Klimawandel und Klimapolitik

Schulstufe	Sekundarstufe II
Autoren	Matthias Probst, Moritz Gubler
Jahr	2019

Beteiligte Institutionen:

PHBern
Pädagogische Hochschule

PH LUZERN
PÄDAGOGISCHE HOCHSCHULE

hep/ haute école pédagogique vaud

Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana
SUPSI

Koordination:

GLOBE
Schweiz Suisse Svizzera Switzerland

Fachliche Beratung Klimaforschung:

UNIVERSITÄT BERN
OESCHGER CENTRE
CLIMATE CHANGE RESEARCH

Fachliche Beratung Klimaforschu und Klimapolitik:

sc | nat
Science and Policy
Platform of the Swiss Academy of Sciences
ProClim
Forum for Climate and Global Change

Projektpartner/ Mitfinanzierung:

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Klimawandel und Klimapolitik

Schulstufe	Sekundarstufe II
Autoren	Matthias Probst, Moritz Gubler
Jahr	2019
Angaben zu Titelbild	Der italienische Künstler Filippo Minelli hat den weltweit ersten Solarskilift Tenna im Safiental mit Riesen-Emoticons verziert. (Quelle: https://www.nzz.ch/panorama/die-freiluftschau-art-safiental-kunst-auf-eigene-gefahr-ld.106311; zuletzt besucht am 3.11.2019)

Herausgeber
GLOBE
PHBern
PHLuzern
Hep
Supsi
Uni Bern
SCNAT
BAFU

https://www.education21.ch/de/themendossier/klima#edu21-tab5

Rechte und www.fair-kopieren.ch

CLIMATE CHANGE EDUCATION AND SCIENCE OUTREACH [CCESO]

1 Klimawandel – beobachtbar und messbar

Der Klimawandel ist beobachtbar und messbar geworden: In der Schweiz ist seit Beginn der systematischen Messungen im Jahr 1864 die Temperatur im Jahresmittel um rund 2 Grad Celsius gestiegen (vgl. Abb. 1.2), global um knapp 1 Grad Celsius.

Abb. 1.1: Klimawandel in der Schweiz erkennen, messen und vermindern – Thun mit Thunersee und Niesen, mit Blick in Richtung Süden (Quelle: Stadt Thun)

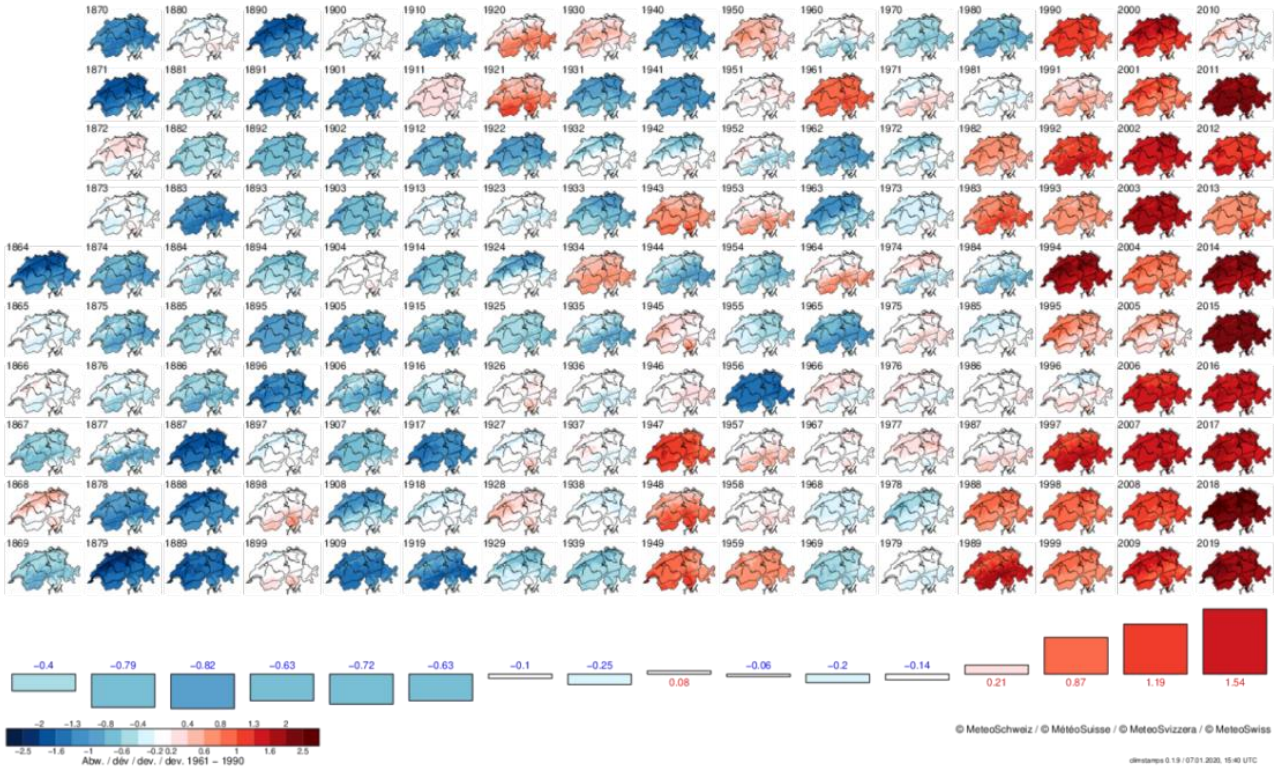


Abb. 1.2: Temperaturabweichungen vom Mittelwert der Referenzperiode (1961 – 1990) in der Schweiz für jedes Jahr seit 1864. Jahre unter dem Mittel sind in blau, Jahre über dem Mittel rot dargestellt. Im unteren Teil der Grafik sind die Abweichungen der einzelnen Jahrzehnte als eingefärbte Säulen dargestellt. (Quelle: MeteoSchweiz 2020)

Lernaufgabe 1

Stellen Sie Ihre Erfahrungen und Ihr Wissen zum Klimawandel zu folgenden Fragen mit Bezug zu den Abbildungen 1.1 und 1.2 zusammen:

a) Welche Folgen des Klimawandels sind in der Schweiz erkennbar und messbar geworden?

b) Welche Folgen des Klimawandels sind weltweit erkennbar und messbar geworden?

c) Welche Beobachtungen und Erfahrungen zum Klimawandel haben Sie selbst bereits gemacht?

d) Was sind Ihrer Meinung nach die Ursachen des aktuellen Klimawandels?

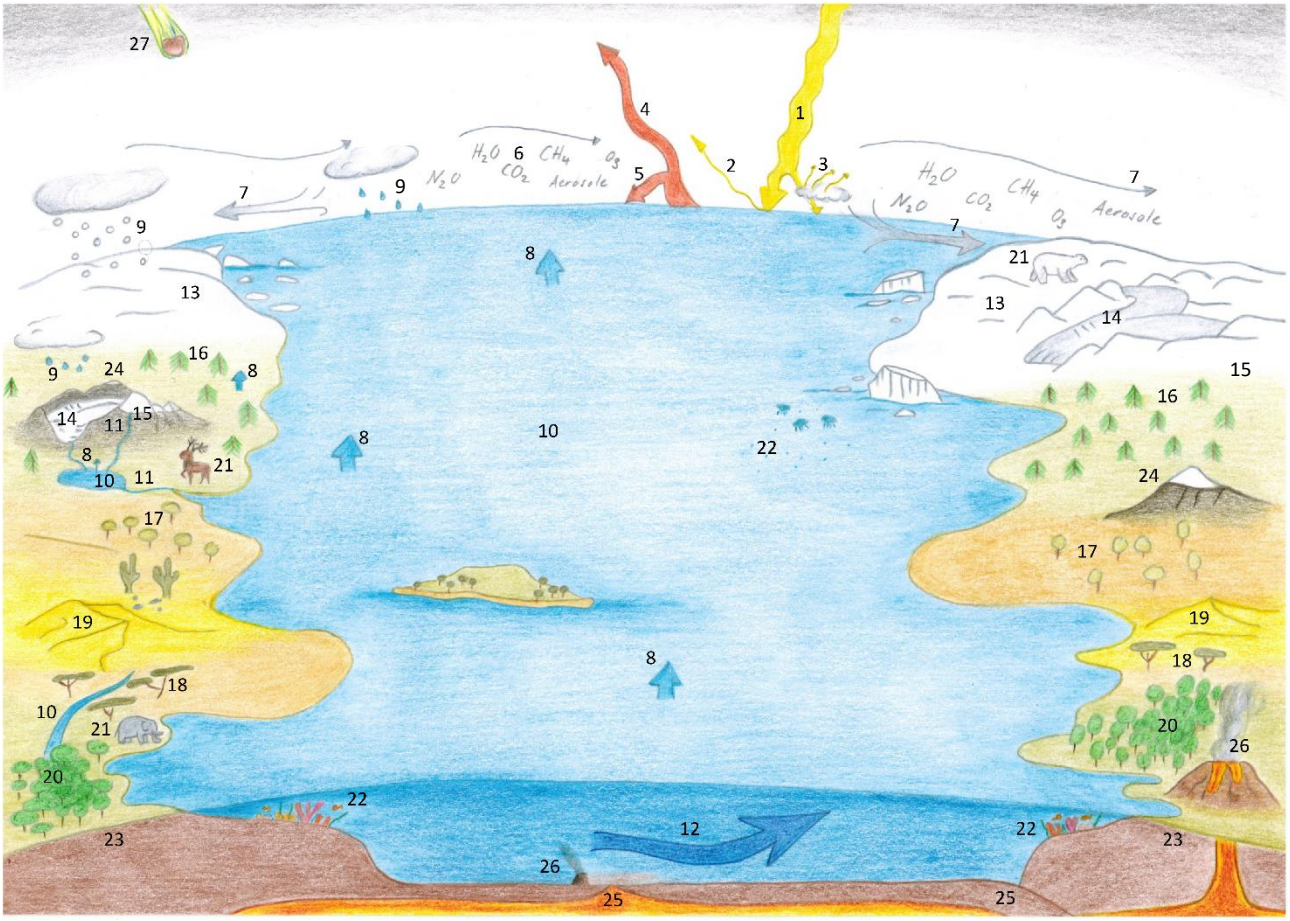
e) Mit welchen Massnahmen kann der Klimawandel vermindert werden und mit welchen Massnahmen ist es möglich, sich an die Auswirkungen des Klimawandels anzupassen?

f) Wie können Sie persönlich den Klimawandel vermindern und wie können Sie sich an die Auswirkungen des Klimawandels anpassen?

g) Was ist Ihnen bezüglich Klimawandel und Klimapolitik nicht klar? Welche Fragen stellen Sie sich?

2 Klimasystem

Die Jahre 2015 bis 2019 waren global gesehen die fünf wärmsten Jahre seit Beginn der globalen Wetteraufzeichnungen im Jahr 1880. Der Generalsekretär der World Meteorogical Organization (WMO) Petteri Taalas stellt fest «17 der 18 wärmsten Jahre gab es seit der Jahrtausendwende, und der Grad der Erwärmung in den vergangenen drei Jahren war ausserordentlich» (WMO, 2018). Trotz dieses Trends unterliegen die globalen Temperaturen von Jahr zu Jahr starken Schwankungen. Die durchschnittlichen Temperaturen einzelner Jahre sagen nichts über die Klimaentwicklung aus, sondern nur über die **Wetterverhältnisse** einzelner Jahre. Um **Klimaveränderungen** zu erfassen, müssen längere Zeiträume von 30 Jahren oder mehr betrachtet werden. Doch haben die heute beobachtbaren und messbaren Anzeichen für einen stattfindenden Klimawandel natürliche oder anthropogene (menschgemachte) Ursachen? Um eine faktenbasierte Klarheit zu schaffen, werden die komplexen Wechselwirkungen im Klimasystem von über 1000 Forschenden weltweit vertieft untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden jeweils im Klimareport des IPCC veröffentlicht, letztmals im Jahr 2014 (vgl. Anhang).



A) Atmosphäre
1. Eintreffende kurzwellige Sonnenstrahlung
2. Reflektierte kurzwellige Sonnenstrahlung
3. Gestreute kurzwellige Sonnenstrahlung
4. Langwellige Wärmestrahlung (Emission)
5. Langwellige Gegenstrahlung
6. Treibhausgase *
7. Winde/Jetstream
8. Verdunstung

*wichtigste Treibhausgase: Wasserdampf H_2O, Kohlenstoffdioxid CO_2, Methan CH_4, Lachgas/Distickstoffmonoxid N_2O, Ozon O_3

B) Hydrosphäre und C) Kryosphäre
9. Niederschlag (Regen, Schnee, Hagel)
10. See/Fluss/Ozean
11. Abfluss
12. Meeresströmung
13. Eisregion (Inlandeis, Meereis)
14. Gletscher
15. Permafrost

D) Biosphäre
16. Nadelwald
17. Laub- und Mischwälder
18. Steppe
19. Wüste
20. Regenwald
21. Fauna
22. Küstenzone (inkl. Organismen im Wasser)

E) Pedosphäre
23. Boden

F) Lithosphäre
24. Gebirge
25. Plattentektonik (divergierende/konvergierende Platten)
26. Vulkane

Exosphäre, interplanetarer Raum
27. Meteoriten- oder Asteroideneinschlag

Abb. 2.1: Sphären, Bestandteile und Prozesse des Klimasystems ohne menschliche Einflüsse (Quelle: Eigene Darstellung Projekt CCESO II. Zeichnung: Michelle Walz, 2019)

Das **Klimasystem** setzt sich aus verschiedenen Bestandteilen («Sphären») zusammen; die Atmosphäre, Hydrosphäre, Kryosphäre, Biosphäre, Pedosphäre, Lithosphäre und Anthroposphäre. Alle Sphären des Klimasystems beeinflussen sich gegenseitig und tragen zu Klimaänderungen bei. Das Klimasystem wird von aussen durch den Energiefluss der Sonne und von innen durch die Erdwärme angetrieben, wobei Letztere einen vernachlässigbar kleinen Einfluss auf das Klima hat. An der Erdoberfläche und in der Atmosphäre finden physikalische Vorgänge statt, wie Einstrahlung von kurzwelliger Sonnenstrahlung (Abb. 2.1: Nr. 1), Absorption und Streuung kurzwelliger Sonnenstrahlung an Luftteilchen und Gasen (3, 6), Reflexion und Absorption kurzwelliger Sonnenstrahlung an der Erdoberfläche sowie deren Umwandlung in langwellige Wärmestrahlung und anschliessende Abstrahlung in die Atmosphäre und Weltraum (2, 4), Absorption und Emission langwelliger Wärmestrahlung durch Treibhausgase (5), Energie- und Wärmetransport durch Windströmungen (7), Verdunstung (8) und Niederschlagsbildung (9).

Lernaufgabe 1

a) Markieren Sie in der Abbildung 1.1 auf Seite 3 Beispiele für die Sphären des Klimasystems, d.h. Atmosphäre, Hydrosphäre, Kryosphäre, Biosphäre, Pedosphäre, Lithosphäre und Anthroposphäre.
b) Stellen Sie in der Abbildung 2.2 die wichtigsten Bestandteile der Sphären des Klimasystems zusammen (Hilfsmittel: Abb. 2.1).
c) Geben Sie in der Abbildung 2.2 wichtige klimarelevante Prozesse zwischen den Sphären mit beschrifteten Pfeilen an.
d) Überprüfen Sie Ihre Überlegungen in der Abbildung 2.2. mit den folgenden Inhalten zum Klimasystem und ergänzen, bestätigen und korrigieren Sie Ihre Zusammenstellung.

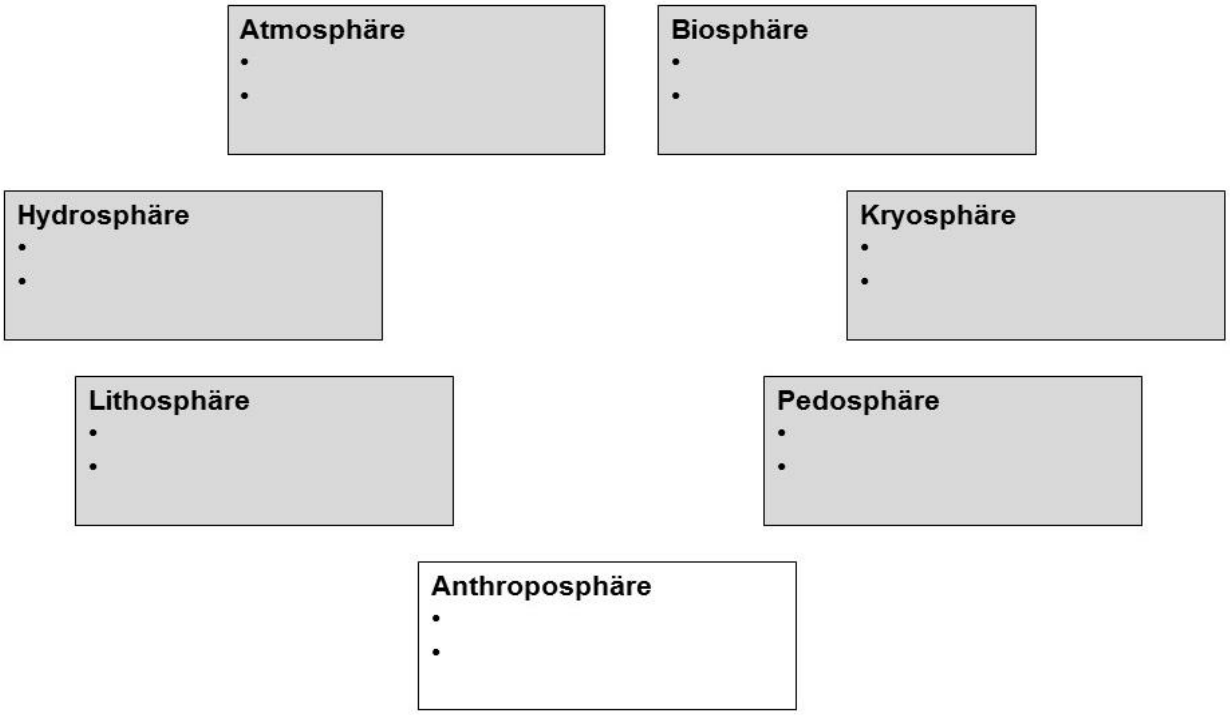


Abb. 2.2: Prozesse zwischen den Sphären des Klimasystems (Quelle: Eigene Darstellung Projekt CCESO II, 2019)

Die verschiedenen Sphären des Klimasystems sind durch **Energie- sowie Stoffkreisläufe** verbunden, wobei die Wechselwirkungen zwischen ihnen einen grossen Einfluss auf das Klima haben. Pflanzen und Plankton der **Biosphäre** bauen bei der Fotosynthese Biomasse und Nährstoffe auf, wobei sie CO_2 binden und so die Konzentration dieses Treibhausgases in der **Atmosphäre** beeinflussen. Die Atmosphäre und Biosphäre sind also an Land und im Wasser durch Fotosynthese, Atmung und Zersetzung verbunden (Abb. 2.1: 16-22), wobei ein andauernder Austausch von Sauerstoff und Kohlenstoff stattfindet.

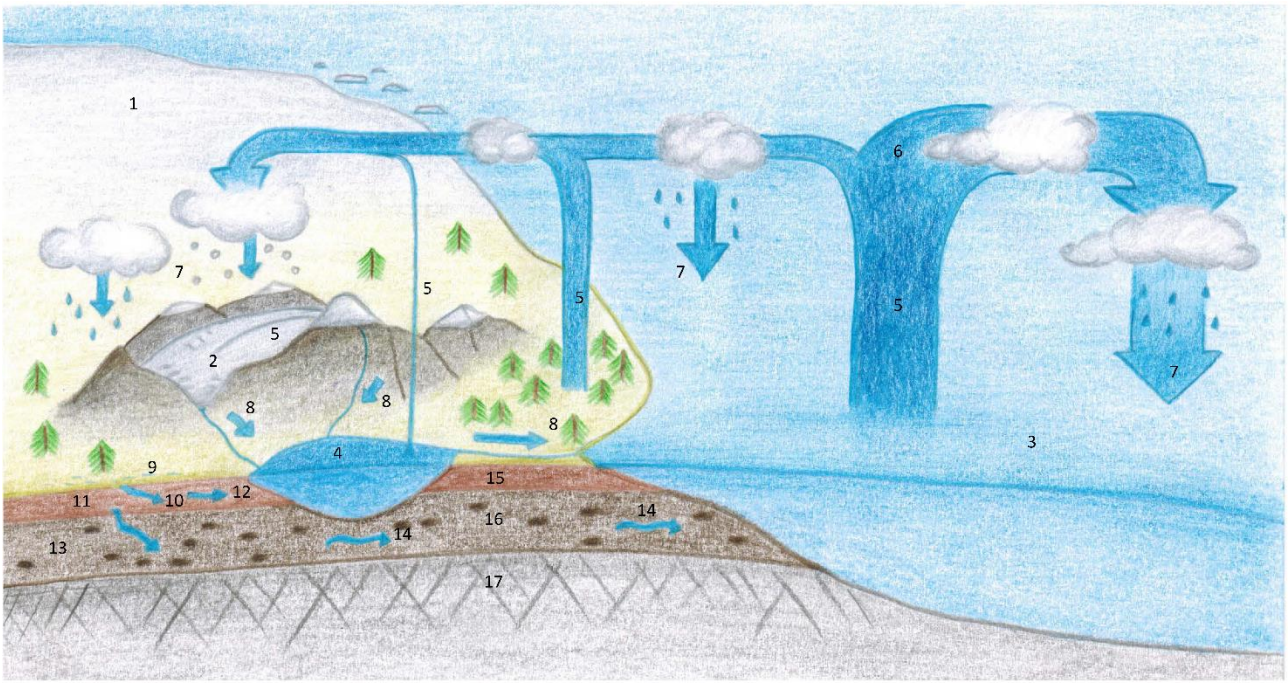
Auch Böden (**Pedosphäre**) sind durch den Kohlenstoffkreislauf mit der Atmosphäre verbunden (23). Die Veränderungen von Bodeneigenschaften wie beispielsweise die Trockenlegung von Mooren oder das Auftauen von ursprünglich ganzjährig gefrorenen Böden (Permafrostböden) kann grosse Mengen von CO_2 und Methan (CH_4) freisetzen (15). Bei der Verwitterung von (Silikat-)Gesteinen der **Lithosphäre** (24-26) wird CO_2 aus der Atmosphäre im verwitterten Gesteinsmaterial gebunden. Bei Vulkanausbrüchen führen die

ausgestossenen Schwefelverbindungen dazu, dass mehr Sonnenlicht gestreut wird und sich die Atmosphäre vorübergehend abkühlt (26).

