderungen der Landnutzung (z.B. Abholzen von Wald, um Ackerland zu gewinnen; Massentierhaltung) gelangt Kohlenstoff in die Atmosphäre. Wenn Holz verbrannt wird, wird  $\text{CO}_2$  frei. Waldböden enthalten viel Pflanzenmaterial. Wenn abgeholzter Waldboden gepflügt wird, kommt mehr Sauerstoff hinein, die Bodenlebewesen werden aktiver und zersetzen das abgestorbene Pflanzenmaterial.  $\text{CO}_2$  wird frei. Nutztiere (Milchkühe, Mastriinder, Büffel, Schafe und Ziegen) stossen ausser dem Treibhausgas Methan auch viel  $\text{CO}_2$  aus.*

*F. Bei Vulkanausbrüchen gelangt Kohlenstoff aus aufgeschmolzenem Kalkstein in der Erdkruste in Form von  $\text{CO}_2$  in die Atmosphäre.*

*G. Die harten kalkhaltigen Teile von toten Meeresbewohnern, wie zum Beispiel Muschelschalen, bilden auf dem Meeresgrund Ablagerungen, die zu Kalkstein werden, in dem Kohlenstoff enthalten ist.*

*H. Aus totem Pflanzenmaterial das in Gewässern abgelagert wird, wird mit der Zeit Kohle. Kohle kann zu über 90% aus Kohlenstoff bestehen. Aus toten Kleinstlebewesen (Plankton), die im Meer abgelagert werden, entsteht mit der Zeit Erdöl und Erdgas.*

c) Welche dieser Prozesse 1.-8. laufen in der Natur von selbst ab, an welchen ist der Mensch massgeblich beteiligt? Zeichne einen deutlich sichtbaren Kreis oder ein Rechteck um die Prozesse, für die der Mensch verantwortlich ist.

