

Folgen des Klimawandels

Folgen des Klimawandels in der Wirkungskette

Der aktuelle, von Menschen verursachte Klimawandel hat mannigfaltige und weitreichende Folgen sowohl für die Natur als auch für die Menschen. Klimafolgen können entlang einer dreiteiligen Wirkungskette eingeordnet werden: Zunächst sind die physikalischen Teile des Klimasystems betroffen, dann die biologischen bzw. natürlichen Lebenssysteme, und schliesslich auch die menschlichen Nutzungssysteme.

Beispielsweise kann der Klimawandel in einer bestimmten Region zunächst zu erhöhten Temperaturen, geringeren Niederschlägen und ausgedörrten Böden führen (physikalisches System). Dürreperioden wiederum gehen mit eingeschränktem Pflanzenwachstum einher (biologisches System). Dies kann zu empfindlichen Ernteaussfällen und allenfalls zu Hunger führen (menschliches System). Neben solch negativ behafteten Wirkungsketten gibt es auch positive Effekte. Zum Beispiel kann der Klimawandel dazu führen, dass sich Klima- und Ökozonen verschieben und Pflanzen in höheren oder polnäheren Regionen gedeihen. Somit können auch landwirtschaftliche Nutzpflanzen wie Weinreben, Weizen oder Kartoffeln an neuen Standorten wachsen.

Ein spezieller Aspekt sind Extremereignisse (Naturkatastrophen), deren Intensität und Häufigkeit sich ändern können; dies meist mit negativen Folgen.