Die Prozesse der **Hydrosphäre** sind sehr eng mit der Atmosphäre verbunden und haben einen besonders starken Einfluss auf unser Klima (vgl. Abb. 2.1). Ozeane speichern die Energie aus der absorbierten kurzwelligen Sonnenstrahlung über Jahrhunderte (10) und transportieren diese in Form von warmen Meeresströmungen über tausende Kilometer (12), was einerseits zu regionalen Temperaturunterschieden und andererseits zu einem globalen Ausgleich des Energiehaushaltes führt. So ist das Klima in Westeuropa stark durch den wärmenden Golfstrom aus dem Golf von Mexiko bestimmt. Atmosphäre, Hydrosphäre und Kryosphäre sind verbunden durch Verdunstung und Niederschlag auf und über Wasser- und Eisflächen (8, 9, 10, 13, 14). In der Atmosphäre hat Wasser in Form von Wolken oder Wasserdampf (6) einen massgeblichen Einfluss darauf, wieviel kurzwellige Sonneneinstrahlung gestreut wird (2, 3) und wie durchlässig die Atmosphäre für langwellige Wärmestrahlung ist (5).

Auf der Erdoberfläche beeinflussen Böden, Vegetation und Gestein durch ihre Farbe die Reflexion der kurzwelligen Sonnenstrahlung. Da Schnee und Eis der **Kryosphäre** eine hohe Reflexivität (Albedo) haben (13, 14), wirkt sich die Grösse dieser Flächen auf die Reflexion und Absorption der kurzwelligen Sonnenstrahlung aus, was wiederum einen direkten Einfluss auf die Lufttemperatur hat. Dabei besteht ein positiver Rückkopplungsmechanismus: Je wärmer es auf der Erde ist, desto mehr Schnee und Eis schmilzt, desto geringer ist die Reflexion (bzw. grösser die Absorption) der Sonnenstrahlung und desto stärker steigen die Temperaturen auf der Erde an.

Der **Wasserkreislauf** ist nicht nur für das Klima entscheidend, sondern zusammen mit dem Kohlenstoffkreislauf die wichtigste Schnittstelle zwischen den Sphären des Klimasystems (vgl. Abb. 2.3). Die Verdunstung und Kondensation von Wasser verbinden die Pedosphäre, Biosphäre, Hydrosphäre und Kryosphäre mit der Atmosphäre. Die Ozeane, die Atmosphäre, die Seen und Flüsse, die Gletscher, und das Grundwasser sind Wasserspeicher. Im Wasserkreislauf bewegt sich das Wasser von einem Speicher zum anderen.



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

Abb. 2.3: Wasserkreislauf der Erde (Quelle: Eigene Darstellung Projekt CCESO II. Zeichnung: Michelle Walz, 2019)

Die **Sphären des Klimasystems reagieren auf Veränderungen** unterschiedlich schnell (vgl. Tab. 2.1). Die Eigenschaften der Atmosphäre passen sich innerhalb von Stunden bis Tagen den Bedingungen der Erdoberfläche an (z.B. Meerestemperatur, Eisbedeckung). Die Strömungen der Tiefsee hingegen reagieren erst in vielen Jahrhunderten vollständig auf veränderte Einflüsse, wie etwa Veränderungen des Golfstroms und die daraus resultierenden Änderungen von Temperaturen und Niederschlägen an der Meeresoberfläche. Ein

grosses Inlandeisgebiet wie die Antarktis wird sich durch den Klimawandel vermutlich über viele Jahrtausende nur langsam verändern und ohne Gegenmassnahmen in diesem Zeitraum nach und nach abschmelzen.

Die **Vorhersagbarkeit des Klimas** basiert auf den Wechselwirkungen zwischen den Sphären des Klimasystems. Dabei laufen die Prozesse in den Sphären des Klimasystems mit völlig unterschiedlichen Geschwindigkeiten ab (vgl. Tab. 2.1). Während sich Tiefdruckgebiete innerhalb von Tagen über Hunderte von Kilometern verschieben, bewegen sich Meeresströmungen oftmals mit wenigen Metern pro Minute. Zudem haben die einzelnen Komponenten verschiedene Wärmeeigenschaften, Wasser etwa speichert für lange Zeit grosse Mengen Energie aus der absorbierten kurzwelligen Sonnenstrahlung. Unser Klima auf der Erde ist insgesamt ein sehr komplexes System und jeder Eingriff in dieses System kann eine Reihe von Veränderungen hervorrufen, die in ihrer Komplexität und ihrem Ausmass nur schwierig vorhersehbar sind.

Sphären des Klimasystems (griech. sphaira = Kugel)	**Klimarelevante Prozesse**	**Zeitskala** (Reaktionsgeschwindigkeit)
Atmosphäre (griech. «atmos» = Dampf) ist die Lufthülle der Erde, setzt sich aus verschiedenen Gasen und Partikeln zusammen.	Wetterdynamik in der Troposphäre (ca.0-10km) mit Strahlungsprozessen, Temperatur- sowie Luftdruckveränderungen und Wind, beeinflusst durch die Sonne und die physikalisch- chemischen Eigenschaften der Gase	1-10 Tage
	Durchmischungsprozesse in der Stratosphäre	100 Tage bis ca. 2 Jahre
Hydrosphäre (griech. «hydor» = Wasser) umfasst sämtliche Wasservorkommen der Erde (Ozeane, Flüsse, Seen, Grundwasser, Niederschlag, Wolken).	Wasserkreislauf: Strömungen und Wärmeausbreitung im oberen Ozean (0-100km), Wolken- und Niederschlagsbildung, Speicherung, Freisetzung und Austausch von Wärme und Stoffen (z.B. CO_2)	Tage bis Jahre
	Durchmischung des tiefen Ozeans (Meeresströmungen; Wärme- und Stoffspeicher)	Jahrhunderte bis Jahrtausende
Kryosphäre (griech. «kryo» = Frost) umfasst alle Formen von Schnee und Eis (ausser Eis in Wolken), d.h. Meereis, Schelfeis, Inlandeis, Talgletscher und Permafrost.	Reflexion kurzwelliger Sonneneinstrahlung (beeinflusst Lufttemperatur, Luftdruck, Niederschlag)	Minuten bis Monate
	Ausdehnung von Meereis (beeinflusst Meeresströmungen)	Monate bis Jahrzehnte
	Ausdehnung von Talgletschern und Inlandeis (Wasserspeicher, Albedo)	Jahrzehnte bis Jahrhunderte
	Aufbau und Zerfall von Permafrost und Inlandeismassen (Freisetzung Treibhausgase, Veränderung Meeresströmungen, Meeresspiegelanstieg)	Jahrtausende bis Jahrmillionen
Biosphäre (griech. «bios» = Leben) umfasst sämtliches Leben in terrestrischen und aquatischen Ökosystemen.	Bindung von Kohlenstoff (z.B. CO_2, CH_4) in Pflanzen und Plankton durch Fotosynthese	Minuten
	Freisetzung von Kohlenstoff (z.B. CO_2, CH_4) bei Zerkleinerung und Zersetzung von Biomasse oder durch Brände	Minuten bis Jahre
	Verschiebung von Vegetationszonen	Jahrhunderte bis Jahrtausende
Pedosphäre (griech. «pedon» = Erdboden) umfasst alle Böden, bestehend aus verwittertem Gestein, lebenden und toten Organismen, Wasser und Luft.	Erwärmung des Bodens durch kurzwellige Sonnenstrahlung	Stunden bis Jahre
	Speicherung von Wasser (z.B. Grundwasser)	Tage bis Jahrzehnte
	Auf- und Abbau sowie Speicherung von Mineralien und organischem Material	Monate bis Jahrhunderte
Lithosphäre (griech. «lithos» = Stein) umfasst die starre Erdkruste und den oberen festen Erdmantel aus Gestein.	Speicherung von CO_2 durch Verwitterung von (Silikat-)Gestein	Kontinuierlich
	Vulkanausbrüche: Freisetzung von Wasserdampf H_2O, Kohlendioxid CO_2, Schwefeldioxid SO_2 und anderen Gasen	Minuten bis Monate
	Sedimentation organischer Substanzen (Kohlenstoff) in Seen und im Ozean	Kontinuierlich
	Plattentektonik und Gebirgsbildung	Jahrhunderte bis Jahrmillionen
Anthroposphäre (griech. «anthropos» = Mensch) umfasst den vom Menschen geschaffene und indirekt und direkt beeinflusste Lebensraum.	Ausstoss von Treibhausgasen (beeinflusst Atmosphäre)	Minuten bis Jahrhunderte
	Abholzung, Brandrodung und Landwirtschaft (beeinflusst Biosphäre)	Stunden bis Jahrhunderte
	Bewässerung und Wasserkraftproduktion (beeinflusst Hydrosphäre)	Stunden bis Jahrzehnte
	Abdeckung von Gletschern, Produktion von Kunstschnee (beeinflusst Kryosphäre)	Stunden bis Monate
	Düngung und Bodenerosion durch Landwirtschaft (beeinflusst Pedosphäre)	Tage bis Jahrhunderte
	Abbau fossiler Brennstoffe (beeinflusst Lithosphäre)	Tage bis Jahrhunderte

Tab. 2.1: Sphären und ausgewählte Prozesse des Klimasystems und ihre typischen Zeitskalen (angepasst und erweitert nach https://geolinde.musin.de/index.php/klima1/klimaeinfuehrung/1263-klimasystem-reaktion-2.html; zuletzt besucht am 29.8.2019).

Lernaufgabe 2

a) «Klima ist das, was man erwartet; Wetter ist das, was man bekommt» (Robert A. Heinlein, 1973). Erläutern Sie das Zitat mit Hilfe der Tabelle 2.1.

b) In den Polargebieten ist der beobachtete Temperaturanstieg rund 1.5 bis 2 Mal stärker als im globalen Mittel. Erklären Sie mögliche Gründe.

2.1 Treibhauseffekt und Energiebilanz der Erde

Von der Sonne gelangt kurzwellige Strahlung in die Erdatmosphäre und auf die Erdoberfläche, welche wir als Licht wahrnehmen. Die von uns wahrgenommene Wärmestrahlung bildet sich hingegen erst indirekt aus der Sonnenstrahlung und erwärmt unter bestimmten Bedingungen die Atmosphäre.

Lernaufgabe 3

a) Beurteilen Sie die Auswirkungen, die ein Fehlen von Treibhausgasen auf die Atmosphäre und die anderen Sphären des Klimasystems hat (Abb. 2.4 und 2.5; Film «Was ist der Treibhauseffekt?»).
b) Beurteilen Sie den Einfluss der natürlichen Treibhausgase auf die Atmosphäre und die anderen Sphären des Klimasystems (Abb. 2.5; Film «Was ist der Treibhauseffekt?»).
c) Beurteilen Sie den Einfluss der natürlichen und anthropogenen Treibhausgase auf die Atmosphäre und auf die anderen Sphären des Klimasystems (Abb. 2.6; Film «Was ist der Treibhauseffekt?»).

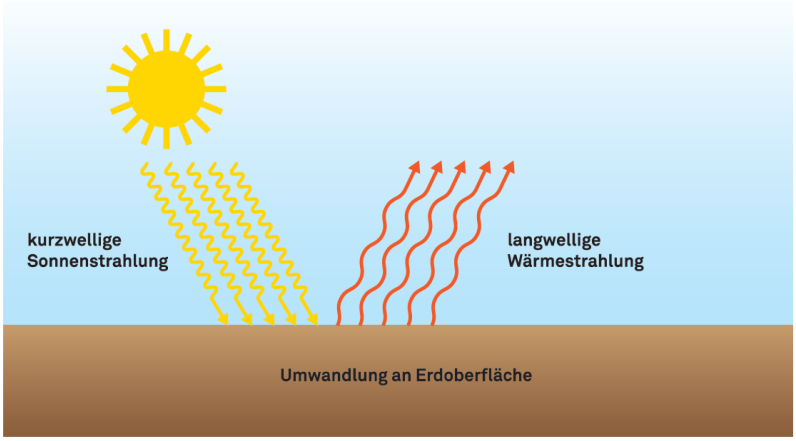


Abb. 2.4: Erde ohne Atmosphäre, globale Durchschnittstemperatur -18 °C (Quelle: Projekt CCESO II, 2019)

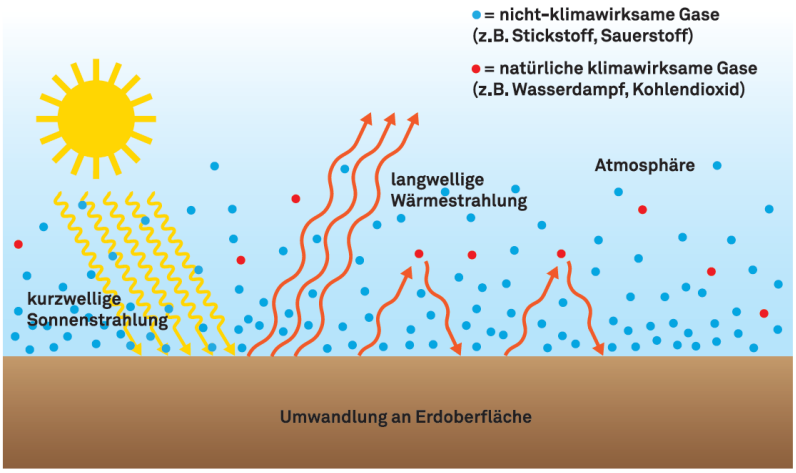


Abb. 2.5: Atmosphäre mit natürlichen Treibhausgasen, globale Durchschnittstemperatur ca. +15 °C (Quelle: Projekt CCESO II, 2019)

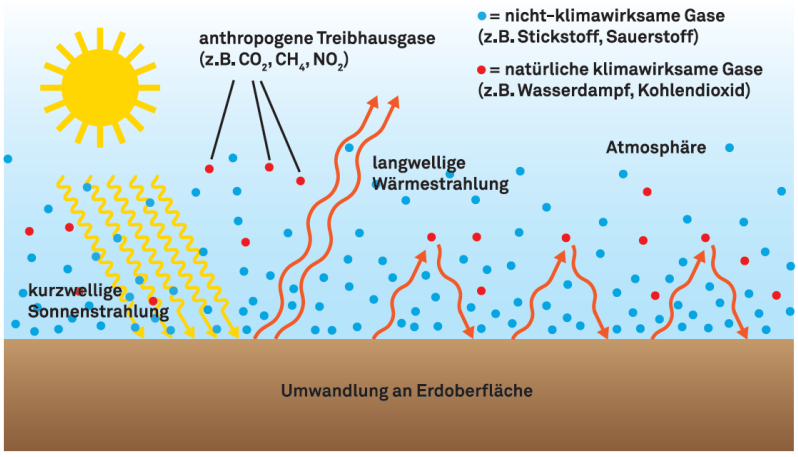
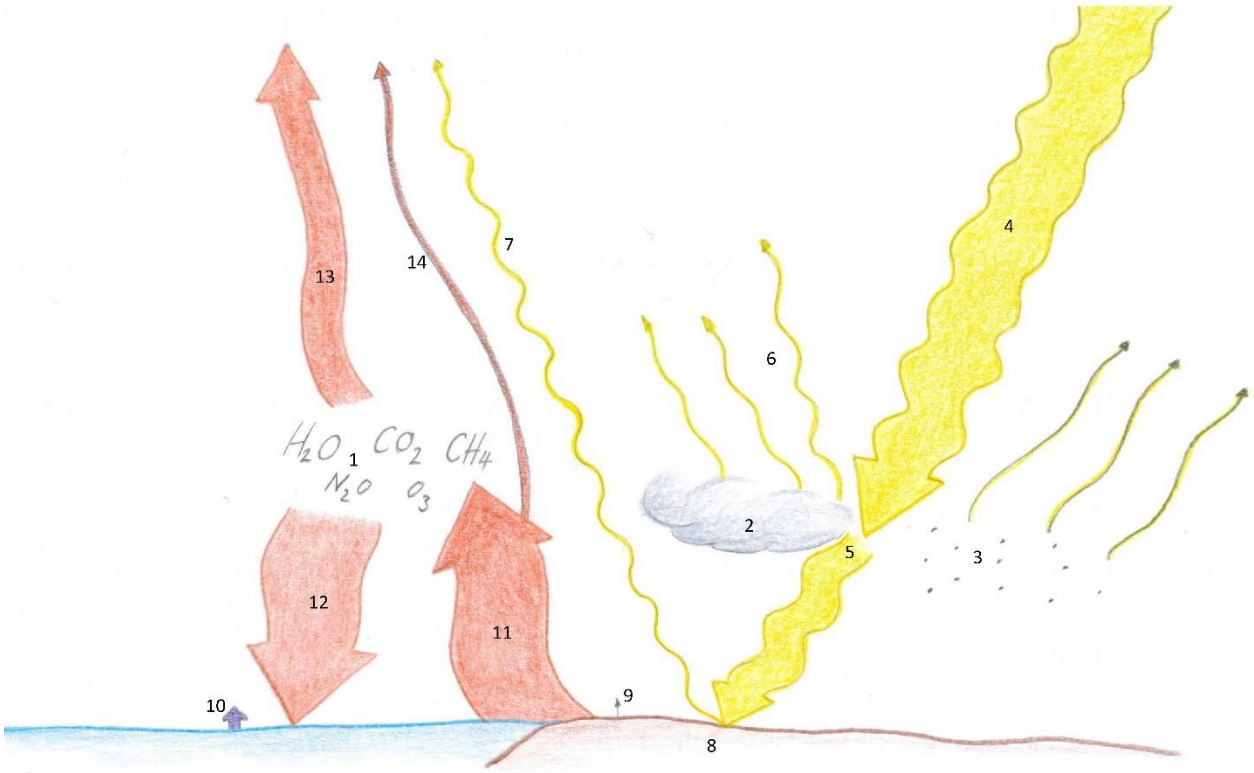


Abb. 2.6: Atmosphäre mit natürlichen und anthropogenen Treibhausgasen, globale Durchschnittstemperatur +15 °C plus ? °C. (Quelle: Projekt CCESO II, 2019)



1. Treibhausgase
2. Wolken
3. Aerosole
4. Solare Einstrahlung
5. Absorption durch Treibhausgase, Wolkentröpfchen, Aerosole
6. Streuung durch Wolken
7. Reflexion am Boden
8. Absorption am Boden
9. Sensible Wärme (fühlbare Wärme)
10. Latente Wärme (Wasserdampf)
11. Abstrahlung langwelliger Strahlung von Erdoberfläche
12. Langwellige Gegenstrahlung (Abstrahlung von Treibhausgasen, Wolkentröpfchen, Aerosolen)
13. Langwellige Strahlung
14. Abstrahlung durch «atmosphärisches Fenster»

Abb. 2.7: Strahlungshaushalt der Erde (Quelle: Eigene Darstellung Projekt CCESO II. Zeichnung: Michelle Walz, 2019)

Von der Sonne gelangt energiereiche, kurzwellige Strahlung in die Atmosphäre und auf die Erde (Abb. 2.7, Nr. **4**). Ein Teil dieser Strahlung wird von Treibhausgasen (**1**), Wolken (**2**) und Aerosolen **(3)** bereits in der Atmosphäre absorbiert (**5**). Ein anderer Teil wird von den Wolken **(2)** und Aerosolen **(3)** gestreut (**6**). Dieser Anteil der Strahlung erreicht die Erdoberfläche nicht, sondern gelangt wieder zurück ins All. Etwa die Hälfte der Strahlung erreicht jedoch die Erdoberfläche, da die Treibhausgase weitgehend durchlässig für kurzwellige Sonnenstrahlung sind. Ein kleiner Teil davon wird durch helle Oberflächen (z.B. Schnee und Eis) reflektiert (**7**). Der grössere Teil dieser kurzwelligen Strahlung wird von Wasser, Gesteinen, Böden, Grasflächen, Asphaltflächen und anderen Oberflächen aufgenommen (**8**), wobei sie sich erwärmen. Die erwärmten Materialien geben die Wärme in Form von langwelliger Wärmestrahlung wieder in die Atmosphäre ab (**11**).