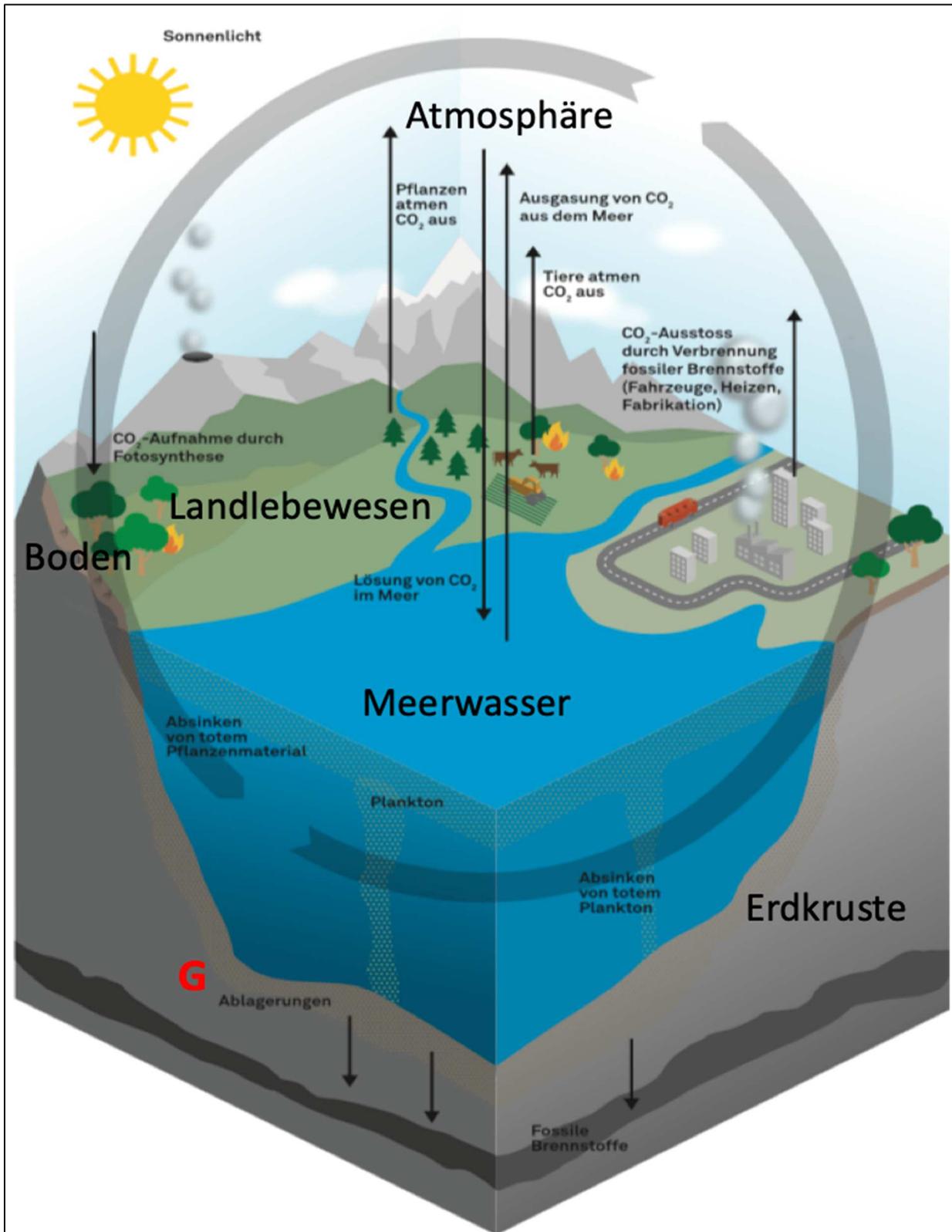


Abb. 2.3.2: Der Kohlenstoffkreislauf (Quelle: Projekt CCESO, 2019)

## 1.4 Das Klimasystem

**Überlege:** Kennst du das Wort «System»? Gib ein Beispiel, in dem das Wort System vorkommt. Was ist das besondere Kennzeichen an deinem Beispiel für ein System?

Vor einigen Lektionen hast du gelernt, dass man das Klima als das „durchschnittliche Wetter“ eines Ortes oder einer Region über einen längeren Zeitraum bezeichnet. Man könnte deshalb annehmen, dass Änderungen des Klimas nur durch Vorgänge in der Atmosphäre bestimmt werden. Das ist aber falsch. Auf das Klima wirken auch die Ozeane, die Pflanzenwelt (Vegetation), Eis und Schnee, der Boden und seit ca. 150 Jahren auch der Mensch ein. Zusammen mit der Atmosphäre bilden sie das **Klimasystem**. Es besteht also aus den folgenden Hauptbestandteilen, die **Sphären** (= Hüllen oder Räume) genannt werden (Abbildung 1.4.1):

- Lufthülle (= Atmosphäre)
- Wasserhülle mit den Ozeanen, Seen, Flüssen (= Hydrosphäre)
- Eishülle mit Eis (Gletscher) und Schnee (= Kryosphäre)
- Bodenhülle mit den Böden (= Pedosphäre)
- Gesteinhülle mit den Gesteinen (= Lithosphäre)
- Raum der Lebewesen mit Pflanzen und Tieren auf dem Land und im Wasser (= Biosphäre).
- Raum, der vom Menschen geschaffen wurde (= Anthroposphäre)