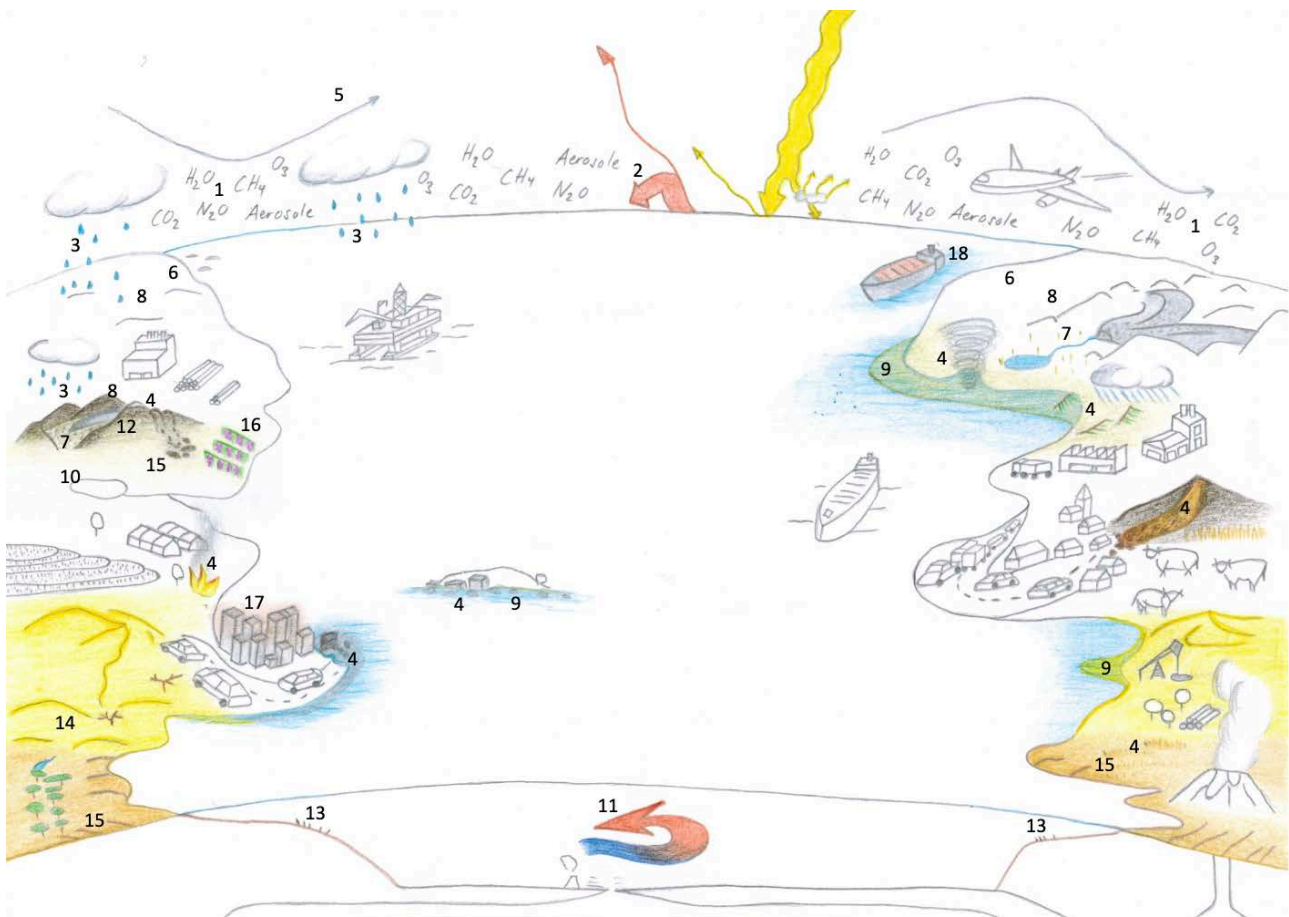


Abb. 1 Folgen des Klimawandels (Eigene Darstellung Projekt CCESO II. Zeichnung: Michelle Walz)

A) Atmosphäre

1. Zunahme der Treibhausgase (z.B. CO₂, H₂O, CH₄)
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 (Hochwasser, Dürre, Murgang, Rutschung, Sturzgefahren)
8. Auftauender Permafrost
9. Meeresspiegelanstieg
10. Abflussveränderungen
11. Änderung Meeresströmungen

D) Biosphäre

12. Änderung Höhenzonen (Vegetationsgrenze steigt, Abnahme Schnee/Eis)
13. Absterben Korallen/Ozeanversauerung
- * Abnahme der Biodiversität
- * Änderung der Vegetationszone

E) Pedosphäre

14. Desertifikation
15. Bodenerosion
4. Zunahme von Extremereignissen (Rutschungen)

F) Lithosphäre

4. Zunahme von Extremereignissen (Fels-, Bergsturzgefahren)

G) Anthroposphäre

16. Anbaugelände von Kulturpflanzen (z.B. Trauben) verschoben sich; neue, andere Sorten
17. Hitzezunahme in Städten
18. Neue Schifffahrtsrouten (z.B. Nordwest-Passage, nördliche Seeroute)
- * Folgen für Gesundheit (z.B. Hitzestress, Krankheiten, Mangelernährung)
- * Migration, Konflikte
- * Wirtschaftliche Folgen (z.B. Tourismus, Ernteauffälle in der Landwirtschaft, neue Möglichkeiten für Rohstoffabbau in der Arktis)

* *nicht darstellbar*

In diesem Faktenblatt kann nicht ein umfassender Ein- und Überblick zu den vielfältigen Folgen des Klimawandels und den damit verbundenen Wechselwirkungen geben; es werden lediglich einige grundlegende und beispielhafte Zusammenhänge in verschiedenen Sphären kurz beschrieben und entlang der Wirkungsketten kommentiert.