Hier setzt der **natürliche Treibhauseffekt** ein: Natürlich vorkommende Treibhausgase in der Atmosphäre absorbieren die vom Erdboden umgewandelte und wieder abgegebene, langwellige Wärmestrahlung (**11**) in hohem Masse und strahlen sie wiederum Richtung Erdoberfläche (**12**) oder Weltall (**13**). Somit gelangt nur ein kleiner Teil der langwelligen Wärmestrahlung auf direktem Weg ins Weltall (14) und ein Grossteil bleibt in der Atmosphäre (12), was zu einem Temperaturanstieg in der Erdatmosphäre führt. Dieser Effekt existiert bereits unter natürlichen Bedingungen, wobei Wasserdampf mit rund 65% und (natürliches) CO_2 mit 22% Anteil an der Erwärmung die wichtigsten Treibhausgase sind.

Obschon der Treibhauseffekt in unserer Atmosphäre oftmals mit der Erwärmung in einem Treib- oder Glashaus verglichen wird, stecken unterschiedliche physikalische Prozesse dahinter. Während im Treibhaus das Glas (oder die Folie) den Wärmestrom nach draussen «blockiert», sind es in der gesamten Atmosphäre verteilte Treibhausgase (keine Schicht!), welche die langwellige Wärmestrahlung absorbieren und wieder zurück zur Erde emittieren. In diesem Sinne müsste der atmosphärische *Treibhauseffekt* korrekterweise als «*Strahlenfalle*» bezeichnet werden.

Aufgrund der langwelligen Gegenstrahlung erwärmen sich die Erdoberfläche und die untersten Luftschichten zusätzlich, was zur Erhöhung der Energiebilanz auf und über der Erdoberfläche führt. Ein Teil dieser langwelligen Wärmestrahlung aus der Luft wird von Seen, Meeren und Ozeanen aufgenommen, was zu deren Erwärmung führt. Dieser zusätzliche Energieeintrag (erhöhte Energiebilanz) sorgt dafür, dass es auf und über der Erdoberfläche mehr als 30 °C wärmer ist, als ohne den natürlichen Treibhauseffekt.

Der **anthropogene Treibhauseffekt** ist nichts anderes als die Verstärkung des natürlichen Treibhauseffektes durch Aktivitäten des Menschen. Mit der Verbrennung fossiler Energieträger (Kohle, Öl, Gas aus der Lithosphäre), durch grossflächige Abholzung und durch Methan und Distickstoffmonoxid aus der landwirtschaftlichen Produktion steigt die Menge und Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre an. Damit wird mehr Wärmestrahlung von der Erde wieder auf sie zurückgeworfen. Diese zusätzliche Energie verstärkt den Energieeintrag auf der Erde und in der untersten Atmosphärenschicht – es wird wärmer als durch den natürlichen Treibhauseffekt allein.

Lernaufgabe 4

Beschreiben und begründen Sie die Wirkung folgender Veränderungen auf die lokale und globale Temperatur der Atmosphäre mit Hilfe der Abb. 2.7.
a) Ein Super-Vulkan bricht aus und stösst grosse Mengen von Aerosolen aus.
b) Durch die ungebremste Verbrennung von Erdöl steigt der Treibhausgasgehalt weiter an.
c) Dächer, Strassen und Plätze werden weltweit weiss angestrichen.
d) Die Bewölkung nimmt weltweit markant zu.

Medien für Bearbeitung der Lernaufgaben
Film «Was ist der Treibhauseffekt?»: https://www.planet-schule.de/sf/filme-online.php?film=10117 (zuletzt besucht am 29.8.2019)

2.2 Kohlenstoffkreislauf – Quellen, Senken und Speicher

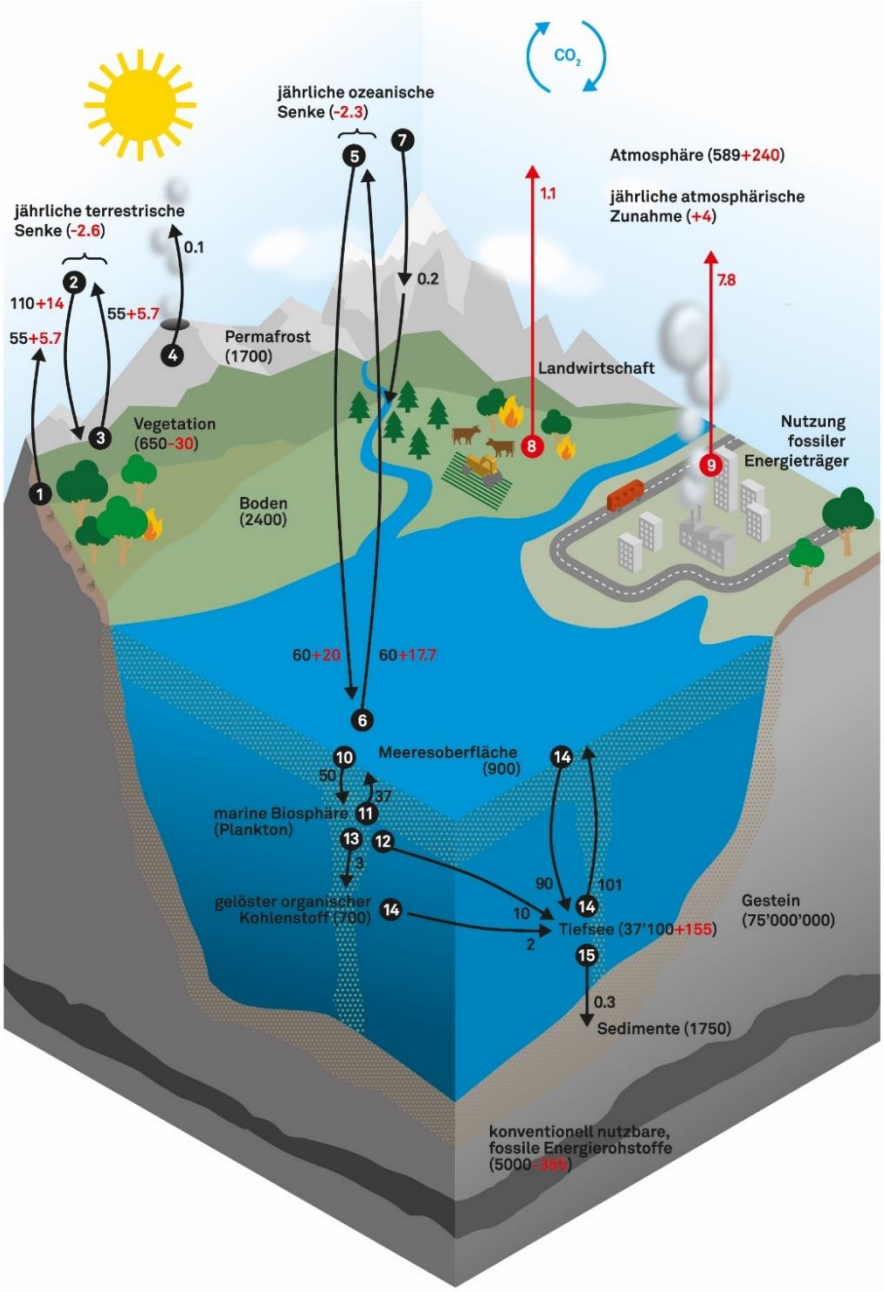


Abb. 2.8: Bestandteile, Prozesse und Grössenordnungen des natürlichen und anthropogen beeinflussten Kohlenstoffkreislaufs (Quelle: Eigene Darstellung Projekt CCESO II, 2019)

1) Zersetzung von abgestorbenem organischem Material, v.a. Pflanzen (55 +5.7)
2) Fotosynthese (110 + 14)
3) Pflanzenatmung und natürliche Brände (55 +5.7)
4) Vulkanismus (0.1)
5) Lösung von CO_2 im Ozean (60 + 20)
6) Ausgasung von CO_2 aus dem Ozean (60 + 17.7)
7) Verwitterung von Gestein (0.2)
8) Landwirtschaft, Landnutzungsänderungen und Brandrodung (1.1)
9) Verbrennung fossiler Energieträger (7.8)
10) Netto-Fotosynthese mariner Organismen, d.h. abzüglich Atmung (50)
11) Zersetzung von abgestorbenem organischem Material im Oberflächenozean (37)
12) Absinken und Zersetzung von toten organischen Partikeln in die Tiefe (10)
13) Transport von gelöstem organischen Material in die Tiefe (3)
14) Durchmischung und Transport (↘ 2, ↓ 90 , ↑ 101,)
15) Sedimentation und Diagenese von toten, organischen Partikeln (0.3)

↑ C-Quelle natürlich, ↑ C-Quelle anthropogen
↓ C-Senke natürlich, ↓ C-Senke anthropogen

Flüsse bei C-Quellen und C-Senken (Pfeile) in Gt/Jahr C, schwarz = natürlich, rot = aktueller anthropogener Einfluss

Gehalte bei C-Speicher in GT C, schwarz=natürlich, rot =anthropogener Einfluss seit Industrialisierung

Lernaufgabe 5

a) Wo wird Kohlenstoff auf der Erde in die Atmosphäre freigesetzt (Quelle), aus der Atmosphäre in andere Sphären aufgenommen (Senke) und für längere Zeit gespeichert (Speicher)? Bestimme und beurteile Quellen, Senken und Speicher von Kohlenstoff auf der Erde mit Hilfe der Abbildung 2.8.
b) Welches sind in Bezug auf den anthropogenen Klimawandel besonders wichtige Senken und Speicher für Kohlenstoff? Begründen Sie mit Hilfe des Films «Klima – der Kohlenstoffkreislauf».

Kohlenstoff ist ein wichtiges Element des Lebens. Der Körper des Menschen besteht überwiegend aus Kohlenstoff (C), ebenso tierische oder pflanzliche Biomasse wie Blätter und Holz. Pflanzen an Land und Algen im Meer nehmen das gasförmige Kohlenstoffdioxid (CO_2) aus Atmosphäre und Wasser auf und wandeln es bei der Fotosynthese in energiereiche Moleküle wie Glukose (Traubenzucker) und Kohlenhydrate um (vgl. Abb. 2.8; Nr. 2, 10). Nach Absterben der Organismen (z.B. Pflanzen, Plankton, Tiere) wird der Kohlenstoff durch Zersetzungsprozesse wieder frei und an die Atmosphäre (1) oder die Hydrosphäre (11) abgegeben. Durch den Stoffwechsel von Organismen und natürliche chemische Prozesse in Wasser, Boden, Gestein, Lebewesen und Luft (3) wechselt der Kohlenstoff immer wieder seinen Zustand. Er wird fest in Materie eingebunden (2,15) oder geht gasförmig als CO_2 in die Atmosphäre über (3, 4, 6). Das Meer und das darin lebende Plankton speichern mehr Kohlenstoff als die Atmosphäre und die Landbiosphäre (Pflanzen und Tiere). Noch grössere Mengen an Kohlenstoff sind in der Lithosphäre, also den Gesteinen der Erde (z.B. Kalkstein) gebunden oder lagern in Form von fossilen Lagerstätten unter der Erdoberfläche (Erdöl, Erdgas, Kohle). Zudem wird bei der Verwitterung von (Silikat-)Gestein Kohlenstoff gebunden (7) und bei Vulkanausbrüchen freigesetzt (4).

Atmosphäre, Meerwasser, Lithosphäre, Boden und Pflanzen sind wichtige **Speicher von Kohlenstoff**, welche auch permanent Kohlenstoff austauschen:

- Die Luft ist ein Gemisch aus verschiedenen Gasen, das heute zu 0.04% aus Kohlenstoffdioxid besteht.
- Im Wasser kommt Kohlenstoff als gelöstes CO_2 vor (5), das auch wieder an die Luft entweichen kann (6).
- In der Lithosphäre kommt Kohlenstoff in Kalkstein vor, der sich aus Überresten toter Lebewesen mit kohlenstoffhaltigen Kalkschalen (z.B. Muscheln, Foraminiferen) bildet (12 – 15). Vor Millionen vor Jahren abgestorbene Pflanzenreste wandeln sich über tausende Jahre in Kohle (90% aus Kohlenstoff), Erdgas und Erdöl um. Weil Kohle, Erdgas und Erdöl vor sehr langer Zeit entstanden sind, bezeichnet man sie als *fossile* Brenn- oder Treibstoffe (15).
- In den Boden gelangt Kohlenstoff über abgestorbene Pflanzen, welche in der Humusauflage von Bodenlebewesen zersetzt und wieder zu neuen Huminstoffen aufgebaut werden, die wiederum Kohlenstoff und andere Nährstoffe für das Pflanzenwachstum bereitstellen (1, 2).
- Pflanzen an Land sowie Algen und Plankton im Wasser bauen bei der Fotosynthese mit Hilfe der Sonnenstrahlung und des CO_2 der Luft den energiereichen Nährstoff Glukose auf. Glukose ist der Grundbaustein von Kohlenhydraten, der Kohlenstoff enthält und als Zellulose in Holz, als Stärke in Gemüse oder Zucker in Früchten gespeichert wird (2, 10).

Der Austausch zwischen diesen Speichern vollzieht sich teilweise über Jahrhunderte, was auf den ersten Blick langsam erscheint. Bedenkt man aber, dass Kohlenstoff in den Gesteinen der Erdkruste für Jahrmillionen gebunden bleibt, dann kann man den Austausch zwischen den Kohlenstoffreservoiren Atmosphäre, Meerwasser, Lithosphäre, Boden und Pflanzen durchaus als schnell bezeichnen. Eingriffe des Menschen in den Kohlenstoffkreislauf stellen in den meisten Fällen eine unnatürliche Beschleunigung der Austauschprozesse dar, beispielsweise durch das Verbrennen fossiler Energieträger (9), die Trockenlegung von Moorgebieten oder die Brandrodung von Wäldern (8).

Lernaufgabe 6

Beurteilen Sie kritisch die Aussagen auf den beiden Informationstafeln (Abb. 2.9) und begründen Sie Ihre Position.

Abb. 2.9: Informationstafeln zum Nutzen vom Maisanbau für Mensch und Umwelt, Region Bern. (Quelle: M. Gubler, 2018)

Lernaufgabe 7

a) Die älteste und wichtigste Messstation für den CO_2-Gehalt der Atmosphäre befindet sich auf dem Vulkan Mauna Loa auf Hawaii (USA). Erklären Sie mögliche Gründe für diesen Standort.
b) Interpretieren Sie den Kurvenverlauf des CO_2-Gehalts (Abb. 2.10, rote Linie) möglichst präzis.
c) Wie würde eine Messkurve des atmosphärischen CO_2-Gehalts am Südpol aussehen?

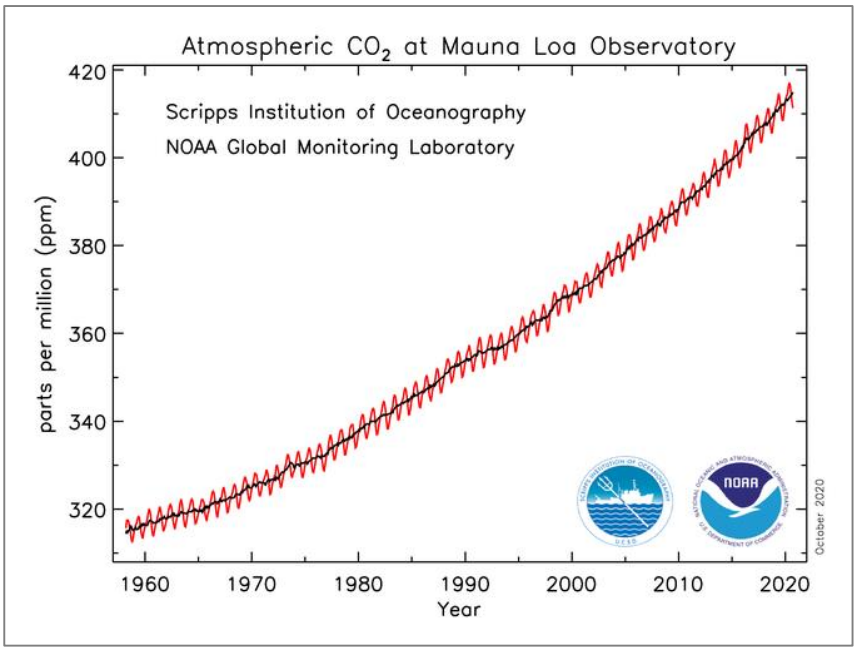


Abb. 2.10: CO_2-Gehalt der Atmosphäre während der letzten 62 Jahre, gemessen auf dem Mauna Loa (Hawaii, USA). (Quelle: NOAA, 2020)

Medien für Bearbeitung der Lernaufgaben

Film «Klima – der Kohlenstoffkreislauf»: https://www.youtube.com/watch?v=KX0mpvA0g0c (zuletzt besucht am 29.8.2019)

3 Natürlich und anthropogen verursachte Klimaveränderungen

Klimaskeptikerinnen und -skeptiker stellen immer wieder den menschlichen Einfluss auf den Klimawandel der letzten Jahrzehnte mit unterschiedlichen Argumenten in Frage. Die Forschung stellt sich der Frage nach dem Einfluss des Menschen aufs Klima, indem sie natürliche Klimaveränderungen und ihre Einflussfaktoren bis zu Jahrmillionen zurück untersucht und mit dem Klimawandel der letzten Jahrzehnte vergleicht.

Lernaufgabe 1

a) Beurteilen Sie die Korrektheit der Aussagen 1 bis 8 und begründen Sie Ihre Antwort möglichst präzis.
b) Geben Sie bei jeder Aussage auch Ihre Unsicherheiten an, resp. die Grundlagen und Informationen, die Ihnen zur Beurteilung fehlen.
c) Diskutieren Sie Ihre Ergebnisse in der Klasse und ergänzen Sie Ihre Antworten, Begründungen und Unsicherheiten.
d) Überprüfen Sie anschliessend Ihre Antworten, Begründungen und Unsicherheiten mit dem aktuellen Forschungswissen zu den Ursachen des Klimawandels im folgenden Kapitel. Ziehen Sie dabei auch Ihre Überlegungen aus der Aufgabe 1d (Kapitel 1, Seite 4) mit ein.

Aussage	Korrekt?	Begründung	Unsicherheiten
1. Vulkane setzen mehr CO_2 frei als menschliche Aktivitäten.			
2. In der Erdgeschichte hat sich das Klima immer schon verändert, lange bevor es Autos, Flugzeuge und Kohlekraftwerke gab.			
3. Wegen den Treibhausgasemissionen vergrössert sich das Ozonloch. So kommt mehr Sonnenstrahlung zur Erdoberfläche und darum wird es auch stetig wärmer.			
4. Nur ca. 3% des weltweiten CO_2-Ausstosses sind menschgemacht, das Meiste entstammt natürlichen Quellen.			
5. Veränderungen in der Sonneneinstrahlung sind für die aktuelle Klimaveränderung verantwortlich.			
6. Trotz steigender CO_2-Emissionen kühlte sich die Erde von 1945 bis 1975 ab.			
7. Wegen sinkender Sonnenaktivität wird der Klimawandel so oder so demnächst pausieren.			
8. Im Mittelalter war es schon einmal wärmer als heute. Schliesslich nannten die Wikinger Grönland (altnordisch für «Grünland») nicht umsonst so.			

3.1 Ursachen natürlicher Klimaveränderungen

Lernaufgabe 2

a) Interpretieren und erklären Sie mögliche Ursachen für den Kurvenverlauf in Abb. 3.1 bei den jeweiligen Nummern.
b) Überprüfen Sie Ihre Interpretationen mit den wissenschaftlichen Erkenntnissen zu verschiedenen Ursachen von Klimaveränderungen in diesem Kapitel.

Klimaskeptikerinnen und -skeptiker leugnen den menschlichen Einfluss auf den Klimawandel der letzten Jahrzehnte häufig mit dem Verweis darauf, dass sich das Klima von jeher gewandelt hat. Forschungsergebnisse zeigen tatsächlich, dass sich die globale Temperatur immer wieder verändert hat und durch verschiedene natürliche Prozesse beeinflusst wird. Jahrzehnte mit einer stärkeren oder schwächeren Erwärmung werden auch in Zukunft vorkommen. Der Blick in die Vergangenheit vermittelt ein umfangreiches und detailliertes Bild früherer Klimaphasen und zeigt die Grössenordnung natürlicher Einflüsse auf (Abb. 3.1). Dieser Zugang ermöglicht den aktuellen Klimawandel seit ca. 1850 bezüglich natürlicher und menschlicher Einflüsse einzuordnen.