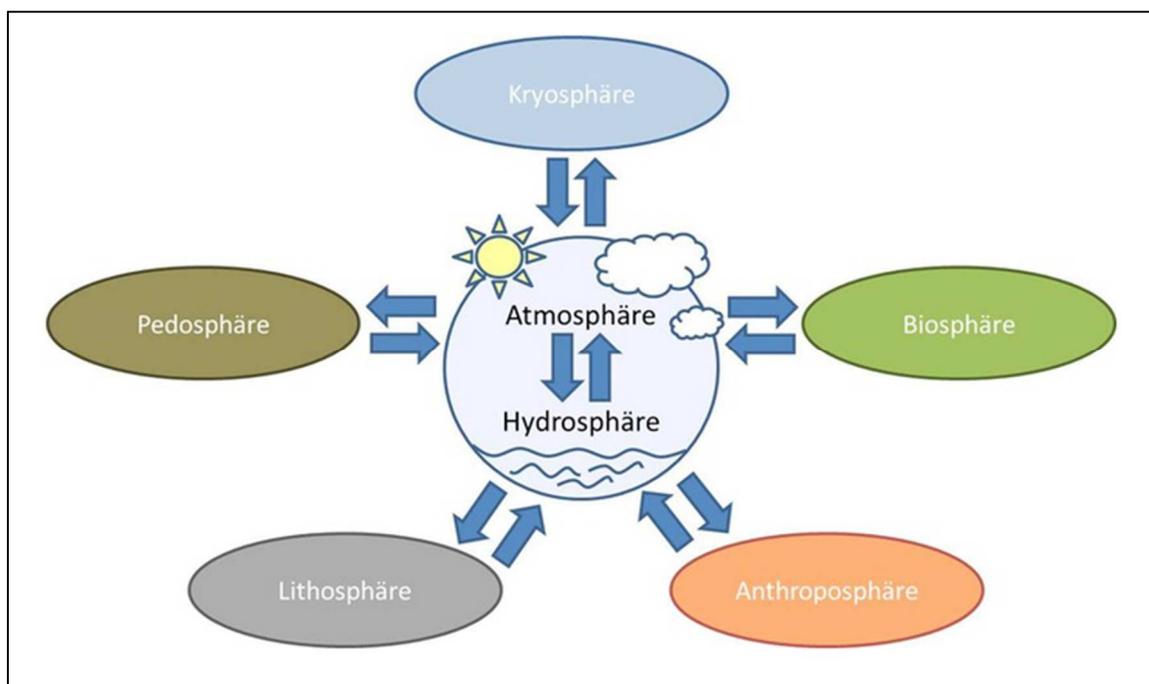


Abbildung 1.4.1: Die Sphären des Klimasystems

(Quelle: Quelle: Geografisches Institut, Humboldt-Universität zu Berlin, <https://www.geographie.hu-berlin.de/de/studium/studiengaenge/master/master-of-science/modul1>, besucht am 27.06.2019)

Alle Sphären des Klimasystems beeinflussen sich gegenseitig und tragen zu Klimaänderungen bei. Der Antrieb für das System ist die Sonnenstrahlung. In der Abbildung 1.4.2 sind die Sphären des Klimasystems, die Sonnenstrahlung und Wärmeabstrahlung eingezeichnet. Die Doppelpfeile zeigen, dass es Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Sphären gibt. Die gelben Doppelpfeile zeigen die natürlichen Prozesse. Die Anthrospohäre fehlt, aber ein roter Doppelpfeil zeigt an, dass es Wechselwirkungen zwischen dem Menschen und Klimasystem gibt.