Atmosphäre

Eine der meistgenannten Auswirkungen des aktuellen Klimawandels ist der Anstieg der globalen Jahresmitteltemperatur. Sie ist seit der Industrialisierung (ab ca. 1820) um ca. 1.2°C gestiegen.¹

Dieser Mittelwert ist zwar ein sehr guter Indikator; er fasst die Klimaerwärmung gut zusammen. Ein grosser Nachteil ist jedoch, dass dieser Wert für Menschen nicht direkt fühlbar ist und sogar falsch verstanden werden kann – wer hat es schon nicht gerne ein bisschen wärmer? Eindeutiger ist es, wenn man Folgen des Klimawandels konkret und regional beschreibt oder zukünftige Extreme betrachtet, wie sie zum Teil schon beobachtbar sind oder simuliert werden können: Kalte Temperaturextreme werden allgemein seltener, warme Temperaturextreme häufiger.² Hitzewellen haben in weiten Teilen Europas, Asiens und Australiens zugenommen.³ Hitzewellen werden zukünftig häufiger sowie intensiver auftreten und länger dauern.⁴

Neben dem Temperaturanstieg führt der Klimawandel auch zu Veränderungen des Niederschlags: Allgemein haben Niederschläge auf der Nordhemisphäre zugenommen⁵, was damit zusammenhängt, dass bei höheren Temperaturen mehr Wasser verdunstet und mehr Wasserdampf in der Luft vorhanden ist. In trockenen Gebieten der mittleren Breiten und Subtropen werden die Niederschläge abnehmen.⁶ Prognostiziert wird eine Zunahme von extremen Niederschlagsereignissen in den mittleren Breiten und in den tropischen Regionen.⁷

1 Brönnimann, 2018, S. 11

2 IPCC, 2014, S.7

3 IPCC, 2014, S.8

4 IPCC, 2014, S.10

5 IPCC, 2014, S.4

6 IPCC, 2014, S.11

7 IPCC, 2014, S.8 & 11

Hydrosphäre und Kryosphäre (Wasser und Eis):

Die Ozeane haben sich ebenfalls erwärmt und nehmen viel mehr Energie auf als die Atmosphäre: Der Zuwachs der im Klimasystem zusätzlich gespeicherten Energie erfolgt zu 90% durch die Erwärmung der Ozeane. Nahe der Oberfläche ist die Erwärmung der Ozeane am stärksten; marine Hitzewellen nehmen entsprechend zu.

Der Meeresspiegel ist v.a. aufgrund der thermischen Ausdehnung der Ozeane durch die Erwärmung sowie durch zusätzliches Schmelzwasser von Gletschern in Europa, Asien, Nord- und Südamerika und den grönländischen und antarktischen Eisschilden angestiegen.⁸

Thermische Ausdehnung

Die Dichte des Wassers ist am grössten bei +4°C. Bei höheren (und auch bei tieferen) Temperaturen wird die Dichte kleiner, und das Wasservolumen, das eine bestimmte Wassermasse einnimmt, wird entsprechend grösser. Man nennt diesen Prozess thermische Ausdehnung.

Ausserdem nimmt der Ozean viel CO₂ aus der Atmosphäre auf (siehe Kohlenstoffkreislauf in Faktenblatt 1). CO₂ ist wasserlöslich. Zusätzliches CO₂ im Ozean führt zu einer Zunahme von Wasserstoffatomen; das Meerwasser wird saurer.⁹ Diese Versauerung der Ozeane schwächt unter anderem die Kalkschalen von Meereslebewesen, gefährdet Korallenriffe u.a. (siehe auch Abschnitt Biosphäre).



Abb. 2 Aletschgletscher 1856 und heute (© Hans-Peter Holzhauser)

Die Schnee- und Eismengen nehmen weltweit ab. Gletscher sind zeitlich verzögerte, aber zuverlässige Anzeiger von klimatischen Temperaturschwankungen: Fast überall auf der Welt sind Eismassen weiter abgeschmolzen und auf der Nordhemisphäre hat die Ausdehnung der Schneedeckung im Frühjahr abgenommen.¹⁰ Das Gebiet der Arktis sowie alpine Regionen erwärmen sich zudem etwa doppelt so stark wie im globalen Mittel.¹¹