Mögliche Ursachen für die Temperaturveränderungen in den vergangenen 500 Millionen Jahren bei folgenden Punkten und Zeiträumen:

1)

2)

3)

4)

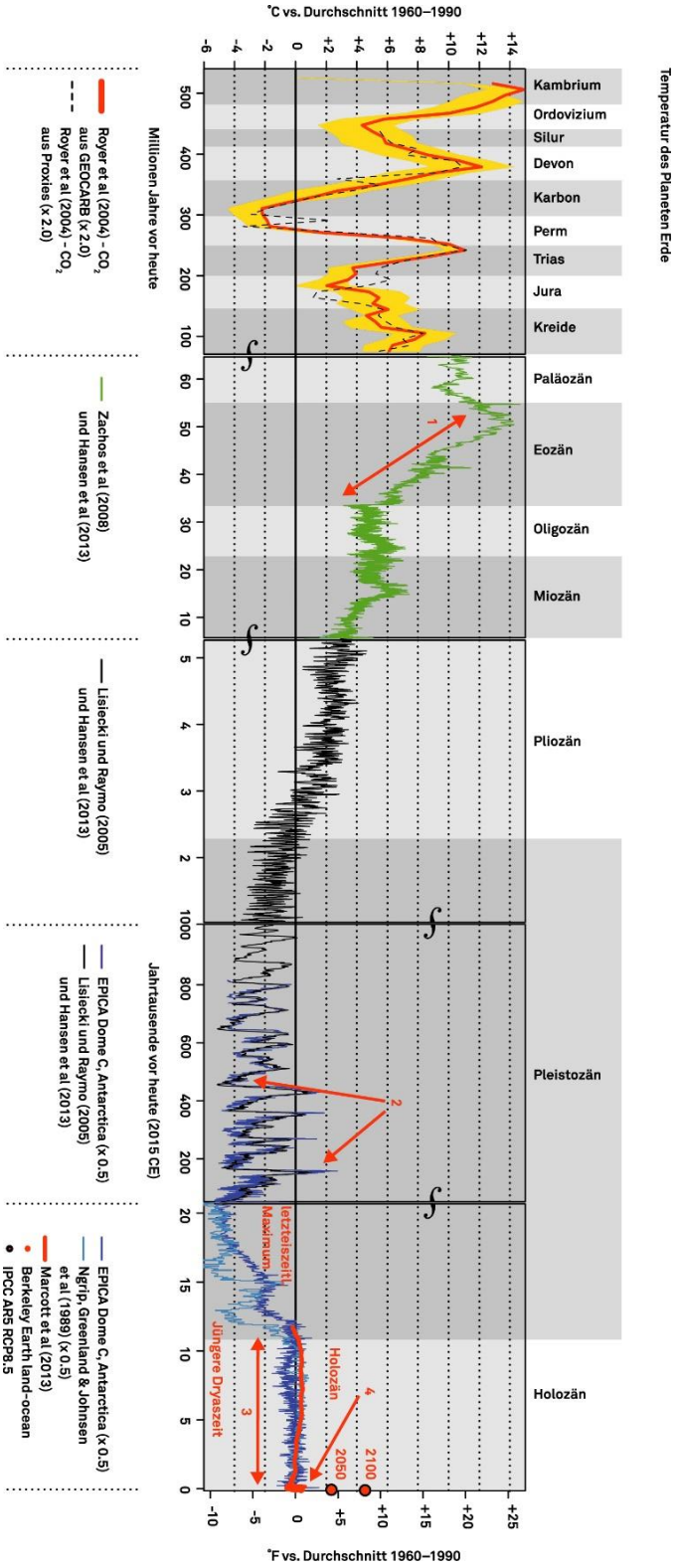


Abb. 3.1: Rekonstruierte Temperaturkurve der Erde der letzten 500 Mio. Jahre. Sie wurde aus einer Reihe verschiedener Studien zur historischen Klimarekonstruktion erstellt. (Quelle: Eigene Darstellung Projekt CCESO II, 2019)

Klimaveränderungen auf der Erde über Jahre bis Jahrtausende sind die Folge von internen und externen Einflüssen. Bei den **internen Einflussfaktoren auf Klimaschwankungen** handelt es sich um ein Zusammenspiel von ozeanischen und atmosphärischen Prozessen, welche Schwankungen im ozeanischen Strömungssystem und in der atmosphärischen Zirkulation verursachen. Beispiele dafür sind das El Niño und La Niña-Phänomen im tropischen Pazifik oder sich selbst verstärkende und abschwächende Rückkopplungseffekte. Da sie sich auf ähnlichen Zeitskalen bewegen wie der anthropogene Klimawandel, können sie diesen maskieren und schwer erkennbar machen. Sie werden möglicherweise aber auch selbst durch den anthropogenen Klimawandel beeinflusst.

Bei den **externen Einflussfaktoren auf Klimaveränderungen** werden zwischen natürlichen und menschgemachten Einflüssen unterschieden. Natürliche externe Faktoren von Klimaveränderungen sind die Leuchtkraft der Sonne, Asteroide, Schwankungen der Erdbahn, Plattentektonik und Vulkantätigkeit.

Die **Leuchtkraft der Sonne** und damit auch ihre eingestrahlte Energie ändern sich auf nahezu allen Zeitskalen (Jahre bis Jahrmillionen). Die Sonne wird, wie sämtliche Sterne, im Laufe ihres Lebens immer heisser, und der solare Energiefluss, der das Klimasystem der Erde erreicht, nimmt stetig zu. Vor etwa 3,5 Milliarden Jahren, als sich das Leben auf unserem Planeten zu entwickeln begann, war der solare Energiefluss etwa 35 % schwächer als heute. Ein grosser Einfluss der Sonne auf die globalen Temperaturveränderungen in den letzten ca. 40 Jahren kann nahezu ausgeschlossen werden, weil die Sonnenaktivität in dieser Zeit nicht zu- sondern leicht abgenommen hat.

Die Erde wurde im Laufe ihrer Geschichte immer wieder von **Asteroiden** getroffen. Der Aufschlag grosser extraterrestrischer Körper hinterlässt deutliche Spuren nicht nur in der Erdoberfläche, sondern auch im Klima. Unser Erdsystem scheint allerdings stabil genug zu sein, dass selbst Einschläge grösserer Asteroide von mehreren Kilometern Durchmesser, wie zum Beispiel vor gut 65 Millionen Jahren geschehen, nicht sämtliches Leben auf der Erde vernichten und unser Klima lebensfeindlich verändern. Für die gegenwärtige Klimadiskussion spielt dieser Faktor keine Rolle.

Schwankungen in der Erdbahn um die Sonne und in der Schiefe der Ekliptik (Neigung der Erdachse) machen sich aufgrund der sich dadurch veränderten Verteilung der eingestrahlten Sonnenenergie ebenfalls im Klima bemerkbar. Beispielsweise sind diese Schwankungen (auch Milanković-Zyklen genannt) der Auslöser für Kalt- und Warmzeiten. Die Zeitskalen dieser Zyklen variieren zwischen 19‘000 und 100‘000 Jahren.

Die **Plattentektonik** führt zu Prozessen wie Kontinentaldrift, Faltung von Gebirgen, Änderung des Ausgasens von CO_2, Wasser und anderen Stoffen aus dem Erdinneren, welche allesamt das globale Klima beeinflussen. Sie spielen als langsame Prozesse für die langfristige Klimadynamik (zum Beispiel Wechsel zwischen Eiszeitalter und Heisszeiten im Laufe der Jahrmillionen) eine prägende Rolle.

Für kurzfristige klimatische Einflüsse ist die an tektonische Prozesse gekoppelte **Vulkantätigkeit** mitverantwortlich. Durch Vulkanaktivität gelangen gasförmige und partikelförmige Spurenstoffe in die Atmosphäre, die die Energiebilanz der Atmosphäre ändern. Im Allgemeinen wirkt sich ein Vulkanausbruch eher kühlend auf das Klima aus, da die Partikel in der Atmosphäre weniger kurzwellige Strahlung zur Erde lassen. Unterwasser-Vulkane können aber über längere Zeiträume (Jahrtausende bis Jahrmillionen) beträchtliche Mengen von Treibhausgasen in die Ozeane (und von dort in die Atmosphäre) emittieren. Die Vulkanaktivität ändert sich unregelmässig und kann nicht vorausgesagt werden.

Vertiefungen in «Brennpunkt Klima Schweiz» (SCNAT, 2016)
- Das vergangene Klima (*S. 32/33*)
- Natürliche und menschliche Einflüsse (*S. 28/29*)
- Interne Klimaschwankungen (*S. 34/35*)

3.2 Der Mensch - ein neuer externer Antrieb

Seit Beginn der **Industrialisierung im 19. Jahrhundert** ist der Mensch zusätzlich als wesentlicher externer Klimaantrieb hinzugekommen. Der zunehmende Bedarf an Energie aus fossilen, kohlenstoffbasierten Brennstoffen (Kohle, Öl, Erdgas) für die wirtschaftliche (z.B. Landwirtschaft, Industrie, Dienstleistungen, Mobilität) und gesellschaftliche Entwicklung (z.B. Bevölkerungswachstum, westliche Konsumgesellschaften, Globalisierung) hat dazu geführt, dass das aktuelle Weltwirtschaftssystem sehr viel Energie benötigt. Der Mensch beeinflusst damit die natürlichen Energie- und Stoffflüsse im Klimasystem in noch nie dagewesener Art und Weise.

Vor allem die anthropogenen («menschgemachten») **Emissionen von Treibhausgasen, Aerosolen** und anderer klimawirksamer Stoffe aus Industrie, Landwirtschaft, Verkehr und Haushalt, sowie grossräumigen **Landschaftsoberflächenveränderungen** wie Verstädterung oder Abholzungen verändern die Energiebilanz und verschiedene Bestandteile des Klimasystems (vgl. Abb. 3.2). Die Entwicklungen der drei wichtigsten anthropogenen Treibhausgase Kohlenstoffdioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Distickstoffmonoxid (N_2O) seit 1850 sind in Abb. 3.3 dargestellt. Diese Veränderungen haben sowohl kurzfristigen als auch langanhaltenden Einfluss, voraussichtlich noch für einige Jahrhunderte.

Auch wenn der Einfluss der natürlichen Klimafaktoren noch nicht vollständig verstanden ist und es oft einige Jahrzehnte braucht, bis der langfristige Trend des anthropogenen Klimawandels auch regionale Auswirkungen zeigt, ist es **laut dem aktuellsten IPCC-Klimabericht (2014) extrem wahrscheinlich (> 95 %), dass der menschliche Einfluss der Hauptgrund für die seit 1950 beobachtete globale Erwärmung ist!**

1. Abbau/Förderung/Verbrennung fossiler Energieträger
2. Verkehr/Transport: Verbrennung fossiler Energieträger
3. Industrie: Verbrennung fossiler Energieträger
4. Stadt/Dorf/Heizen/Kühlen: Verbrennung fossiler Energieträger
5. Abholzung/Brandrodung
6. Reisanbau/Plantagen/Treibhäuser/ Landwirtschaft
7. Viehzucht
8. Zunahme Treibhausgase aus (1)-(7)

Abb. 3.2: Menschlicher Einfluss auf das natürliche Klimasystem: Ursachen des anthropogenen Klimawandels (Quelle: Eigene Darstellung Projekt CCESO II. Zeichnung: Michelle Walz, 2019)

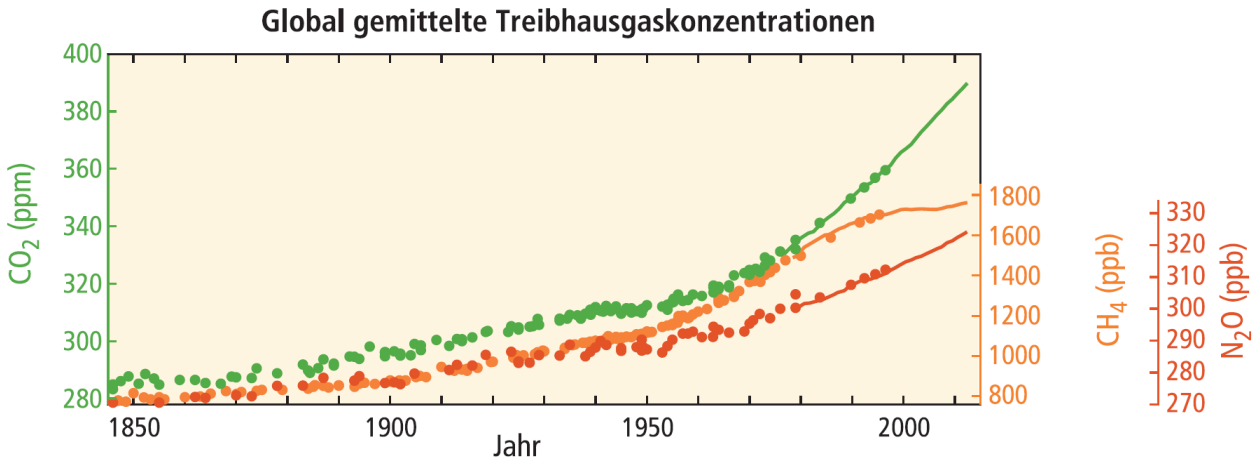


Abb. 3.3: Entwicklung der global gemittelten Konzentrationen der drei wichtigsten Treibhausgase Kohlenstoffdioxid (CO_2; grün), Methan (CH_4; orange) und Distickstoffmonoxid (N_2O; rot) von der Industrialisierung (1850) bis 2011. Die Daten stammen aus Eisbohrkernen (Punkte) und direkten Messungen in der Atmosphäre (Linien). (Quelle: IPCC, 2014: S. 3)

Treibhausgasemissionen der Schweiz im internationalen Vergleich

Um den Anteil der verschiedenen Treibhausgase an den Gesamtemissionen eines Landes zu berechnen sowie die Emissionen einzelner Länder miteinander vergleichen zu können, müssen die Emissionen der verschiedenen Gase auf einen gemeinsamen Nenner gebracht werden (Abb. 3.4). Hierzu wird das sogenannte CO_2-Äquivalent (auch Treibhauspotential) der Gase berechnet. Dies ist eine Masszahl für ihren relativen Beitrag zum Treibhauseffekt, also ihre mittlere Erwärmungswirkung auf die Atmosphäre über einen bestimmten Zeitraum (in der Regel 100 Jahre). Sie gibt damit an, wieviel eine festgelegte Masse eines Treibhausgases im Vergleich zur entsprechenden Menge CO_2 zur globalen Erwärmung beiträgt. Beispielsweise beträgt das CO_2-Äquivalent für Methan bei einem Zeithorizont von 100 Jahren 25. Das bedeutet, dass ein Kilogramm Methan (CH_4) innerhalb der ersten 100 Jahre nach der Freisetzung 25-mal so stark zum Treibhauseffekt beiträgt wie ein Kilogramm CO_2. Bei Distickstoffmonoxid (N_2O) beträgt dieser Wert 298.

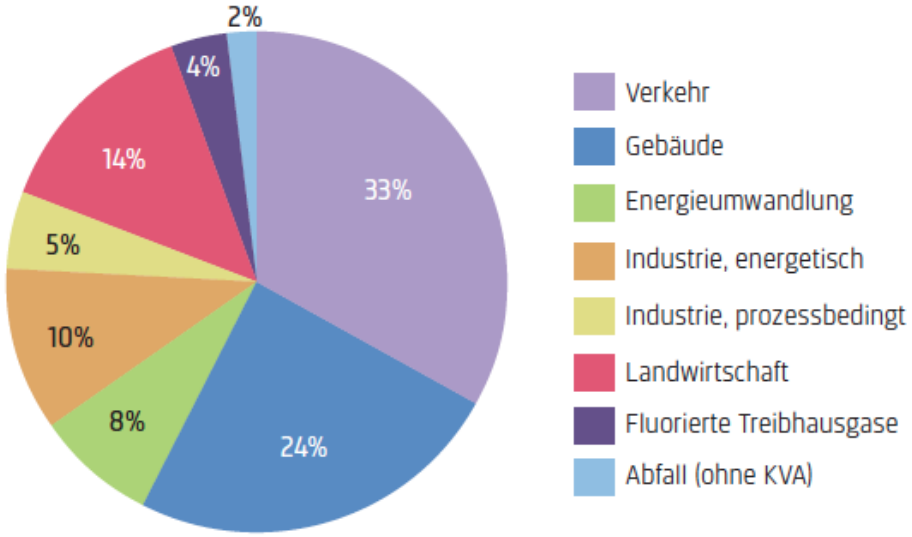


Abb. 3.4: Aufteilung der Treibhausgasemissionen der Schweiz nach Sektoren im Jahr 2014 (Quelle: BAFU in «Brennpunkt Klima Schweiz», SCNAT, 2016: S. 162)

Lernaufgabe 3

Welche Treibhausgase werden durch welche menschliche Tätigkeit verursacht?
Studieren Sie die Tabelle 3.2 und Abb. 3.2 und 3.4 und markieren Sie die Bereiche, wo eine Verminderung von Treibhausgasemissionen a) besonders wichtig und b) mit wenig Einschränkungen in der Lebensqualität erreichbar wäre und begründen Sie Ihre Beurteilung.

Vom Kyoto-Protokoll und CO_2-Gesetz erfasste Treibhausgase	Verweilzeit in der Atmosphäre[1,2] (in Jahren)	GWP[2,3]	Anteil an totalen Emissionen, exkl. Entwaldung[4]
Kohlendioxid (CO_2) • Verbrennung fossiler Brenn- und Treibstoffe (Erdöl, Erdgas, Kohle), Zementherstellung • Abholzung/Brandrodung in den Tropen	100–150	1	Weltweit ca. 73%, Schweiz ca. 82%
Methan (CH_4) • Landwirtschaft (Viehhaltung und Düngung) • Abfallbewirtschaftung (Deponien, Kompostierung/Vergärung, Abwasserreinigung) • Nutzung fossiler Energieträger	12	25	Weltweit ca. 17%, Schweiz ca. 10%
Lachgas (N_2O) • Landwirtschaft (Böden und Düngung) • Kleinere Anteile aus Energieumwandlung, Industrie und Abwasserreinigung	114	298	Weltweit ca. 8%, Schweiz ca. 5%
Synthetische Treibhausgase:			Weltweit ca. 2% Schweiz ca. 3%
Fluorkohlenwasserstoffe (FKW / HFC) • Kältemittel, Schäumungsmittel, Treibgas in Spraydosen, Lösungsmittel	0.3–270	12–14‘800	
Perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFKW / PFC) • Herstellung von Halbleitern, Lösungsmittel, Wärmeträger	2'600–50’000	7‘390–12‘200	
Schwefelhexafluorid (SF_6) • Hochspannungsisolatoren, Aluminium- und Magnesiumguss, Herstellung von Halbleitern	3’200	22‘800	
Stickstofftrifluorid (NF_3) • Elektronikindustrie	740	17‘200	
Vom Kyoto-Protokoll und CO_2-Gesetz nicht erfasste Treibhausgase			
Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW-Gruppe, Halon-Gruppe und HFCKW-Gruppe) • Verbrauch wegen der Ozonschicht zerstörenden Wirkung durch das Montrealer Protokoll eingeschränkt/verboten; in der Schweiz Emissionen nur noch aus bestehenden Kälte- und Löschanlagen sowie Schaumstoffen	1.3–1‘700	bis über 10’000	Tendenz abnehmend aufgrund der Politik zum Schutz der Ozonschicht
Neue klimaaktive Substanzen			
Hydrofluorether (HFE) • Lösungsmittel, Wärmeträger	0.2–136	11–14‘900	Tendenz zunehmend
Sulfurylfluorid (SO_2F_2)[5] • Schädlingsbekämpfungsmittel	36	4‘780	

[1] Verweilzeit in der Atmosphäre: Zeitraum, nach dem 63.2% der Anfangsmenge des Stoffes nicht mehr in der Atmosphäre sind.
[2] Quelle: Tabelle 2.14 (Errata), IPCC AR4 (2007, Working Group 1). Diese Werte werden gemäss den Vorgaben der UNFCCC auch für das Treibhausgasinventar verwendet.
[3] Globales Erwärmungspotenzial (GWP): Masszahl für die relative Wirkung der einzelnen Treibhausgase im Vergleich mit CO_2.
[4] Quelle: Treibhausgasinventar der Schweiz 2015 und World Resources Institute (WRI, Daten 2011).
[5] Papadimitriou et al. (2008, J. Phys. Chem. A, 112, 12657–12666) und Mühle et at. (2009, J. Geophys. Res., 114, D05306).

Tab. 3.2: Vom Menschen verursachte Treibhausgase (Quelle: BAFU, 2015; https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/daten-indikatoren-karten/daten.html ; zuletzt besucht am 29.8.2019)

Lernaufgabe 4

a) Gibt es Emission, welche von Schweizerinnen und Schweizern verursacht werden und in der Abbildung 3.4 nicht berücksichtigt sind? Begründen Sie.
b) Ordnen Sie die Pro-Kopf-Emissionen der Schweiz im internationalen Vergleich mit Hilfe der interaktiven Karte ein. https://www.carbonmap.org (→ Shade by «CO_2 per person»).
c) Erklären Sie die weltweite Verteilung der CO_2-Emissionen und nehmen Sie dabei Bezug zu Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt.