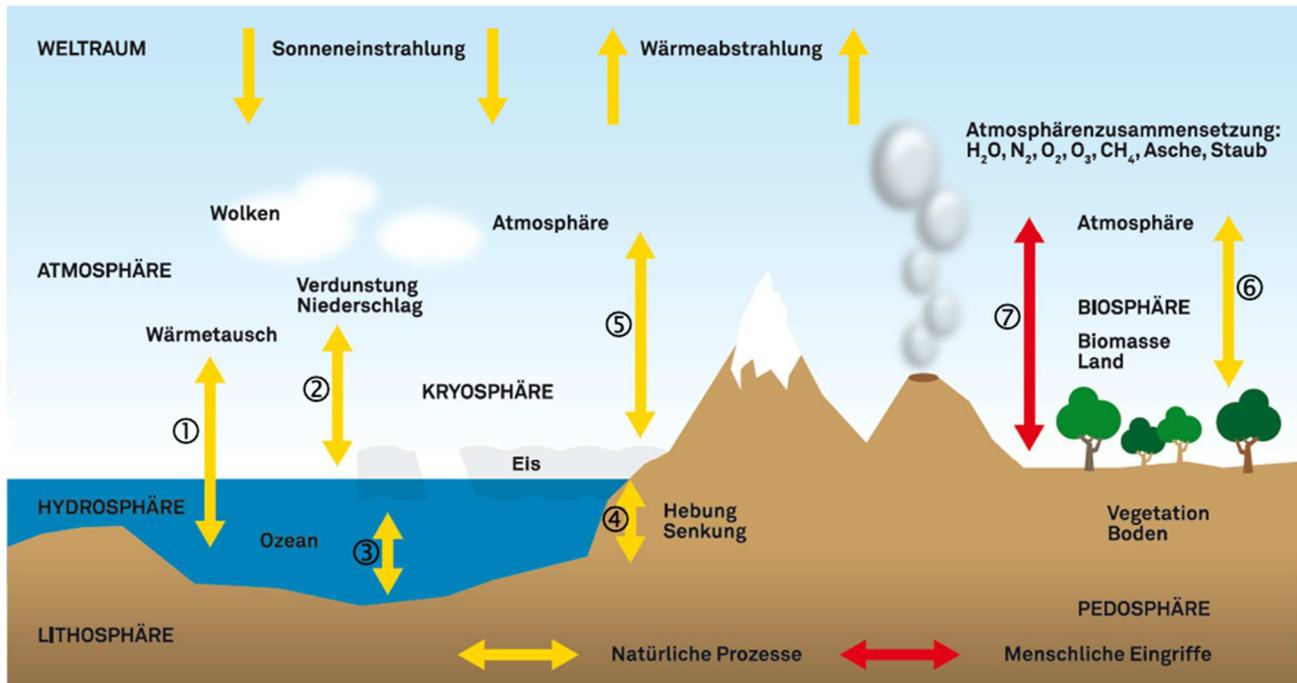


Abb. 1.4.2: Wechselwirkungen im Klimasystem (Vegetation = Pflanzenwelt, Biomasse = Material, das von Lebewesen stammt (z.B. Blätter))

## Lernaufgabe 1

a) Arbeitet zu zweit. Studiert die Abbildung 1.4.2 genauer. Diskutiert, was in der Abbildung 1.4.2 zu welcher Sphäre gehört, und notiert es:

Atmosphäre:

Hydrosphäre:

Kryosphäre:

Pedosphäre:

Lithosphäre:

Biosphäre:

b) Diese Aufgabe wird im Klassengespräch gelöst. Die Doppelpfeile zeigen Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Sphären.

Diskutiert: Was sollen die Doppelpfeile ausdrücken? Fertigt Beschreibungen nach den Musterlösungen bei ① und ④ an.

① **Wärmeaustausch zwischen Atmosphäre und Hydrosphäre:** *Wenn die Luft über dem Meer wärmer wird, erwärmt sich auch das Meer. Wenn sich das Meer abkühlt, kühlt sich auch die Luft darüber ab.*

② **Austausch von Wasser zwischen Atmosphäre und Hydrosphäre über Verdunstung und Niederschlag:**

③ **Zusammenhang zwischen Hydrosphäre und Kryosphäre (Eishülle) über die Wassertemperatur:**

④ **Zusammenhang zwischen Lithosphäre, Atmosphäre, Hydrosphäre und Pedosphäre:** *Wenn sich Land hebt, wird Gestein, das vorher unter Wasser lag, der Luft ausgesetzt. (Das Eis, das in der Abbildung auf dem Gestein liegt, schmilzt zuvor.) Das Gestein verwittert, d.h., es zersetzt sich durch den Einfluss von saurem Regen (CO<sub>2</sub> und Wasser) und Temperaturunterschieden (Frost, Hitze) und es entsteht Boden. Wenn sich Land senkt, gelangt Gestein unter die Wasseroberfläche und wird durch Sand und Schlamm (= durch die Flüsse ins Meer geschwemmter Boden) zugedeckt und so konserviert*

⑤ **Zusammenhang Atmosphäre, Hydrosphäre und Kryosphäre (Eishülle) über die Lufttemperatur:**

⑥ **Austausch zwischen Biosphäre, Atmosphäre und Pedosphäre:**

⑦ **Einfluss der Anthroposphäre (menschliche Tätigkeit) auf die Atmosphäre:**

## Lernaufgabe 2

Für die nachfolgenden Aufgabe sollte euch die Wirkung der Treibhausgase klar sein. Wasserdampf (H<sub>2</sub>O) und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) sind solche Treibhausgase. Repetiert, wie der Treibhauseffekt funktioniert. Die Informationen dazu findet ihr in Kap. 1.2 *Die Erdatmosphäre – eine Wärmedecke?* (S. 8-12).