⁸ IPCC, 2014, S.44

⁹ IPCC, 2014, S.4 & 40f

¹⁰ IPCC, 2014, S.4

¹¹ IPCC, 2014, S.10, 42 & 50

Wegen des Abschmelzens von Eis und Schnee wird weniger kurzweilige Lichtstrahlung der Sonne reflektiert und mehr Strahlung von der Oberfläche absorbiert und in langwellige Wärmestrahlung umgewandelt (siehe Faktenblatt 2 zur Strahlungsbilanz und zum natürlichen Treibhauseffekt). Das Abschmelzen der Gletscher hat Auswirkungen auf die Abflüsse und Wasserressourcen.¹² Aufgrund der höheren Temperaturen und der veränderten Schneebedeckung taut der Permafrost in höheren Breiten und in höher gelegenen Gebieten wie den Alpen weiter auf¹³, was eine Destabilisierung des Untergrunds mit entsprechenden Naturgefahren (z.B. Felsstürze oder Murgänge) zur Folge hat. Gerade Bergdörfer und die Infrastruktur in Berggebieten sind damit einem höheren Risiko ausgesetzt.¹⁴

Naturgefahren und Naturkatastrophen

Durch die Erwärmung, das Schmelzen des Gletschereises, den Anstieg der Schneefallgrenze u.a. nimmt die Luftfeuchtigkeit generell zu, denn warme Luft kann mehr Feuchtigkeit aufnehmen als kalte (Tumbler-Effekt). Diese zusätzliche Luftfeuchtigkeit und der höhere Energiegehalt können zu intensiveren Starkniederschlägen und Hochwasser führen. Auf der anderen Seite können veränderte Zirkulationssysteme regional auch zu mehr und längeren Perioden ohne Niederschlag führen (vgl. z.B. die Situation in der Schweiz im Sommer 2018).

Ökosystemstörungen wie Dürren, Stürme, Wald-, Busch- und Grasbrände, Überschwemmungen und Schädlingsbefall, haben in vielen Teilen der Welt an Häufigkeit und Intensität zugenommen.¹⁵ Allerdings lassen sich diese Störungen wissenschaftlich noch nicht einwandfrei auf den Klimawandel zurückführen. Dies liegt u.a. daran, dass langfristige Aufzeichnungen oder direkte Beobachtungen fehlen oder dass Störungen auch anderen Auslösern, wie z.B. direkt den Aktivitäten von Menschen (z.B. Abholzung, Siedlungsbau in Naturgefahren-Zonen, usw.), zugeordnet werden können.¹⁶

Biosphäre (Tier- und Pflanzenwelt)

Viele Tiere und Pflanzen – terrestrische, marine und im Süsswasser lebende - reagieren auf den Klimawandel mit einer Veränderung ihrer Verbreitungsgebiete, jahreszeitlichen Aktivitäten, Migrationsmuster, Populationsgrößen und Interaktionen mit anderen Arten.¹⁷ Viele Arten sind von einem erhöhten Risiko des Aussterbens bedroht. Marine Ökosysteme wie Korallenriffe oder polare Ökosysteme sind einer fortschreitenden Abnahme des Sauerstoffgehalts, der Ozeanversauerung und der Zunahme der Ozeantemperatur ausgesetzt.¹⁸

In der Schweiz steigt durch die Erwärmung die Baumgrenze. Dadurch wird der hochalpine Raum, der Lebensgrundlage für viele Arten ist, immer kleiner. Zudem ergeben sich verschiedene Verschiebungen, z.B. die Verschiebung des Vorkommens von Pflanzen in höheren Lagen oder frühere Blütezeit von Pflanzen, was wiederum Auswirkungen auf andere Lebewesen wie Insekten und Vögel hat.¹⁹

¹² IPCC, 2014, S.50

¹³ IPCC, 2014, S.4 & 50

¹⁴ Akademien der Wissenschaften Schweiz (2016)
Brennpunkt Klima Schweiz. Grundlagen, Folgen und Perspektiven.
Physikalische Grundlagen. S. 23

¹⁵ IPCC, 2014, S.53

¹⁶ IPCC, 2014, S.54

¹⁷ IPCC, 2014, S.6

¹⁸ IPCC, 2014, S.13

¹⁹ Akademien der Wissenschaften Schweiz (2016)
Brennpunkt Klima Schweiz. Grundlagen, Folgen und Perspektiven.
Folgen und Anpassungen. S. 96 u.a.