Medien für Bearbeitung der Lernaufgaben
- Link zu Karte mit weltweitem CO_2-Ausstoss pro Kopf: https://www.carbonmap.org/
(zuletzt besucht am 29.8.2019)

Vertiefungen in «Brennpunkt Klima Schweiz» (SCNAT, 2016):
- Natürliche und menschliche Einflüsse (*S. 28/29*)
- Interne Klimaschwankungen (*S. 34/35*)
- Schweizer Treibhausgasquellen (*S. 161-163*)

3.3 Klimamodelle als Werkzeug der Klimawissenschaft

Computermodelle werden eingesetzt, wenn Experimente nicht möglich, zu teuer oder nicht vertretbar sind. In der Klimaforschung sind Modelle die einzige Möglichkeit, um zahlenmässige Aussagen zum Klima der kommenden Jahrzehnte machen zu können. Modelle werden aber auch gebraucht, um Prozesse zu verstehen, das Klima der Vergangenheit zu simulieren und die Rolle des Menschen im Klimawandel zu ergründen. Da zuverlässige Klimamodelle die Gesamtheit der globalen Stoff- und Energiekreisläufe simulieren, benötigen sie enorme Rechenleistungen, welche nur mit den stärksten Hochleistungsrechnern erreicht werden können.

Lernaufgabe 5

a) Erläutern Sie mit Hilfe der Abbildung 3.5, inwiefern Klimamodelle für die Bestimmung von Ursachen von Klimaveränderungen nützlich sind.
b) Überprüfen Sie Ihre Erklärung mit Hilfe des Blogeintrags von ETH-Klimaforscher Lukas Gudmundsson zu «Wie weist man den menschengemachten Klimawandel nach?».

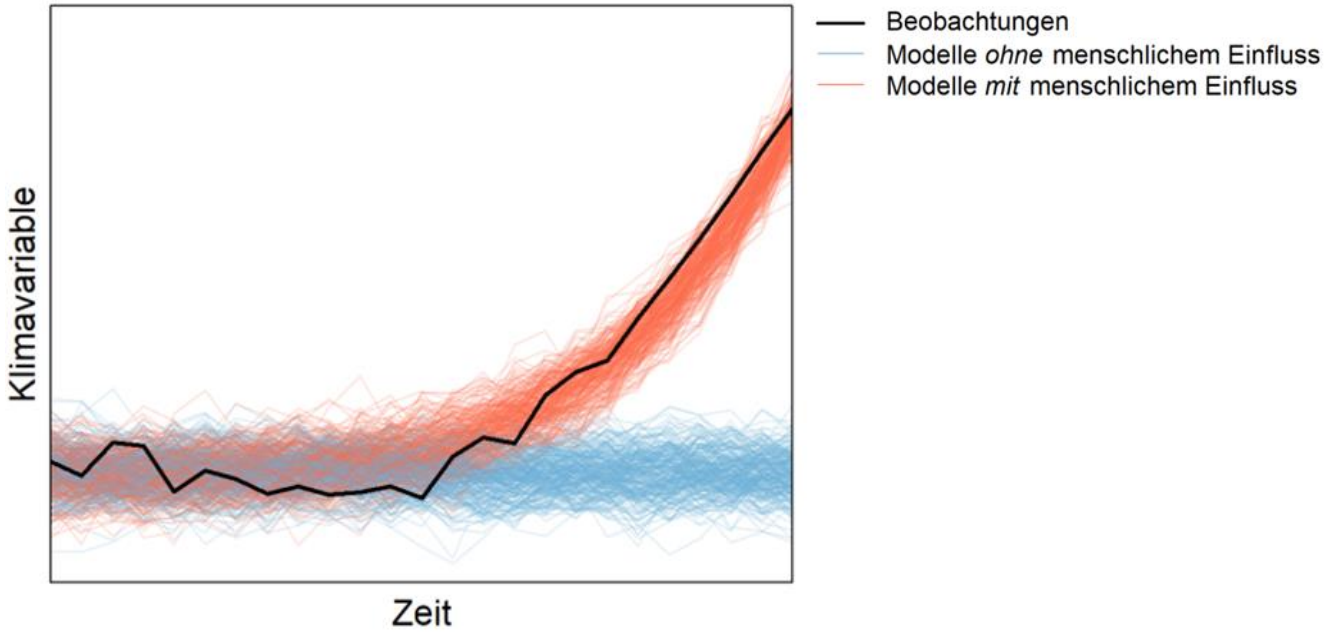


Abb. 3.5: Modellsimulationen und Beobachtungen (Messungen) der zeitlichen Entwicklung des Klimas mit und ohne menschlichem Einfluss (Quelle: ETH-Zukunftsblog, 2017; https://ethz.ch/de/news-und-veranstaltungen/eth-news/news/2017/11/klimawandel-oder-laune-der-natur.html; zuletzt besucht am 29.8.2019)

Wie weist man den menschengemachten Klimawandel nach?

Dass die Treibhausgase des Menschen das globale Klimasystem verändern, ist wissenschaftlich unbestritten. Klimaforschende blicken mit ihren Modellen daher oft in die Zukunft und versuchen zu berechnen, wie sich die steigende CO_2-Konzentration in der Atmosphäre künftig auf verschiedene Klimavariablen wie Temperatur oder Niederschlag auswirken wird.

Wetter und Klima erleben wir aber in der Gegenwart. So ist es beispielsweise in der Schweiz im Verlauf des letzten Jahrhunderts immer wärmer geworden. Wenn sich aussergewöhnlich warme Sommer häufen, taucht schnell auch die Frage auf, inwiefern menschliches Handeln das aktuelle und vergangene Klima beeinflusst. Doch wie lässt sich untersuchen, ob eine beobachtete Klimaveränderung auf den menschengemachten Klimawandel zurückzuführen ist – oder lediglich auf natürlich vorkommende Schwankungen?

Diese Frage können wir Klimawissenforschende leider nicht experimentell überprüfen. Der Grund ist so banal wie schwerwiegend: Wir haben nur eine Welt. Wir können keine klassischen Experimente machen, in denen wir das Klima mit menschlichem Einfluss einem Klima ohne menschlichen Einfluss gegenüberstellen. Was uns aber zur Verfügung steht, sind lange Beobachtungsreihen von Niederschlag, Wasserstand, Temperatur, Anzahl Stürmen und vielen Messgrössen mehr. Um zu überprüfen, ob diese Klimavariablen durch die ansteigenden Treibhausgasemissionen aus menschlichen Aktivitäten beeinflusst werden, haben Forschende die sogenannte «Detection-and-Attribution»-Methode entwickelt (DE: «Erkennung und Zuordnung»-Methode). Es handelt sich dabei um eine kombinierte Analyse von langen Beobachtungsreihen und Simulationsexperimenten. Dabei werden Klimamodelle sowohl ohne als auch mit menschlichem Einfluss berechnet, um sie anschliessend mit den tatsächlichen Beobachtungen zu vergleichen. Werden letztere nur durch die Simulationen mit Emissionen reproduziert, kann man daraus schliessen, dass der menschgemachte Klimawandel in den Beobachtungen nachweisbar ist.

Man muss aber auch natürliche Schwankungen berücksichtigen, die einer beobachteten Veränderung zugrunde liegen können. So ist nicht jeder Sommer gleich warm, und nicht jeder Winter schneereich. Das lässt sich auszuschliessen, indem man Klimamodelle wiederholt anwendet, um die Bandbreite dieser Schwankungen zu simulieren. Je mehr sich die Beobachtung von der Bandbreite natürlicher Klimaschwankungen unterscheidet, desto zuverlässiger ist der Schluss, dass menschgemachter Klimawandel die Beobachtung beeinflusst.

Die «Detection-and-Attribution»-Methode ist daher ein wichtiges Forschungsinstrument, das etwa im letzten IPCC-Klimabericht im Kapitel über den Nachweis des menschengemachten Klimawandels zur Anwendung kam. Die Methode hat aber auch Schwächen. So ist nicht immer klar, ob Klimamodelle die Bandbreite natürlicher Schwankungen richtig einschätzen. Zudem lässt sich nie vollständig ausschliessen, dass eine beobachtete Veränderung durch einen Prozess verursacht wurde, der nicht in den Klimamodellen berücksichtigt ist. Dennoch: Die Methode kann gewichtige Indizien liefern.

Beitrag von ETH-Klimaforscher Lukas Gudmundsson im ETH-Zukunftsblog (09.11.2017)

Vertiefungen in «Brennpunkt Klima Schweiz» (SCNAT, 2016)

- Klimamodelle (*S. 36/37*)

4 Folgen des Klimawandels

4.1 Folgen – global und in der Schweiz

Der neuste IPCC-Report (2014) zeigt, dass der Klimawandel bereits in den letzten Jahrzehnten messbare und beobachtbare Folgen für Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft auf allen Kontinenten und über alle Ozeane hinweg hatte. Im Allgemeinen gilt: Je wärmer es in Zukunft wird, desto stärker sind die Auswirkungen auf die Umwelt und desto höher werden die Risiken für Gesellschaft und Wirtschaft.

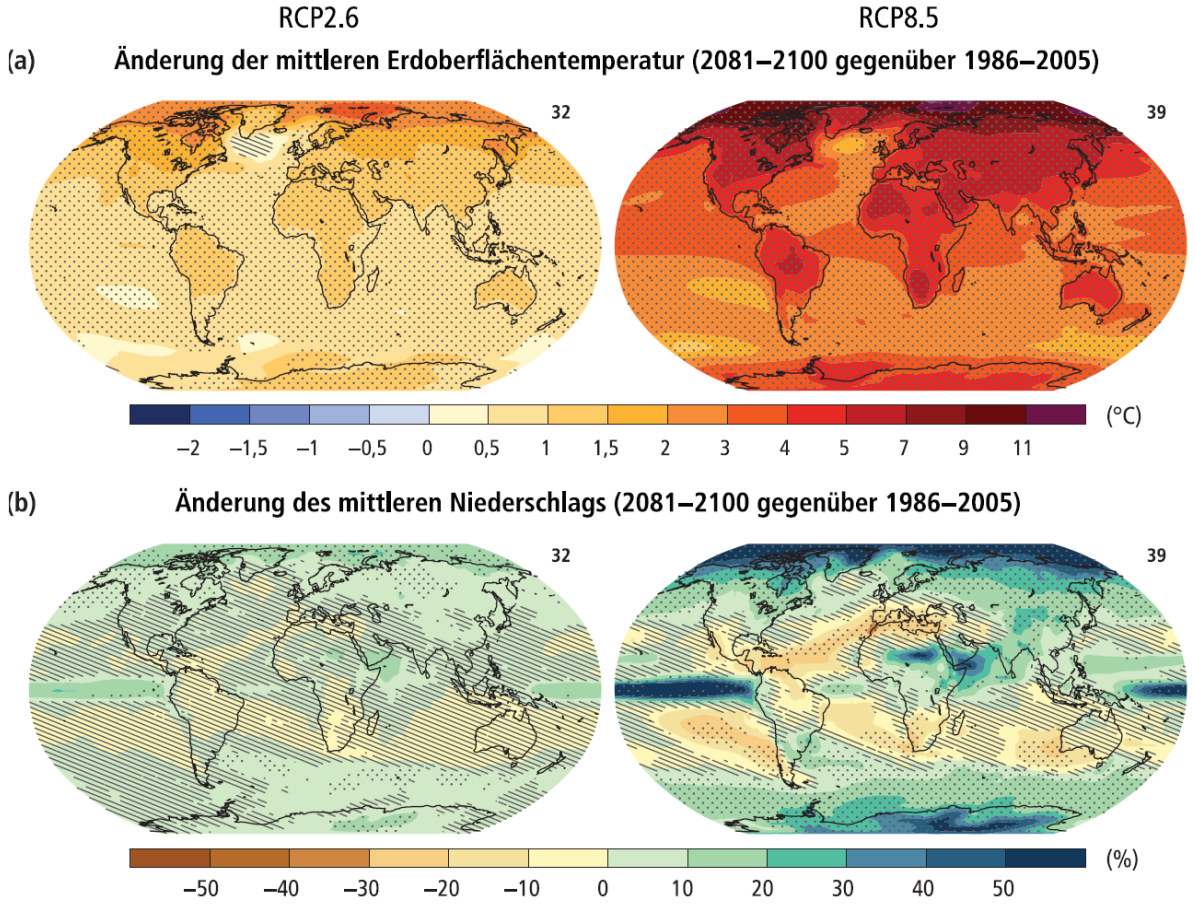


Abb. 4.1 Veränderung der mittleren Erdoberflächentemperaturen (a) und des mittleren Niederschlags (b) basierend auf Multimodell-Mittel-Projektionen für 2081-2100 gegenüber 1986-2005 für das Szenario RCP2.6 (links), das von klimapolitischen Massnahmen zur Minderung der CO_2-Emissionen ausgeht, welche die globale Erwärmung wahrscheinlich[1)] im Bereich von 0.3 bis 1.7 °C gegenüber der vorindustriellen Temperatur halten. Das Szenario RCP8.5 (rechts) geht aufgrund fehlender zusätzlicher klimapolitischer Massnahmen von gleich hoch bleibenden Treibhausgas-Emissionen wie bisher aus und zeigt, dass so eine globale Erwärmung von 2.6 bis 4.8°C wahrscheinlich[1)] ist.
Gepunktete Flächen kennzeichnen Regionen, in denen die projizierte Veränderung verglichen mit natürlicher interner Klimavariabilität gross ist und für die mindestens 90 % der Modelle im Vorzeichen der Veränderung übereinstimmen. Schraffierungen (d. h. diagonale Linien) kennzeichnen Regionen, in denen die projizierte Veränderung weniger als eine Standardabweichung der natürlichen internen Klimavariabilität beträgt. (IPCC, 2014: S. 12)

[1)] wahrscheinlich = 66-100% Wahrscheinlichkeit

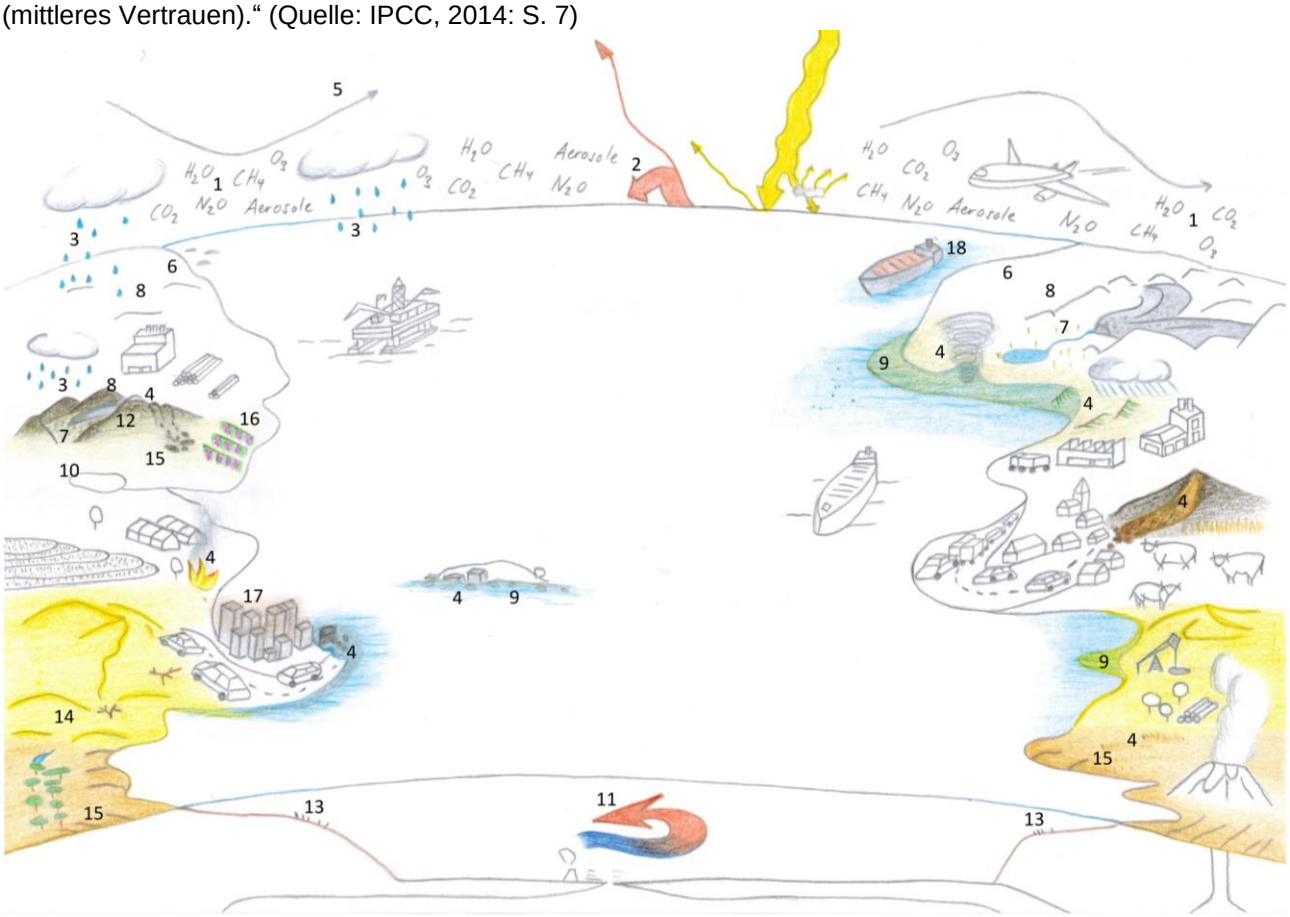
Lernaufgabe 1

Zu Ihrer Zusammenstellung von Folgen des Klimawandels aus Aufgabe 1a, b und c (Kapitel 1, Seite 4):

a) Vergleichen Sie diese mit der räumlichen Verteilung von Lufttemperatur und Niederschlag (Abb. 4.1) und begründen Sie allfällige Abweichungen.

b) Überprüfen Sie Ihre Überlegungen zudem mit weiteren wissenschaftlichen Kenntnissen zu Folgen des Klimawandels in diesem Kapitel (vgl. Abb. 4.2, 4.3 und 4.4) und markieren Sie Unklarheiten für eine weiterführende Abklärung.

