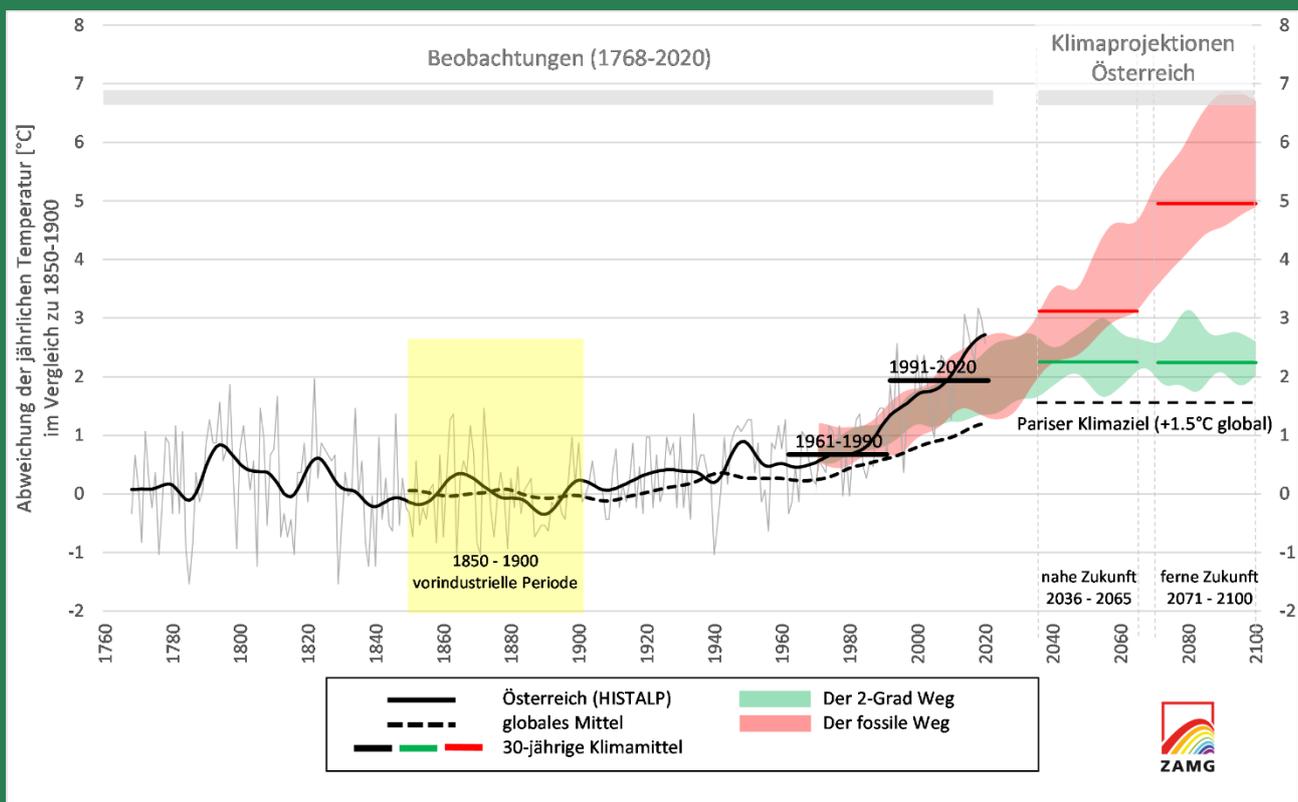


Der Klimawandel: verstehen und handeln

Regionale Auswirkungen des Klimawandels in Österreich

Modul 5c

www.klimawandel-schule.de



Zusammenfassung

Im weltweiten Vergleich ist Österreich besonders stark vom Klimawandel betroffen. Dies lässt sich am einfachsten durch die Entwicklung der durchschnittlichen Erdoberflächentemperatur verdeutlichen. Während im weltweiten Mittel die globale Oberflächentemperatur seit 1900 um rund 1°C angestiegen ist, macht sich in Österreich ein Temperaturanstieg von rund 2°C bemerkbar. Unter anderem war die Dekade von 2011 bis 2020 die wärmste seit Beginn der Aufzeichnungen. Neben dem Anstieg der Durchschnittstemperatur kommt es vermehrt zu Wetterextremen. Dazu zählen vor allem Hitzewellen, Dürren, Überschwemmungen und Stürme. Solche Extremereignisse könnten in Zukunft große Auswirkungen auf unser gesundheitliches, soziales und wirtschaftliches Leben haben.

Dadurch, dass die Erwärmung und die damit einhergehende, steigende Anzahl an Wetterextremen starken regionalen Schwankungen unterliegen, ist es nicht möglich generelle Aussagen über die regionalen Folgen des Klimawandels zu treffen. Selbst in einem verhältnismäßig kleinen Land wie Österreich machen sich die Auswirkungen in unterschiedlichen Bereichen bemerkbar und sollten regional untersucht werden.

In diesem Modul lernen die SchülerInnen, dass die Folgen des Klimawandels bei uns in Österreich deutlich spürbar sind. Zudem wird ein Bezug zwischen den physikalischen Grundlagen der vorherigen Module und der Lebenswelt der SchülerInnen hergestellt, um das Thema greifbarer zu machen.