Menschliche Nutzungssysteme

Der Klimawandel hat zu einer negativen Auswirkung auf die globale Ernährungssicherheit. Die zuvor beschriebenen Veränderungen der Süsswasserarten und der marinen Arten stellen beispielsweise eine Herausforderung für die Fischerei dar. Der Klimawandel wirkt sich in tropischen und gemässigten Regionen im Allgemeinen negativ auf die Produktion von Weizen, Reis und Mais aus.²⁰ In einigen Regionen beeinträchtigt die Kombination von hohen Temperaturen und Feuchtigkeit die Tätigkeit der Menschen, so u.a. bezüglich des Anbaus von Nahrungsmitteln und der Arbeit im Freien.²¹ Erneuerbare Oberflächen- und Grundwasserressourcen werden aufgrund des Klimawandels in trockenen und subtropischen Regionen verringert, was zu verstärkten Konflikten um Wasser führen kann.²²

Einige wenige Regionen können von einem Temperaturanstieg profitieren.²³ Studien erwähnen positive Folgen des Klimawandels hauptsächlich für Regionen in höheren Breiten, wo sich zum Beispiel im Weinbau neue Sorten anbauen lassen. Noch ist jedoch nicht klar, ob dort die negativen oder positiven Folgen überwiegen werden.²⁴

Der Klimawandel führt v.a. in Entwicklungsländern in Regionen mit fehlender Infrastruktur und Dienstleistungen sowie in abgelegenen Gebieten zu einer Zunahme von gesundheitlichen Problemen²⁵, beispielsweise durch die Ausdehnung der Verbreitungsgebiete übertragbarer Krankheiten.²⁶ In Nordamerika und Europa können extreme Hitzeereignisse vermehrt zu Erkrankungen und Todesfällen führen.²⁷

Neben Konflikten, instabilen Regierungsformen, wirtschaftlicher Not und nicht-meteorologischen Naturkatastrophen kann auch der Klimawandel den Migrationsdruck erhöhen. Die Flucht von Menschen aus Gebieten, die den negativen Folgen des Klimawandels auf die Wasserversorgung, Ernährungssicherheit, Wirtschaft etc. besonders ausgesetzt sind, wird zunehmen. Dabei sind Menschen in Entwicklungsländern mit geringem Einkommen, denen die Mittel für die Anpassung oder eine Migration oft fehlen, besonders betroffen. Indirekt erhöht der Klimawandel die Risiken gewalttätiger Auseinandersetzungen, indem er bereits bekannte Missstände wie Armut oder wirtschaftliche Probleme verstärkt.²⁸

Auch der Tourismus wird sich verlagern, was gerade im Schweizer Wintertourismus spürbar sein wird. In Wintersportgebieten unter 2000 Meter über Meer wird die Schneesicherheit markant abnehmen.²⁹

²⁰ IPCC, 2014, S.73

²¹ IPCC, 2014, S.16

²² IPCC, 2014, S.15

²³ IPCC, 2014, S.13

²⁴ IPCC, 2014, S.53

²⁵ IPCC, 2014, S.15

²⁶ Akademien der Wissenschaften Schweiz (2016)
Brennpunkt Klima Schweiz. Grundlagen, Folgen und Perspektiven.
Folgen und Anpassung. S. 132