«In den letzten Jahrzehnten haben Klimaänderungen Folgen für natürliche und menschliche Systeme auf allen Kontinenten und überall in den Ozeanen gehabt (Abb. 4.2). Diese Folgen sind auf den beobachteten Klimawandel zurückzuführen, unabhängig von dessen Ursache; sie zeigen die Empfindlichkeit natürlicher und menschlicher Systeme gegenüber dem sich ändernden Klima. Die Belege für beobachtete Folgen des Klimawandels sind am stärksten und umfassendsten für natürliche Systeme. In vielen Regionen verändern sich hydrologische Systeme durch Änderungen der Niederschläge oder das Schmelzen von Schnee und Eis, was die Quantität und Qualität von Wasserressourcen beeinträchtigt (mittleres Vertrauen). Viele terrestrische, Süsswasser- sowie marine Arten haben ihre geographischen Verbreitungsgebiete, jahreszeitlichen Aktivitäten, Migrationsmuster, Populationsgrößen und Interaktionen zwischen den Arten in Reaktion auf den anhaltenden Klimawandel verändert (hohes Vertrauen). Einige Folgen für menschliche Systeme sind ebenfalls dem Klimawandel zugeordnet worden, wobei sich mal ein wesentlicher, mal ein geringer Beitrag des Klimawandels von anderen Einflüssen unterscheiden lässt (Abb. 4.3). Die Auswertung einer Vielzahl von Studien, die eine grosse Bandbreite an Regionen und Nutzpflanzen abdecken, zeigt, dass negative Folgen des Klimawandels auf Ernteerträge häufiger waren als positive Folgen (hohes Vertrauen). Einige Folgen der Ozeanversauerung auf marine Organismen wurden menschlichen Einflüssen zugeordnet (mittleres Vertrauen).“ (Quelle: IPCC, 2014: S. 7)



A) Atmosphäre
1. Zunahme der Treibhausgase (z.B. CO_2, N_2O, CH_4)
2. Zunahme langwelliger Gegenstrahlung (Wärmestrahlung)
3. Niederschlagsveränderungen
4. Zunahme von Extremereignissen (Sturm, Hitzewellen)
5. Änderung Windsysteme, Jet Streams
*. Zunahme bodennaher Ozonbelastung

B) Hydrosphäre und C) Kryosphäre
6. Abschmelzen von Eis (Inlandeis und Meereis)
7. Abschmelzen von Gletschern
4. Zunahme von Extremereignissen (z.B. (Hochwasser, Dürre, Murgang)
8. Auftauender Permafrost
9. Meeresspiegelanstieg
10. Abflussveränderungen
11. Änderung Meeresströmungen

D) Biosphäre
12. Änderung Höhenzonen (Vegetationsgrenze steigt, Abnahme Schnee, Eis)
13. Absterben Korallen und Ozeanversauerung
*. Abnahme der Biodiversität
*. Änderung der Vegetationszonen

E) Pedosphäre
14. Desertifikation
15. Bodenerosion
4. Zunahme von Extremereignissen (z.B. Rutschung)

F) Lithosphäre
4. Zunahme von Extremereignissen (z.B. Sturzgefahren)

G) Anthroposphäre
16. Anbaugebiete von Kulturpflanzen (z.B. Trauben) verschieben sich; neue, andere Sorten)
17. Hitzezunahme in Städten
18. Neue Schifffahrtsrouten (Nordwest-Passage, nördliche Seeroute)

**** nicht dargestellte oder darstellbare Folgen***
*. Folgen für Gesundheit (z.B. Hitzestress, Krankheiten, Mangelernährung)
*. Migration, Konflikte
*. Wirtschaftliche Folgen (z.B. Tourismus, Ernteausfälle in der Landwirtschaft, neue Möglichkeiten für Rohstoffabbau in der Arktis)

Abb. 4.2: Folgen des Klimawandels (Quelle: Eigene Darstellung Projekt CCESO II. Zeichnung: Michelle Walz, 2019)

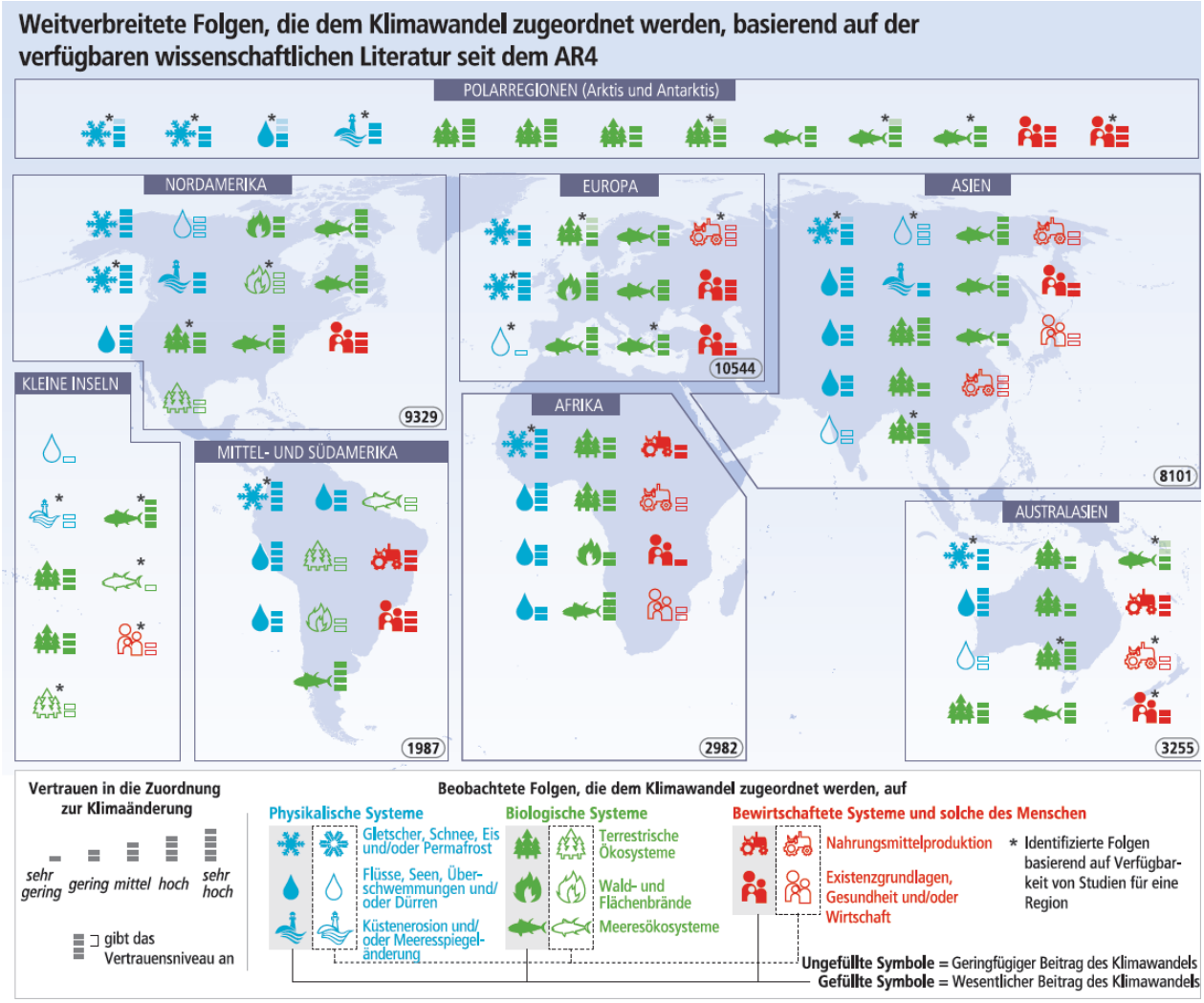


Abb. 4.3: Beobachtete Folgen des Klimawandels nach Regionen und nach unbelebten (physikalisch; Hydro-, Kryo-, Pedo- und Lithosphäre), belebten (biologisch; Biosphäre) und anthropogenen (menschlich und bewirtschaftet; Anthroposphäre) Systemen geordnet. Als Grundlage dienen gesicherte wissenschaftliche Belege (Publikationen) für den Einfluss des Klimawandels auf die jeweiligen Prozesse, Systeme und Regionen (oval eingerahmte Zahlen entsprechen der Anzahl Publikationen zwischen 2001-2010 für die entsprechende Region). Die Symbole kennzeichnen die Kategorien der zugeordneten Folgen, den relativen Beitrag des Klimawandels (wesentlich oder geringfügig) zu der beobachteten Folge und das Vertrauen in die Zuordnung. Die Abwesenheit von zusätzlichen, dem Klimawandel zugeordneten Folgen auf der Karte bedeutet nicht, dass solche Folgen nicht aufgetreten wären!
(Quelle: IPCC, 2014: S.7)

Klima Schweiz – Folgen und Risiken

Infrastrukturen

- Ist die Schweiz für stärkere Wetterereignisse gewappnet? Spitäler und Rettungs- oder Sicherheitsdienste könnten in Zukunft bei Wetterextremen stärker gefordert sein als bisher. (Kap. 2.12)
- Eine von fossilen Energieträgern weitgehend unabhängige Welt benötigt andere Infrastrukturen als unsere jetzige Welt (Strassenausbauten, Flughäfen, Stromnetze). Daher können sich heutige Infrastrukturinvestitionen später als unrentabel herausstellen und Arbeitsplätze gefährden. (Kap. 2.12)
- Infrastrukturen wie Skilifte oder Lawinenverbauungen, die heute auf Permafrostböden stehen, können ihren stabilen Untergrund verlieren. (Kap. 2.3/2.11)

Städte und Siedlungen

- Heisse Sommer verwandeln Städte in Wärmeinseln. Die Hitzebelastung in unseren Städten ist eine der wichtigen Herausforderungen des Klimawandels. In den Sommern 2003 und 2015 gab es wegen der Hitze jeweils rund 1000 vorzeitige Todesfälle in der Schweiz. (Kap. 2.12/2.13/2.15)
- Siedlungen und Bauten werden vermehrt durch Hochwasser gefährdet sein. Die meisten grossen Städte sind nahe an Gewässern gebaut. (Kap. 2.4/2.12/2.13)
- Dank milderen Wintern nimmt der Heizbedarf ab. Dies erlaubt Energieersparnisse, die zum Teil aber durch einen grösseren Kühlungsbedarf im Sommer wettgemacht werden. (Kap. 3.1)

Wälder und Felder

- Die Fichte droht aus dem Mittelland zu verschwinden, und auch in den Schutzwäldern im Gebirge ist sie gefährdet: Der wichtigste Baum der Schweizer Waldwirtschaft reagiert empfindlich auf Trockenheit und leidet unter der beschleunigten Vermehrung des Borkenkäfers. (Kap. 2.9)
- Der Anbau von Kulturen wie Winterweizen und Kartoffeln wird unter den wärmeren Bedingungen erschwert. Mais und Reben gedeihen dagegen bei genügend Feuchtigkeit besser als heute. (Kap. 2.10)
- Schädlinge, wie z. B. der Apfelwickler, haben zukünftig zwei bis drei Generationen pro Jahr, anstatt wie heute eine bis zwei. (Kap. 2.10)

Wasserressourcen

- Die sommerliche Wasserknappheit betrifft alle, die Wasser nutzen, speziell die Landwirtschaft, die vermehrt auf Wasser zur Bewässerung angewiesen ist. Damit nehmen Interessenskonflikte um die Wassernutzung zu. (Kap. 1.8/2.4/2.10/2.11)
- Die Abnahme von Gletschern und Schnee als natürliche Wasserspeicher erhöht den Bedarf an künstlichen Speicherseen zur Mehrzwecknutzung. (Kap. 2.4/2.11)

▲ Folgen und Risiken
★ Minderung
● Anpassung

Illustration: Sarah Arnold

Die Erwärmung im Alpenraum war rund doppelt so stark wie im globalen Mittel. Der Natur- und Kulturraum der Schweiz ist in vielfältiger Weise von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen:

Flüsse und Seen

- Trockenere Sommer mit weniger Abfluss häufen sich. Dafür sind die abnehmenden sommerlichen Niederschlagsmengen und der bedeutend kleinere Anteil an Wasser aus der Schnee- und Eisschmelze verantwortlich. (Kap. 1.7/2.4)
- Die Abflussmengen im Winter nehmen eher zu. Die winterlichen Niederschläge fallen häufiger als Regen und tragen direkt zum Abfluss bei. (Kap. 1.7/2.4)
- Durch die höheren Temperaturen verlängert sich die Hochwassersaison, und durch die Intensivierung der Starkniederschläge nehmen die Spitzenabflüsse zu. (Kap. 1.8/2.4)

Tiere und Pflanzen

- Viele Tiere und Pflanzen, denen es zu warm oder zu trocken wird, wandern in die Höhe, mit dem Risiko, auf beengte Lebensräume mit mehr Konkurrenz zu treffen. (Kap. 2.7)
- Einige Arten können ihren Lebensraum nur langsam verschieben oder sie besiedeln flache Gegenden, wo es keinen Ausweg in günstigere Lebensräume gibt. (Kap. 2.8)
- Der jahreszeitliche Rhythmus der Tier- und Pflanzenwelt verändert sich und kann das Zusammenspiel der Arten stören: Insekten verpassen die Blütezeit. (Kap. 2.8)

Berge, Schnee und Eis

- Die Schweizer Gletscher verschwinden. Bis zum Ende des Jahrhunderts dürfte der grösste Teil wegschmelzen. (Kap. 1.9/2.3/2.14)
- Im Hochgebirge entsteht eine neue Landschaft von Fels, Schutt, spärlicher Vegetation und vielen meist kleineren Seen. Letztere erhöhen das Naturgefahrenpotenzial, bieten aber auch Nutzungsmöglichkeiten. (Kap. 2.3/2.5)
- Die Schneesaison wird sich in Zukunft um mehrere Wochen verkürzen und die Schneegrenze um mehrere hundert Meter ansteigen. (Kap. 2.3/2.11)
- Permafrost im Hochgebirge taut langfristig bis in tiefere Schichten auf, was vermehrte Steinschläge und Felsstürze zur Folge haben kann. (Kap. 2.3./2.5/2.6)

Wetterextreme

- Es wird heisser: Im Sommer ist mit häufigeren und längeren Hitzeperioden und mit intensiveren Hitzetagen zu rechnen. Dieser Trend wird bereits heute beobachtet. (Kap. 1.8)
- Starkniederschläge: In Zukunft wird erwartet, dass die Starkniederschläge häufiger und heftiger werden, vermehrt Murgänge und Erdrutsche auslösen und die Hochwassergefahr erhöhen. (Kap. 1.8, 2.4)
- Das Trockenheitsrisiko steigt: Insgesamt werden für den Sommer weniger Regentage sowie längere Trockenperioden vorausgesagt. (Kap. 1.8)

Abb. 4.4: Folgen und Risiken des Klimawandels für die Schweiz. (Quelle: Brennpunkt Klima Schweiz, SCNAT, 2016: S.2-3)

Lernaufgabe 2

a) Diskutieren Sie in der Klasse Ihre Unklarheiten zu den wissenschaftlich erwiesenen Folgen des Klimawandels sowie deren Wirkungsweise.
b) Klären Sie die diskutierten, offenen Fragen anschliessend in Gruppen mit Hilfe des aktuellen IPCC-Berichts und des Berichts «Brennpunkt Klima Schweiz» (SCNAT, 2016) und präsentieren Sie der Klasse die Ergebnisse Ihrer Recherche.
c) Begründen Sie präzise, welche Folge des Klimawandels Sie Ihrer Meinung nach persönlich am stärksten betrifft (vgl. Abb. 4.2, 4.3 und 4.4). Diskutieren Sie anschliessend in der Klasse.

Vertiefungen in «Brennpunkt Klima Schweiz» (SCNAT, 2016)
- Übersicht zu Risiken und Folgen des Klimawandels mit Verweisen zu Vertiefungskapiteln (*S. 1-4*)
- Beobachtungen und zukünftige Folgen in Bezug auf Temperatur (*S. 40-45*)
- Beobachtungen und zukünftige Folgen in Bezug auf Wasserkreislauf (*S. 46-51*)
- Beobachtungen und zukünftige Folgen in Bezug auf Klima- und Wetterextreme (*S. 52-59*)
- Beobachtungen und zukünftige Folgen in Bezug auf Ozeane, Schnee und Eis (*S. 60-67*)
- Detaillierte Beschreibung von Folgen/Risiken (*S. 80-143*)

4.2 Extremereignisse: Hitzewellen

Lernaufgabe 3

a) Entwickeln Sie Hypothesen zu klimabezogenen Zusammenhängen zwischen dem Schäferhund und Star-DJ David Guetta, Snowboarder Iouri Podladtchikov oder Tennisspieler Roger Federer (Abb. 4.5).
b) Vergleichen und diskutieren Sie Ihre Vermutungen in der Klasse und überprüfen Sie diese mit Hilfe des NZZ-Artikels vom 4.8.2018.

Abb. 4.5: Schäferhund, Star-DJ David Guetta, Snowboardprofi Iouri Podladtchikov und Tennisprofi Roger Federer (Quellen: Buda Mendes, Getty Images, Chris Wellhausen, Keystone-SDA)

Sonne pur, mehrere Tage schwitzen, schlaflose Nächte, überfüllte Badis und ausverkaufte Gelaterias: Hitzewellen wie in vergangenen Sommern (2018, 2019) sind für die einen der Inbegriff für Sommer, für andere jedoch unerträglich und eine gesundheitliche Gefahr (Abb. 4.7). Vereinfacht werden Hitzewellen als «längere Periode (z.B. 5 Tage am Stück) mit ungewöhnlich hohen Temperaturen (z.B. Tageshöchstwerten von 30°C)» definiert. Es gibt jedoch keine allgemeingültige Definition für eine Hitzewelle, da der Begriff vom üblichen Wetter der jeweiligen Region abhängig ist. Was in einem heissen Klima als normales Wetter erscheint, wird in einem kühleren Klima als Hitzewelle erlebt. Seit 1950 hat nicht nur die Anzahl von sehr warmen Tagen bereits messbar zugenommen, sondern es konnte auch ein Trend zu häufigeren und intensiveren sommerlichen Hitzewellen und Wärmeperioden in allen Jahreszeiten festgestellt werden. Einzelne Wetterextreme können aufgrund der zufälligen Schwankungen im Klimasystem und der vorherrschenden, spezifischen Wetterlage oft nicht direkt dem anthropogenen Klimawandel zugeschrieben werden. Jedoch können dank Klimamodellierungen Rückschlüsse auf die Eintretenswahrscheinlichkeit von Hitzewellen mit oder ohne menschlichen Einfluss gezogen werden (Abb. 4.6). So sind in Zukunft häufigere, längere und intensivere sommerliche Hitzewellen zu erwarten, welche sich durch die ebenfalls höhere Wahrscheinlichkeit von Sommertrockenheit lokal noch zusätzlich verstärken könnten.

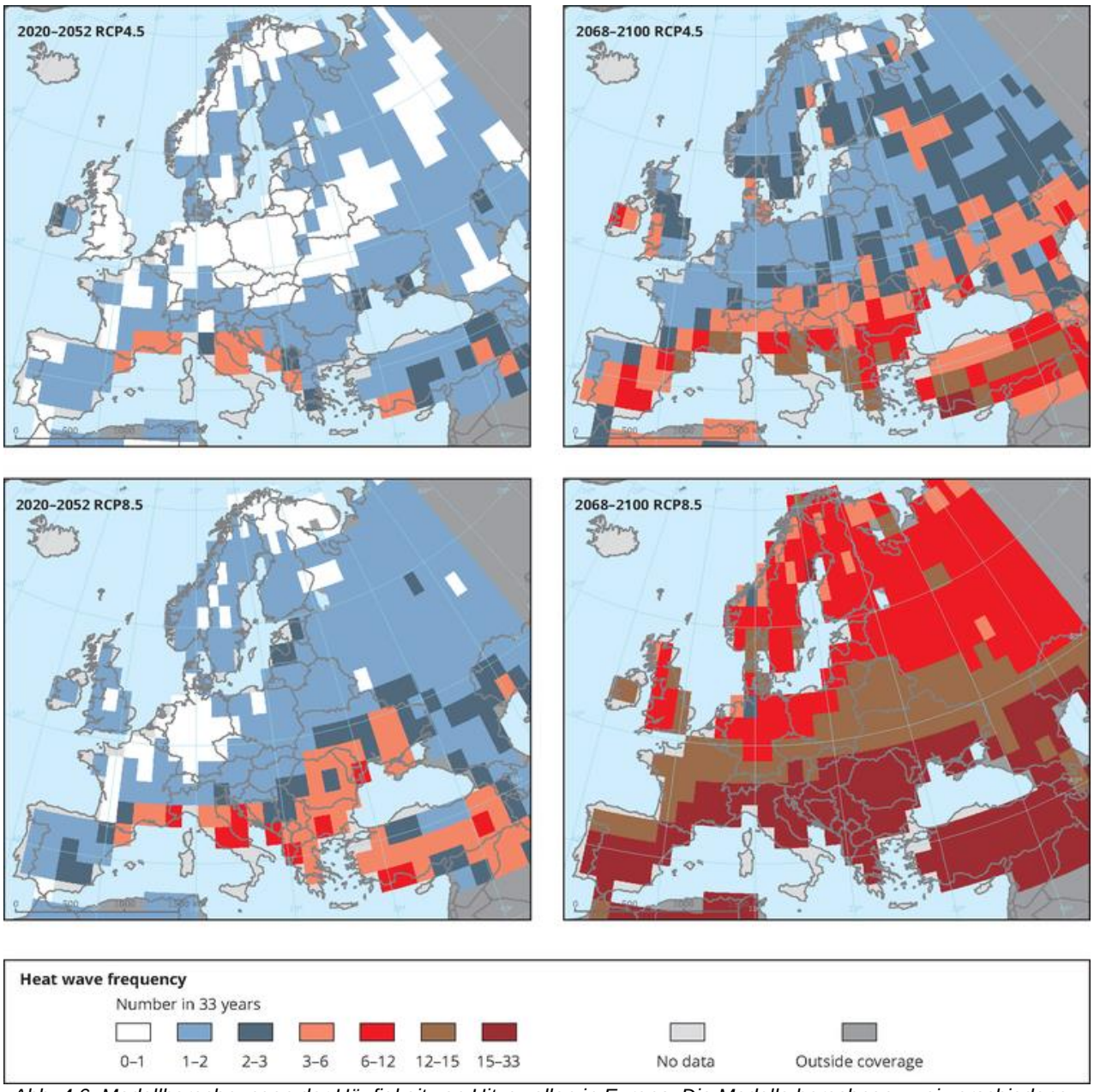


Abb. 4.6: Modellberechnungen der Häufigkeit von Hitzewellen in Europa. Die Modelle berechnen zwei verschiedene Zeiträume (2020-2052 und 2068-2100) sowie zwei verschiedene Emissionsszenarien (RCP 4.5 sowie RCP 8.5). RCP 4.5 entspricht einem gemässigten Szenario mit einer allmählichen Abkehr von fossilen Energieträgern, während RCP 8.5 einem business-as-usual Szenario ohne Massnahmen zum Schutz des Klimas gleichkommt. (Quelle: Europäische Umweltagentur: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/number-of-extreme-heat-waves/map26495_03.eps/image_large; zuletzt besucht am 29.8.2019)

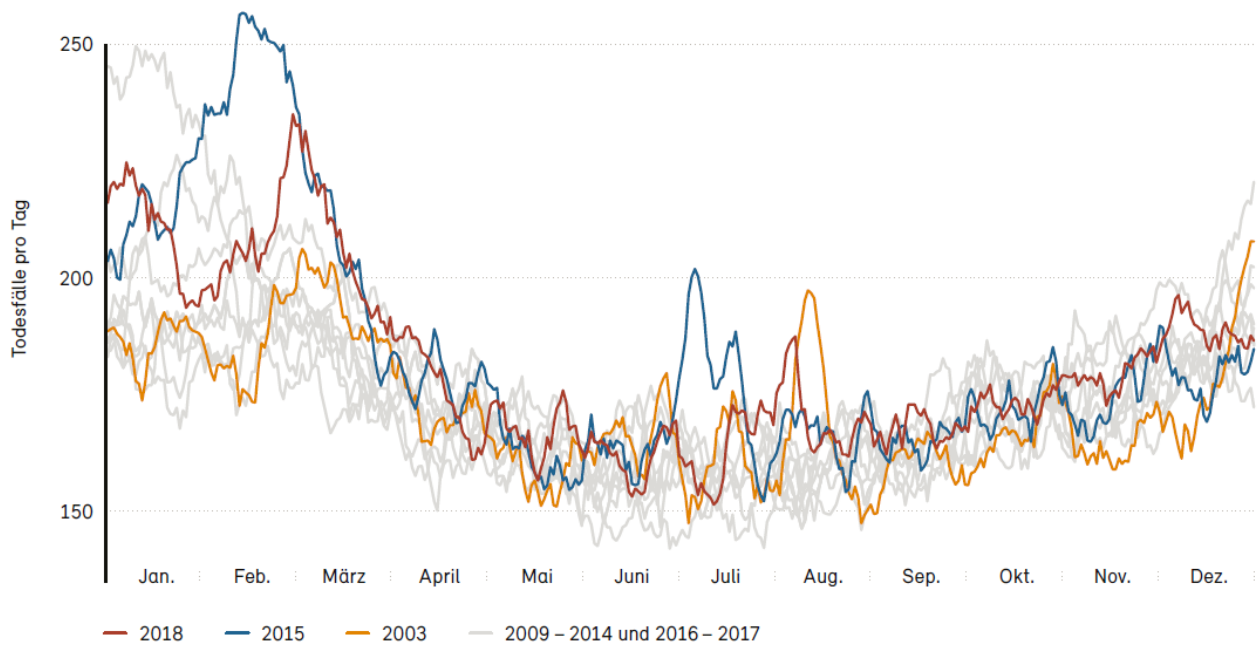


Abb. 4.7: Anzahl Todesfälle pro Tag in der Schweiz in den Jahren 2003 und 2009 bis 2018. Die Jahre 2003, 2015 und 2018 sind farbig hervorgehoben, die übrigen Jahre sind grau dargestellt. (Quelle: BAFU et al. (Hrsg.) 2019: Hitze und Trockenheit im Sommer 2018. Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1909: 91 S. Datenquelle: Swiss TPH.)