### Lernaufgabe 3

Die „Sphären“ sind über den Wasser- und Kohlenstoffkreislauf (Kap. 1.3, S. 13-17) in ständigem Austausch miteinander. Nimm nochmals deine Unterlagen zum Wasserkreislauf und Kohlenstoffkreislauf hervor und bearbeite die Teilaufgaben a) und b).

a) Diskutiert zu zweit einen möglichen Weg eines Wasserteilchens in der Abbildung 1.4.2. Achtet darauf, dass das Wasserteilchen mindestens einmal alle Sphären besucht.

b) Diskutiert auch einen möglichen Weg von einem Kohlenstoffteilchen in der Abbildung 1.4.2. Achtet darauf, dass das Kohlenstoffteilchen die Sphären Atmosphäre, Hydrosphäre und Biosphäre besucht.

### Wirkungsketten und Rückkoppelungen im Klimasystem

Die Bestandteile des Klimasystems beeinflussen sich gegenseitig. Wenn sich ein Teil im Klimasystem verändert, kann dies Auswirkungen auf viele andere Teile haben. Eine solche Abfolge von aufeinander bezogenen Ursachen und Wirkungen bezeichnet man als Wirkungskette.

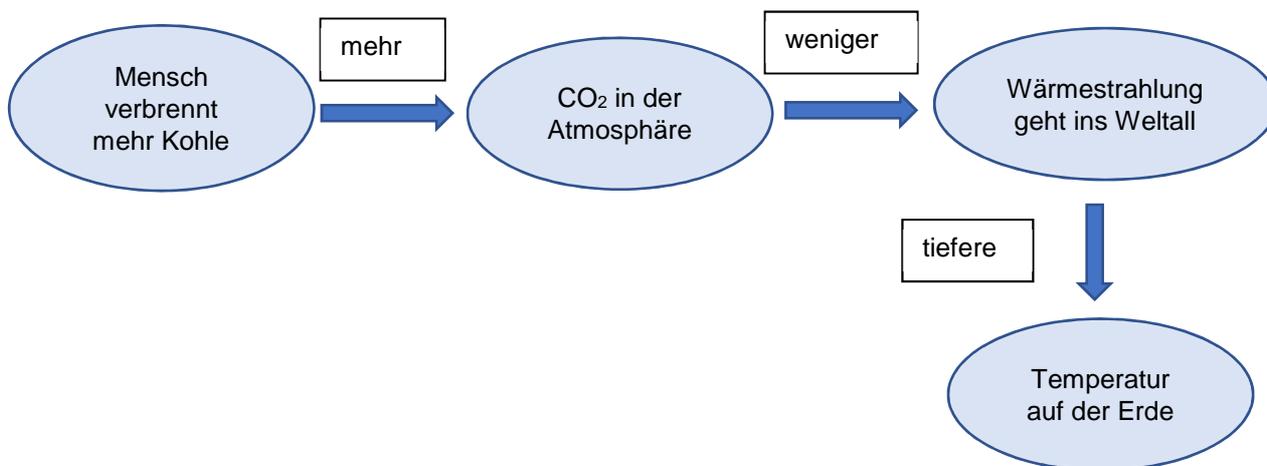
Hier ein einfaches Beispiel: Ein schwerer Stein löst sich (Ursache) und fällt auf das Dach einer Scheune. Die Scheune bricht zusammen (Wirkung). In diesem Beispiel führt eine Ursache zu einer Wirkung.