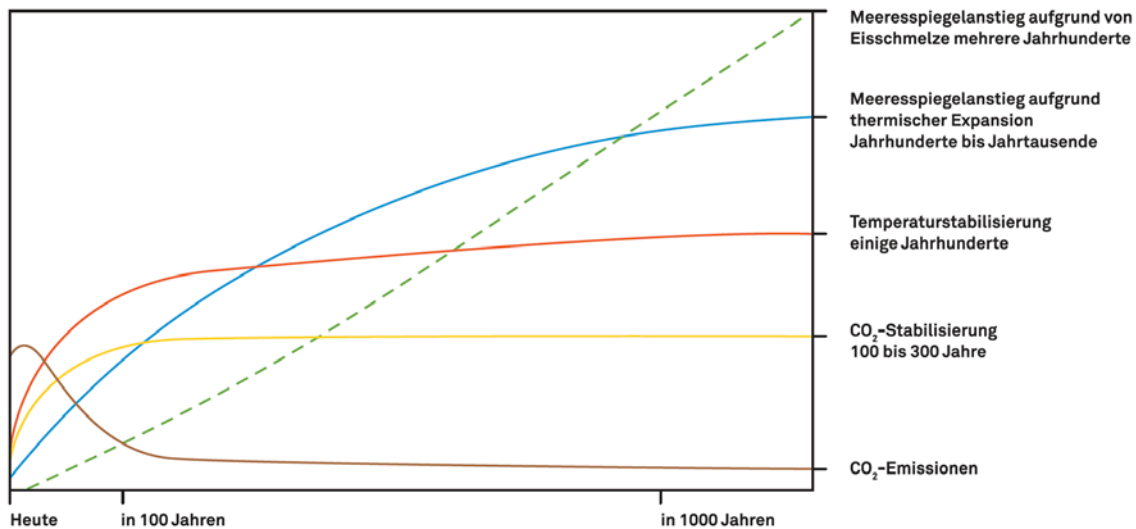
²⁷ IPCC, 2014, S.53

²⁸ IPCC, 2014, S.16

²⁹ Akademien der Wissenschaften Schweiz (2016)
Brennpunkt Klima Schweiz. Grundlagen, Folgen und Perspektiven.
Folgen und Anpassung. S. 117

Langfrist-Perspektive

Auch wenn die anthropogenen CO₂-Emissionen vollständig eingestellt werden könnten, bleiben die Temperaturen noch für lange Zeit auf einem erhöhten Niveau. Dazu kommt, dass die Stabilisierung der globalen Jahresmitteltemperatur noch keine Stabilisierung des Klimasystems bedeutet. Der von Menschen verursachte Klimawandel und seine Auswirkungen auf das Klimasystem sowie auf Menschen und ihre Nutzungssysteme sind für die nächsten Jahrhunderte, wenn nicht gar Jahrtausende, irreversibel, ausser es gelingt, mit speziellen Massnahmen CO₂ aus der Atmosphäre zu entnehmen (vgl. Faktenblatt 5).³⁰ Dauert die Erwärmung weiter an, steigt das Risiko irreversibler Änderungen im Klimasystem markant.³¹



Für die Schweiz werden mit den „Klimaszenarien Schweiz – CH2018“ (NCCS 2018) mögliche Entwicklungen der klimatischen Situation bis in 40 Jahren aufgezeigt. Dabei werden insbesondere mögliche Szenarien zur Zunahme der Jahresmitteltemperaturen (Sommertemperaturen +2,5 °C bis +4.5 °C, Wintertemperaturen), der Zunahme von Starkniederschlägen und Hitzetage im Sommer sowie von schneeärmeren Winter (Anstieg der Nullgradgrenze zwischen 400m bis 650m) skizziert.

Literatur

Akademien der Wissenschaften Schweiz (2016). *Brennpunkt Klima Schweiz. Grundlagen, Folgen und Perspektiven*. Swiss Academies Reports 11 (5). Bern: Akademien der Wissenschaften.

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

IPCC (2014): *Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC)* Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn, 2016.

NCCS, Schweizerische Eidgenossenschaft, National Centre for Climate Services (2018). *CH2018 – Klimaszenarien für die Schweiz*. <https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/klimawandel-und-auswirkungen/schweizer-klimaszenarien.html>

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

³⁰ IPCC, 2014, S.16

³¹ IPCC, 2014, S.76