Lernaufgabe 4

a) Recherchieren Sie Auswirkungen von Hitzewellen auf Schweizerinnen und Schweizer mit Hilfe der Abb. 4.7, der wissenschaftlichen Fachliteratur sowie der Website des Bundesamtes für Gesundheit (BAG).
b) Ordnen Sie Ihre Ergebnisse den Bereichen Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft zu (vgl. Schnittmengenmodell der nachhaltigen Entwicklung).
c) Welche Personengruppen sind durch Hitzewellen am meisten bedroht? Begründen Sie Ihre Vermutungen und überprüfen Sie diese mit Hilfe der Abb. 4.7 sowie mit den wissenschaftlichen Erkenntnissen im aktuellen IPCC-Bericht (2014: *S. 15, 73, 74*) und in «Brennpunkt Klima Schweiz (SCNAT, 2016: *S. 132-135*)
d) «Ein Hitzesommer wie 2003, 2015 oder 2018 wird in 50 Jahren normal sein». Beurteilen Sie diese Aussage mit Hilfe der Abbildung 4.6.

Medien für Bearbeitung der Lernaufgaben

- Link zur Website BAG: https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/gesund-leben/umwelt-und-gesundheit/hitze.html (zuletzt besucht am 29.8.2019)

- NZZ-Artikel vom 4.8.2018: https://www.nzz.ch/panorama/die-unerwarteten-folgen-der-hitzewelle-ld.1408889 (zuletzt besucht am 29.8.2019)

Vertiefungen in «Brennpunkt Klima Schweiz» (SCNAT, 2016)

- Extremereignisse/Hitzewellen (*S. 52-56*)

5 Klimapolitik für eine klimaverträgliche Zukunft

Lernaufgabe 1

a) Überprüfen und differenzieren Sie Ihre zusammengestellten Massnahmen aus Aufgabe 1e, f und g (Kapitel 1, Seite 4) zur Minderung des Klimawandels und zur Anpassung an den Klimawandel mit Hilfe der Abbildungen 5.1 und 5.2.
b) Klären Sie allfällige Verständnisschwierigkeiten oder Unklarheiten zur Wirkungsweise einzelner Massnahmen anhand der wissenschaftlichen Fachliteratur.

1. Bepflanzung Dächer und Fassaden (A, M)
2. Aufforstung (M)
3. Begrünung/Bewässerung von Wüsten (A, M)
4. Gentechnisch veränderte Nutzpflanzen (A, M)
5. Ausbau öffentlicher Verkehrsmittel/Zugverkehr (M)
6. Elektroautos (M)
7. Nutzung Fahrrad (M)
8. Freizeit/Ferien in Naherholungsgebieten (A, M)
9. Erneuerbare Energien (Windenergie, Wasserkraft, Solarenergie) (M)
10. Hochwasserschutz/Fluttore/ Dämme (A)
11. Energieeffiziente Häuser (A, M)
12. Eisendüngung der Ozeane (M)
13. Wolkenerzeugung über Meer (A, M)
14. Zugdrachenantrieb bei Hochseeschiffen (M)
15. Solarflugzeuge/kleinere Flugzeuge (M)
16. Abdeckung Gletscher (A)
17. Sonnenschirme/Spiegel im Weltall (A, M)
18. Abbau fossiler Energieträger stoppen/reduzieren (M)
19. Inseln im Ozean (Ausweichen/ Deplatzierung/Migration) (A)

Massnahmen, die nicht direkt darstellbar sind:

20. CO_2-Sequestration (M)
21. Gesetzgebung (A, M)
22. Politisches Engagement
23. Bildung, Kommunikation
24. Anpassung der Lebewesen (z.B. Flüssigkeitszufuhr, Migration)

A = Massnahmen der Anpassung an den Klimawandel
M = Massahmen der Minderung des Klimawandels

Abb. 5.1: Massnahmen zur Minderung des Klimawandels sowie zur Anpassung an dessen Folgen (Quelle: Eigene Darstellung Projekt CCESO II. Zeichnung: Michelle Walz, 2019)

5.1 Integrales Klimarisiko-Management

Das **integrale Klimarisiko-Management** hat das Ziel, den Energie- und Rohstoffbedarf bezogen auf gesellschaftliche und wirtschaftliche Bedürfnisse (innerer roter Kreis in Abb. 5.2) so zu decken, dass die Belastbarkeitsgrenzen des natürlichen Klimasystems (äusserer blauer Ring) nicht überschritten werden und ein Lebensraum für eine klimaverträgliche Zukunft der Menschheit (mittlere grüne Ringe) gesichert wird. Das integrale Klimarisiko-Management strebt einen ganzheitlichen Umgang mit Ursachen und Folgen des Klimawandels an. Das Klimarisiko-Management (Abb. 5.2) ist dann integral, wenn es

- alle Bereiche des natürlichen Klimasystems (äusserer blauer Ring) und der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Bedürfnisse (innerer roter Kreis) berücksichtigt,
- die drei Dimensionen der nachhaltigen Entwicklung Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft gleichberechtigt einbezieht,
- ausgehend von Messungen klimabedingter und sozioökonomischer Veränderungen (Monitoring) Strategien und Massnahmen für eine klimaverträgliche Zukunft der Menschheit entwickelt und überprüft,
- alle Massnahmen der Minderung und Anpassung auf allen Umsetzungsebenen (sozial, räumlich, sektoriell und strategisch) einbezieht, unterstützt und realisiert
- und bei der Planung und Aushandlung von Massnahmen verschiedene Akteure beteiligt, um so Zielkonflikte zu bestimmen und Synergien zu nutzten und eine integrierte Entwicklung hin zu einer klimaverträglichen Zukunft umzusetzen.

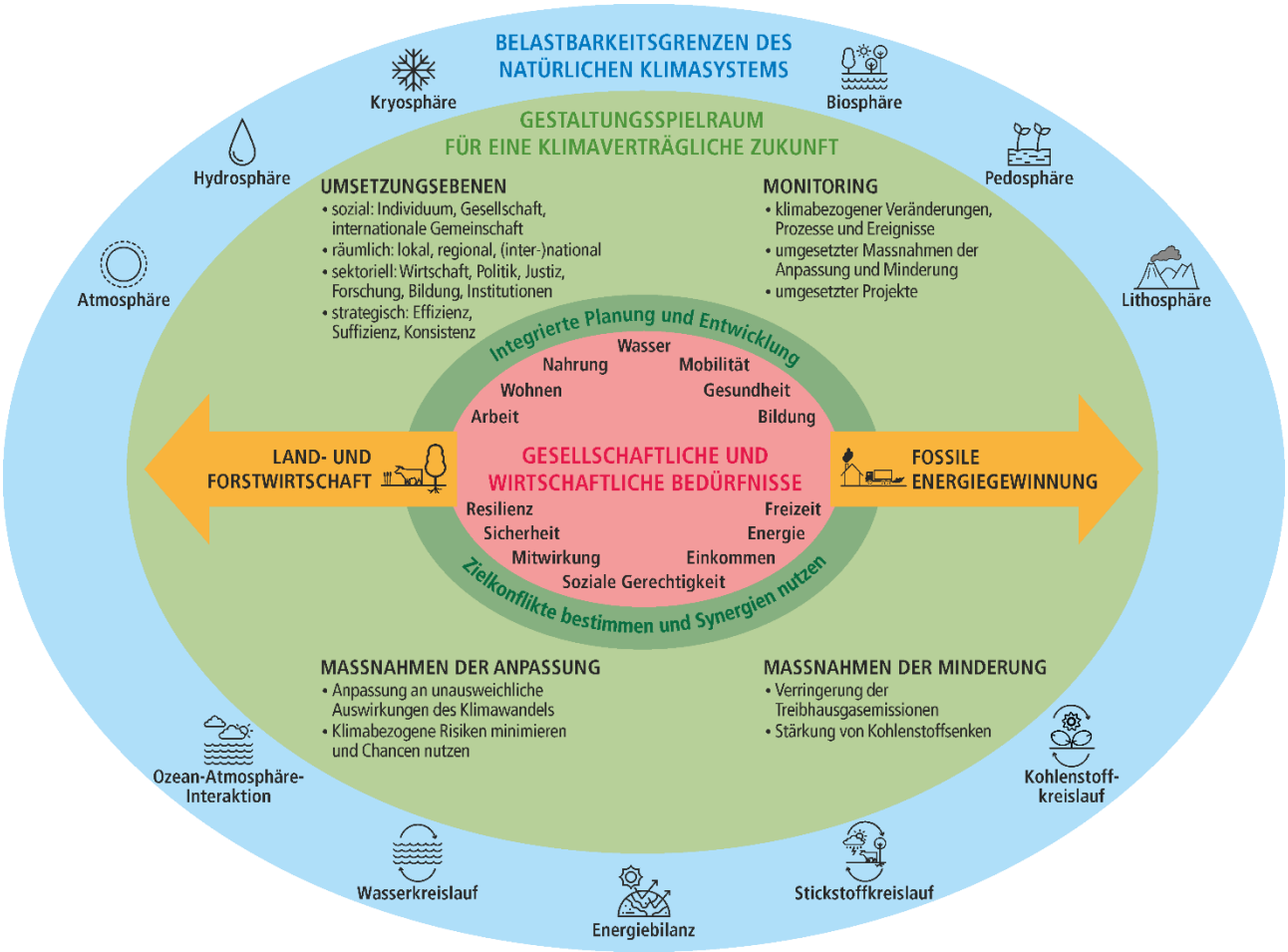


Abb. 5.2 Integrales Klimarisiko-Management (Quelle: Eigene Darstellung Projekt CCESO II, 2019)

Als **Minderung** (oder Mitigation) bezeichnet das IPCC alle Massnahmen (Abb. 5.1), welche zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen führen (z.B. Erhöhung der Energieeffizienz, Förderung erneuerbarer Energieträger) oder die Aufnahme von CO_2 durch sogenannte Senken fördern (z.B. Aufforstungen). Als **Anpassung** (oder Adaption) bezeichnet das IPCC Initiativen und Massnahmen (Abb. 5.1), welche die Empfindlichkeit natürlicher und menschlicher Systeme gegenüber den unvermeidbaren Auswirkungen des Klimawandels verringern. Dazu gehört zum Beispiel der Einsatz von Pflanzen, die besser mit Trockenheit und Hitze umgehen können.

Massnahmen der Minderung und Anpassung sind komplementär, d.h. je mehr auf Minderung gesetzt wird, desto weniger Anpassung an die Folgen des Klimawandels ist nötig. Die verschiedenen Massnahmen lassen sich nachfolgenden Bereichen gliedern (vgl. Geografie. Wissen und verstehen 2019: S. 355-359):

- Freiwillige wirtschaftliche Massnahmen: Label, Zertifizierungen, Branchenvereinbarungen
- Juristische Massnahmen: Vorschriften, Verbote
- Politische Massnahmen: Raumplanung, Risikomanagement für Naturgefahren, Bildung, Gesundheit, Arbeit
- Raumplanerische Massnahmen: Verdichtung, Durchmischung, Lebensqualität, Mobilität
- Marktwirtschaftliche Massnahmen: Emissionshandel, Lenkungsabgaben, ökologische Steuerreform
- Technische Massnahmen: effiziente Energie- und Ressourcennutzung

Lösungsansätze zur Anpassung an oder Minderung von Klimafolgen können auf unterschiedlichen gesellschaftlichen und räumlichen **Umsetzungsebenen** erfolgen. Während der Verzicht auf Fleisch oder auf Flugreisen im individuellen Handlungsspielraum liegt, spielen sich Diskussionen um Gesetze oder Abkommen meist auf nationaler und internationaler bzw. globaler Ebene ab. Das integrale Klimarisiko-Management erfordert Aktivitäten auf allen Umsetzungsebenen; individuell und gesellschaftlich, sowie lokal, regional, national und global. Die Aushandlung und Umsetzung klimapolitischer Massnahmen auf globaler oder nationaler Ebene lösen politische und gesellschaftliche (Lern-)Prozesse aus, die zur Sensibilisierung der Akteure auf lokaler Ebene führen («top down»). Demgegenüber bauen Individuen und Gesellschaft Werte, Normen und Haltungen auf lokaler und regionaler Ebene auf, die auf nationaler und internationaler Ebenen zu Handlungen führen können («bottom up»).

Individuum	Gesellschaft		
lokale Ebene	lokale Ebene	regionale und nationale Ebene	internationale Ebene
ethisch, normativ	normativ, politisch, strategisch		
Werte reflektieren und entsprechend handeln	Werte diskutieren und vereinbaren	Gesetze verhandeln, festlegen und durchsetzen	Strategien und Ziele aushandeln
Wie will ich handeln?	Wie wollen wir handeln?	Welche Handlungen sind für uns verbindlich?	Wie wollen wir in Zukunft handeln?

bottom up →

← **top down**

Beispiele von Massnahmen für eine klimaverträgliche Zukunft:			

Abb. 5.3 Umsetzungsebenen Massnahmen für eine klimaverträgliche Zukunft (Erweitert nach Geografie. Wissen und verstehen 2019: S. 347)

Für die Umsetzung einer klimaverträglichen Entwicklung bieten sich Effizienz, Suffizienz und Konsistenz als drei sich ergänzende Strategien an. Die **Effizienz-Strategie** will mit weniger Input den gleichen Output erreichen, z.B. Hybridauto. Die **Suffizienz-Strategie** will mit einem genügsamen Lebensstil den Ressourcenverbrauch auf ein sozial- und umweltverträgliches Mass vermindern und dabei zeigen, dass der Verzicht die Lebensqualität erhöhen kann, z.B. Carsharing, öffentlicher Verkehr. Suffizienz ist geleitet vom Prinzip «weniger ist mehr» oder «je mehr du hast, um so mehr hat es dich». Die **Konsistenz-Strategie** will wirtschaftliche Aktivitäten sowie Stoff- und Energieströme zu Kreisläufen schliessen, so dass Ressourcen und Ökosystem nicht belastet werden und keine Abfälle und Verluste entstehen. Konsistenz ist geleitet vom Prinzip, dass Produkte nach dem «Verbrauch» nicht weggeworfen werden, sondern als Rohstoffe für neue Ware verwendet werden, z.B. Biotreibstoff aus organischem Abfall.

Lernaufgabe 2

a) Wie ist es möglich, dass Flüge nach Palma de Mallorca für 29 CHF erhältlich sind, obschon Flugzeuge hohe klimabedingte Schadenskosten verursachen? Stellen Sie mögliche Gründe zusammen.

b) Stellen Sie zu jeder der vier Umsetzungsebenen (Abb. 5.3) konkrete Beispiele von Massnahmen für eine klimaverträgliche Zukunft zusammen (Medien 1 bis 5, Abb. 5.4).

Medien:
1) SRF1 Tagesschau, 01.09.2016 Bundesrat steckt neues Klimaziel (2:27 Minuten): http://www.srf.ch/play/tv/tagesschau/video/bundesrat-steckt-neues-klimaziel?id=c2166d84-f4dd-4d5e-9f9b-8e4d82741cf9 (zuletzt besucht am 29.8.2019)

2) ARD Nachrichtenatlas 4.12.2018 «Greta Thunberg: Kampf für Klimaschutz macht Schülerin weltberühmt» und Abb. 5.6 https://www.tagesschau.de/schweden-klimaschutz-101.html (zuletzt besucht am 29.8.2019) .

3) Rede von Greta Thunberg am Klimagipfel von Katowice (3:34 Minuten, EN): https://www.youtube.com/watch?v=VbDnPj0G0wY (zuletzt besucht am 29.8.2019)

4) Website der eigenen Wohngemeinde.

5) SRF1 10vor10, 3.8.2018 Klimawerte auf der Menükarte (2:39 Minuten): https://www.srf.ch/sendungen/10vor10/die-idee-klimawerte-auf-der-menuekarte-3 (zuletzt besucht am 29.8.2019)

1) 2) 3) 5)

Abb. 5.4: Greta Thunberg streikt und kämpft seit dem 20. August 2018 für eine konsequentere Klimapolitik. Hier bei ihrer Ankunft am WEF in Davos im Januar 2019 (Quelle: Keystone-SDA)

5.2 Die Schweizer Klimapolitik

Die Schweizer Klimapolitik ist in den vergangenen 20 Jahren von verschiedenen Akteuren aus Politik, Wirtschaft und Interessensverbänden ausgehandelt worden und besteht heute aus **Massnahmen der Minderung und der Anpassung**. Die Massnahmen der Schweizer Klimapolitik richten sich vorwiegend aus an der Minderung der kohlenstoffbasierten Energiegewinnung in wirtschaftlicher Produktion, Infrastrukturen (Heizung, Kühlung) und Verkehr sowie an der Minderung des zunehmenden Energiebedarfs ausgelöst durch Lebensstil und Konsum (vgl. Abb. 5.2). Dabei ist ein Massnahmenmix entstanden, der sich laut dem Bundesrat bewährt und möglichst weitergeführt werden soll, wobei auch einzelne Massnahmen ausgebaut werden sollen.

Was sind die Folgen weiter zunehmender Treibhausgaskonzentrationen und welchen Erfolg versprechen Senkungen des Treibhausgasausstosses? Diese Fragen lassen sich nur mit Computersimulationen von Klimamodellen beantworten. Die Schweizer Klimaszenarien CH2018 berechnen die Auswirkungen für zwei Extremsituationen (Abb. 5.5 und 5.6):
Kein Klimaschutz (RCP8.5): Klimaschutzmassnahmen werden nicht ergriffen. Trotz des technischen Fortschritts nehmen daher die klimawirksamen Emissionen stetig zu – und mit ihnen die Erwärmung.
Konsequenter Klimaschutz (RCP2.6): Mit einer umgehend eingeleiteten Senkung der Emissionen auf praktisch Null wird der Anstieg der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre bis etwa in 20 Jahren gestoppt. Damit lassen sich die Ziele des Pariser Klimaabkommens von 2015 wahrscheinlich erreichen und die globale Erwärmung auf zwei Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Zustand begrenzen.