Nun ein etwas komplexeres Beispiel: Ein schwerer Stein löst sich (Ursache), stösst einen Baum um (Wirkung) und der Baum fällt auf das Dach einer Scheune (Wirkung). Die Scheune bricht zusammen (Wirkung). Dies nennt man eine Wirkungskette in der eine Ursache mehrere Wirkungen hat.

**Überprüfe:** Ist dein Beispiel für ein System auf S. 18 ein System wie oben in der Box beschrieben? Wenn nicht, warum nicht?

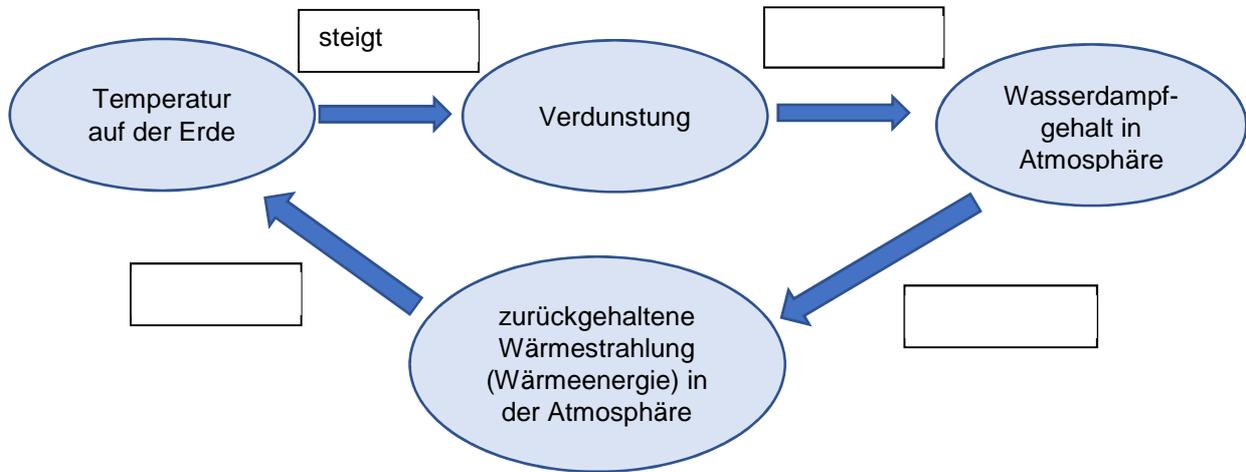
### Lernaufgabe 4

Arbeitet zu zweit. Ihr seht hier eine mögliche Wirkungskette zum Klima. Sie enthält einen Fehler. Studiert die Wirkungskette genau und korrigiert den Fehler.



**Lernaufgabe 5**

Unten findet ihr eine etwas umfangreichere Klima-Wirkungskette. Überlegt euch, wie sich die Teile beeinflussen und füllt die richtigen Wörter in die Kästchen ein. Startet damit, dass die Temperatur höher wird.



Wenn die Wirkungskette wieder zurück zum ersten Element geht und das erste Element beeinflusst, dann nennt man dies ein *Feedback oder Rückmeldung*. Hierzu ein Beispiel aus dem Alltag: Wenn ein Sportler eine gute Leistung vollbracht hat und dafür von seinen Fans gelobt wird, dann spornt ihn das an, es noch besser zu machen. Das Fachwort dafür heißt **Rückkoppelung**. Wenn eine solche Rückkoppelung das erste Element (den Sportler) verstärkt (er strengt sich mehr an), nennt man sie «positive Rückkoppelung». Beim Klima-Beispiel oben ist es so: Die Temperatur steigt → es folgen verschiedene Auswirkungen, die dazu führen, dass die Temperatur weiter steigt. Rückkoppelungen können aber auch negativ sein. Dies ist der Fall, wenn sie das erste Element abschwächen. Löst dazu folgende Aufgabe.

**Lernaufgabe 6**

Studiert die folgende Wirkungskette und füllt die richtigen Wörter in die Kästchen ein. Beginnt damit, dass die Temperatur höher wird. Begründet, weshalb die gezeigte Rückkoppelung negativ ist.