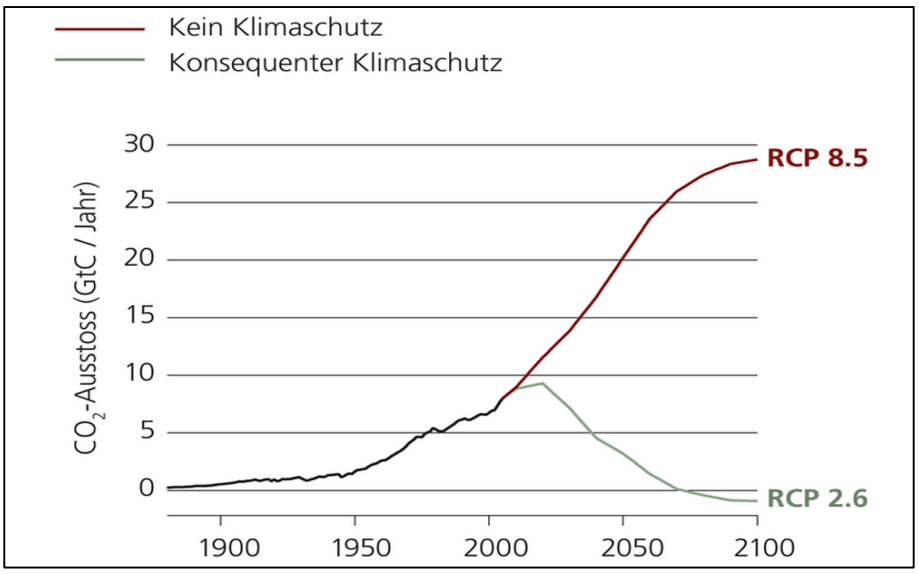


Abb. 5.5: Emissionsszenarien: Weltweiter netto CO_2-Ausstoss aus fossilen und industriellen Quellen (Quelle: Klimaszenarien CH2018)

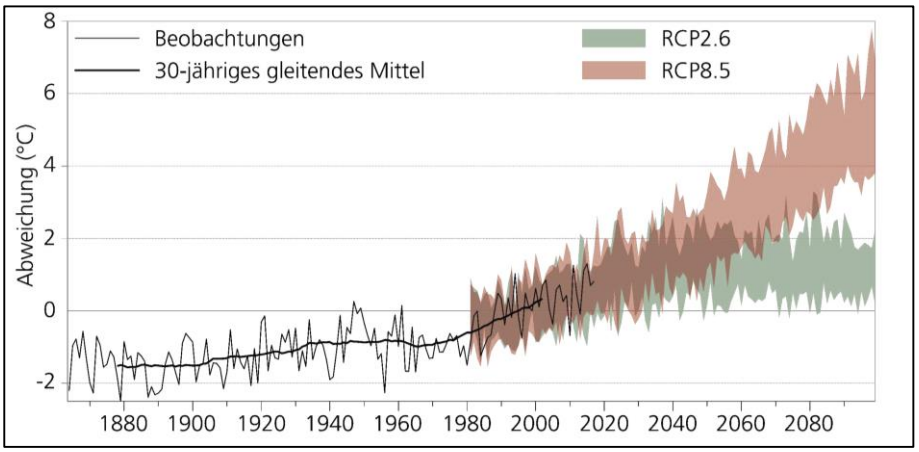


Abb. 5.6: Schweizer Jahresmitteltemperatur von 1864 bis 2018 (Abweichung von der Normperiode 1981-2010) und zukünftige Temperaturentwicklung in Abhängigkeit verschiedener Emissionsszenarien. (Quelle: Klimaszenarien CH2018)

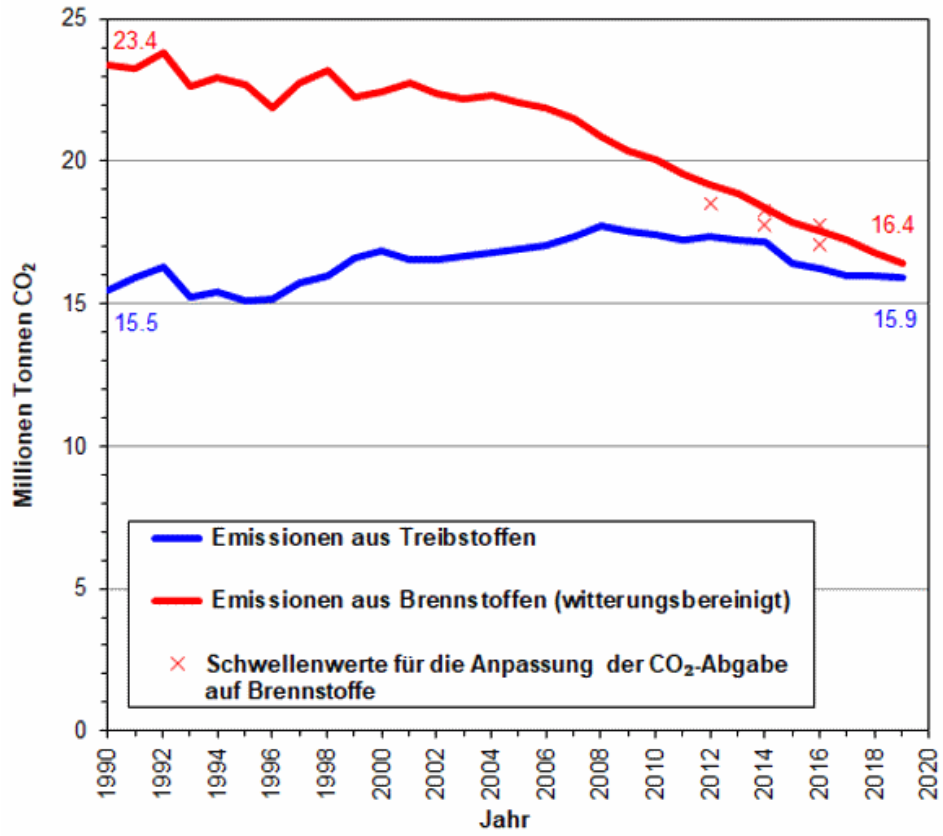


Abb. 5.7: Entwicklung der CO_2-Emissionen aus Brenn- und Treibstoffen gemäss CO_2-Gesetz (Zeitreihe 1990-2019). Die CO_2-Emissionen aus Brennstoffen (rot) sind witterungsbereinigt. Die roten Kreuze zeigen die Schwellenwerte, bei deren Überschreitung der Abgabesatz der CO_2-Abgabe auf Brennstoffe automatisch erhöht wird. Die CO_2-Emissionen aus Treibstoffen (blau) müssen teilweise kompensiert werden. (Quelle: BAFU, 2018 : https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/daten-indikatoren-karten/daten/co2-statistik.html; zuletzt besucht am 23.10.2020)

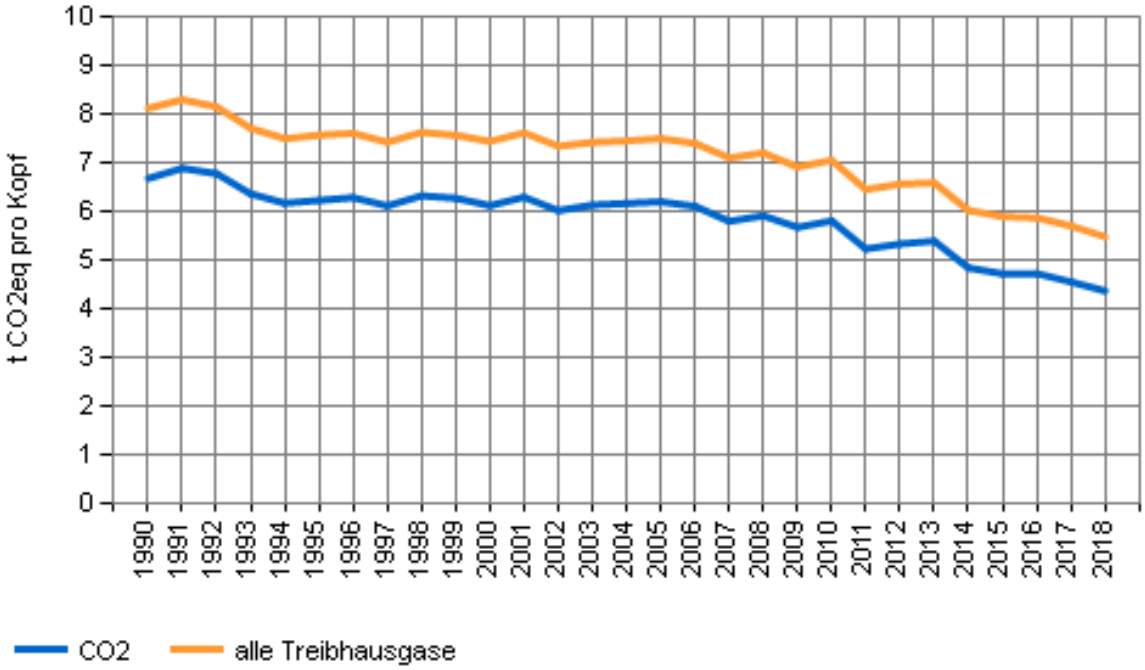


Abb.5.8: Kernindikator CO_2-Emissionen pro Kopf (1990–2018) in der Schweiz (Quelle: BAFU, BFS, 2020: www.bafu.admin.ch/umwelt/indikatoren/08557/08562/index.html?lang=de; zuletzt besucht am 23.10.2020)

Lernaufgabe 3

a) Ordnen Sie die klimapolitischen Massnahmen der Schweiz den Aspekten und Umsetzungsebenen des integralen Klimarisiko-managements zu (Abb. 5.2) und beurteilen Sie anschliessend die Schweizerische Klimapolitik (Grundlagen: Medien 6 bis 11).

b) Stellen Sie Argumente für Massnahmen zur Minderung der CO_2-Emissionen im Inland und Ausland zusammen (Grundlagen: Medien 6 und 11).

Medien:
6) SRF1, 13.11.2018: Klimawandel in der Schweiz (11:27 Minuten) https://www.srf.ch/sendungen/10vor10/fokus-klimawandel-michelle-obamas-autobiografie-kunstmaezen (zuletzt besucht am 29.8.2019)

7) National Centre for Climate Services NCCS (2013): Erklärvideo zum Klimabeobachtungssystem GCOS Schweiz (6:42 Minuten) https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/materialien-und-daten/mediathek/videos.html (zuletzt besucht am 29.8.2019)

8) Brennpunkt Klima Schweiz (SCNAT, 2016): Kapitel «Minderungsziele in der ersten und zweiten Verpflichtungsperiode»
(S. 194f), «Minderungsmassnahmen bis 2020» (S. 195f) und «Ausblick auf die Zeit nach 2020» (S. 197)

9) Bundesamt für Umwelt BAFU (2017): Erklärvideo zur Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz – Wie kann sich die Schweiz an den Klimawandel anpassen? (8:19 Minuten)
https://www.youtube.com/watch?v=6Ag3JqZF8Dg&feature=youtu.be (zuletzt besucht am 29.8.2019)

10) Abbildungen 5.7 und 5.8

11) ProClim (2018): Broschüre «Klima- und Energiepolitik», S. 10 – 17. https://naturalsciences.ch/uuid/6bd349e7-29d4-596f-9932-a223713a42a9?r=20181129105710_1544718116_3537fd50-eb87-54d3-b67e-efe372a59f22 (zuletzt besucht am 29.8.2019)

6) 7) 9) 11)

6 Synthese

6.1 Stadt – ein Brennpunkt des Klimawandels

Lernaufgabe 1

a) Die Folgen des Klimawandels stellen Städte und ihre Einwohnerinnen und Einwohner vor grosse Herausforderungen. Inwiefern wirkt sich der Klimawandel überhaupt auf eine Stadt und auf das Leben darin aus? Tragen Sie erwartete Folgen des Klimawandels für städtische Gebiete mit Hilfe der Sphären des Klimasystems (vgl. Kap. 2) zusammen.
b) Überprüfen und ergänzen Sie Ihre Überlegungen mit Hilfe der wissenschaftlichen Erkenntnisse aus der Broschüre «Klimawandel: Was er für Städte bedeutet».

Folgen für die städtische Atmosphäre:

…. Biosphäre:

…. Hydrosphäre:

…. Kryosphäre:

…. Pedosphäre und Lithosphäre:

…. Anthroposphäre:

Lernaufgabe 2

a) Weshalb spielen Städte in Bezug auf den Klimawandel eine besondere Rolle? Argumentieren Sie sowohl aus Sicht der Folgen, als auch aus Sicht der Ursachen.
b) Entwickeln Sie zu zweit Erklärungsansätze für das Phänomen «Hitzeinsel Stadt» in Abbildung 6.1. Überprüfen Sie Ihre Vermutungen mit Hilfe des Zeitungsartikels zum Thema Stadthitze.

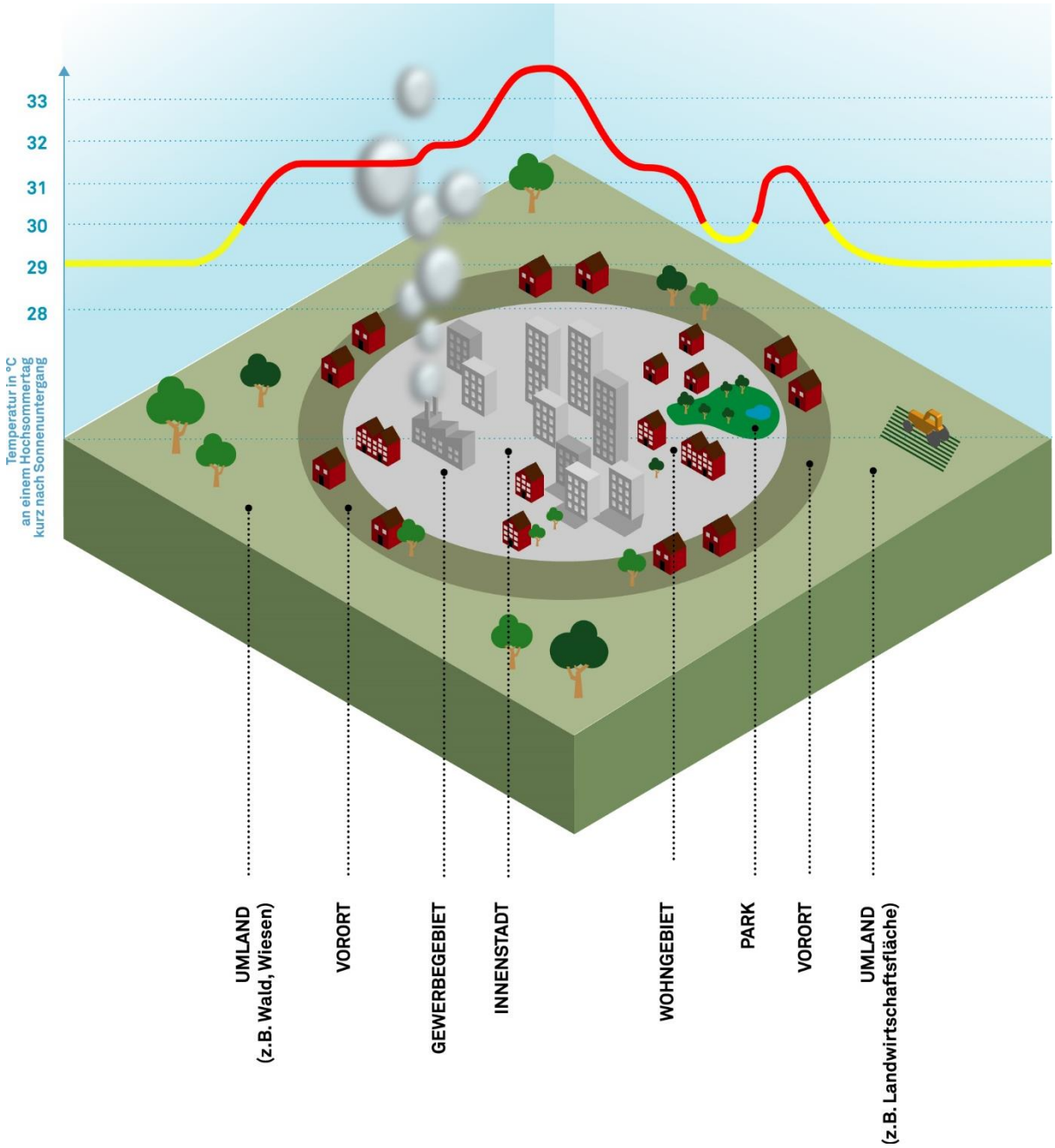


Abb. 6.1: Beispielhaftes Temperaturverhalten in einer Stadt und in ihrem Umland an einem Hochsommertag kurz nach Sonnenuntergang. (Quelle: Eigene Darstellung Projekt CCESO II, 2019)

Lernaufgabe 3

a) Wie kann dem Problem der städtischen Hitzebelastung in Ihrer Stadt entgegengewirkt werden? Erstellen Sie mit Hilfe der Fachliteratur in Gruppen ein Mind-Map zu möglichen Massnahmen auf verschiedenen Umsetzungsebenen im Sinne des integralen Klimarisiko-Managements (vgl. Abb. 5.2, S. 34).
b) Vergleichen und diskutieren Sie Ihre Ergebnisse mit der Klasse.

Medien für Bearbeitung der Lernaufgaben

- Broschüre «Klimawandel: Was er für Städte bedeutet»:

https://www.klimafakten.de/sites/default/files/images/reports/printversion/klimawandelundstaedte.pdf (zuletzt besucht am 29.8.2019)

- Bund-Artikel zu Stadthitze in Bern (3.8.2018):
https://www.derbund.ch/bern/nachrichten/Kies-statt-Asphalt-gegen-Hitzestress/story/30743895 (zuletzt besucht am 29.8.2019)

Vertiefungen in «Brennpunkt Klima Schweiz» (SCNAT, 2016)
- Risiken für urbane Gebiete der Schweiz und deren Infrastruktur (*S. 122-125*)
- Wärmeinsel-Effekt und Anpassungsprojekte (*S. 126-128*)
- Hitzewellen und Gesundheit (*S. 132-135*)

7 Online Bibliothek - wissenschaftliche Fachliteratur

Grundlagen, globaler Fokus

A) **5. IPCC-Report - Synthesebericht (2014)**

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/IPCC-AR5_SYR_barrierefrei.pdf
(zuletzt besucht am 29.8.2018)

- HerausgeberIn: *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Weltklimarat), ca. 830 WissenschaftlerInnen als Mitautoren

- Zusammenfassung der wissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels, global/regional
  - Beobachtete Änderungen und deren Ursachen
  - zukünftige Klimaänderungen, Risiken und Folgen
  - zukünftige Pfade für Anpassung, Minderung und Nachhaltige Entwicklung
  - Anpassung und Minderung

B) **«Bildungswiki Klimawandel» (Website)**

http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Hauptseite
(zuletzt besucht am 29.8.2018)

- HerausgeberIn: *Deutscher Bildungsserver, Hamburger Bildungsserver, Climate Service Center*

- Enzyklopädie zum anthropogenen Klimawandel, laufend aktualisiert
- Suchfunktion
- basierend auf IPCC-Berichten und wissenschaftlichen Publikationen

C) **«Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke» (2007)**

https://www.pik-potsdam.de/services/infothek/buecher_broschueren/.images/broschuere_cms_100.pdf
(zuletzt besucht am 29.8.2018)

- HerausgeberIn: *Potsdam Institut für Klimafolgenforschung*, verschiedene WissenschaftlerInnen aus der Schweiz und aus Deutschland

- Zusammenfassung der wichtigsten Grundlagen, global/regional

Grundlagen, Fokus Schweiz

D) **«Brennpunkt Klima Schweiz: Grundlagen, Folgen und Perspektiven» (2016)**

https://naturwissenschaften.ch/uuid/2b06c5fb-cc63-5e48-a6f8-4c011eb84888?r=20180809175703_1527109392_07094532-cb73-5262-aaea-e901e7ba3a51
(zuletzt besucht am 29.8.2018)

- HerausgeberIn: *Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT)*, 70 Schweizer Wissenschaftler als Mitautoren

- Grundlagen zu Ursachen, Folgen und Massnahmen, lokal/regional/national, Fokus auf Schweiz, Vergangenheit bis Zukunft, basierend auf IPCC-Report

E) **«Klimawandel Schweiz» (Website)**

https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/klimawandel-schweiz.html
(zuletzt besucht am 29.8.2018)

- HerausgeberIn: *Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz)*

- Messwerte und Ausführungen zum Klimawandel in der Schweiz, Fokus auf Indikatoren/Folgen der Atmosphäre und Biosphäre

F) **«Klima: Fachinformationen» (Website)**

https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen.html
(zuletzt besucht am 29.8.2018)

- HerausgeberIn: *Bundesamt für Umwelt (BAFU)*

- Daten und Ausführungen zu Grundlagen, Ursachen und Folgen mit Fokus Schweiz
- Nationale und internationale Klimapolitik

G) **«Schweizer Klimaszenarien CH2018» (Website)**

https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home.html
(zuletzt besucht am 29.8.2018)

- HerausgeberIn: *Nationales Zentrum für Klimadienstleistungen (NCCS)*

- Aktuellste und hochaufgelöste Szenarien für die Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweiz
- Geordnet nach Themenschwerpunkten, Sektoren und Regionen
- Risiken und Chancen
- Massnahmen Klimaschutz und Anpassung
- Webatlas mit Grafiken zu lokalen Folgen