Inhalt

Auswirkungen des Klimawandels	4
1.1. Der Klimawandel in Österreich.....	4
1.2. Regionale Auswirkungen des Klimawandels in Österreich.....	11
Exkurs: Wald und Klima	15
Aktivitäten	16
Aktivität 1 – Der Klimawandel vor der Haustür.....	16
Literaturverzeichnis.....	20

Auswirkungen des Klimawandels

1.1. Der Klimawandel in Österreich

Doch welche Auswirkungen des Klimawandels lassen sich konkret für Österreich ableiten? Im weltweiten Vergleich zeigt sich, dass Österreich besonders stark betroffen ist.

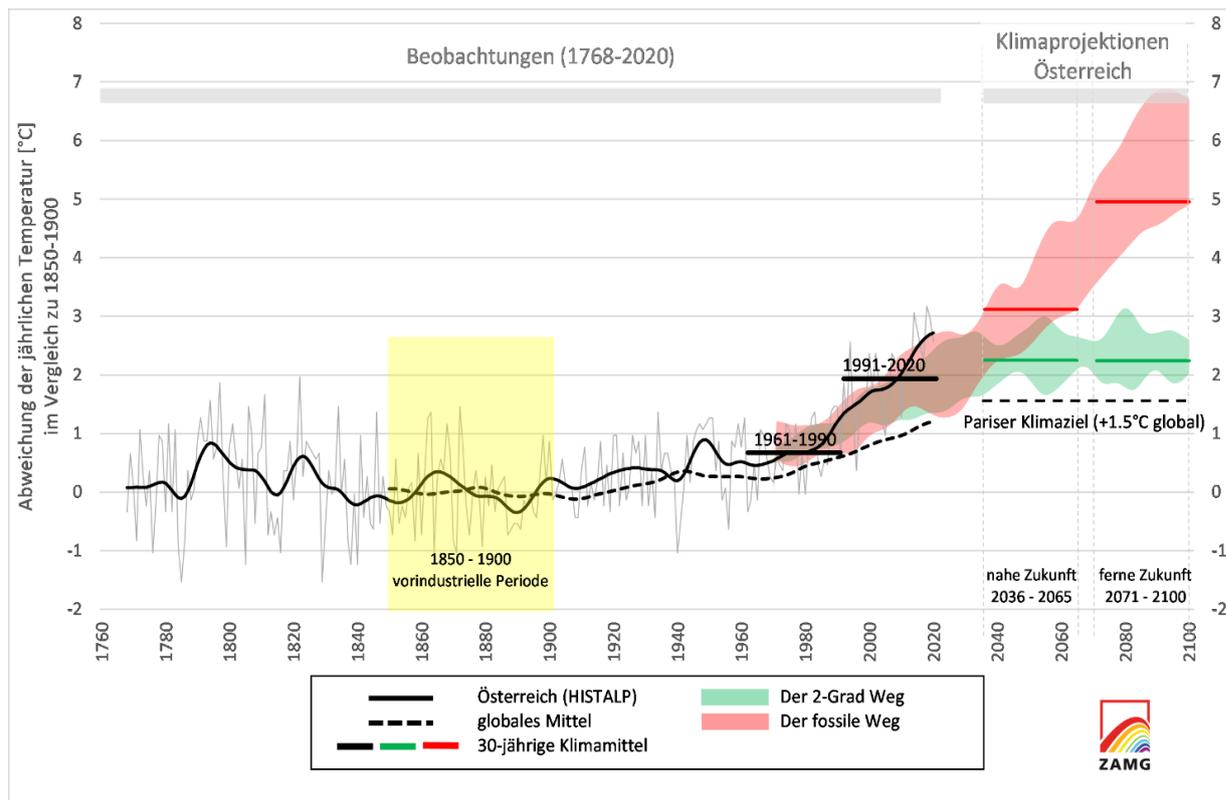


Abbildung 1 - Vergangene Entwicklung der Jahresmitteltemperatur im Vergleich zur Referenzperiode (1850-1900) und mögliche Entwicklungen in der Zukunft. (Credits: ZAMG/ÖKS15/Morice et al. 2021)

Während die Oberflächentemperatur im globalen Durchschnitt von 1901 bis 2020 um rund 1 °C angestiegen ist, lässt sich für Österreich in diesem Zeitraum eine Erwärmung von rund 2 °C beobachten. Bei weiterhin weltweit ungebremstem Ausstoß von Treibhausgasen würde sich die jährliche Durchschnittstemperatur in Österreich bis 2100 um 5 °C erhöhen (vgl. Abbildung 1 rot markierte Fläche). Bei Einhaltung des Pariser Klimaziels würde sich die Erwärmung bis 2100 knapp über dem aktuellen Niveau einpendeln (vgl. Abbildung 1 grün markierte Flächen).

Global gesehen ist die Dekade von 2011 bis 2020 die wärmste seit 1861 und wie Abbildung 1 zeigt, ist auch hierzulande eine starke Beschleunigung des Temperaturanstiegs seit den achtziger Jahren festzustellen. In der untenstehenden Abbildung 2 wurden die Temperaturmittel der letzten 30 Jahre mit jenen der Klimaperiode von 1961-1990 verglichen. Klar ersichtlich ist, dass es in allen Regionen und Höhenlagen Österreichs wärmer wurde. Die Erwärmung belief sich dabei auf 1 bis 1,5 °C. Dies ist ein Trend, der sich Klimamodellen zufolge weiter fortsetzen wird.

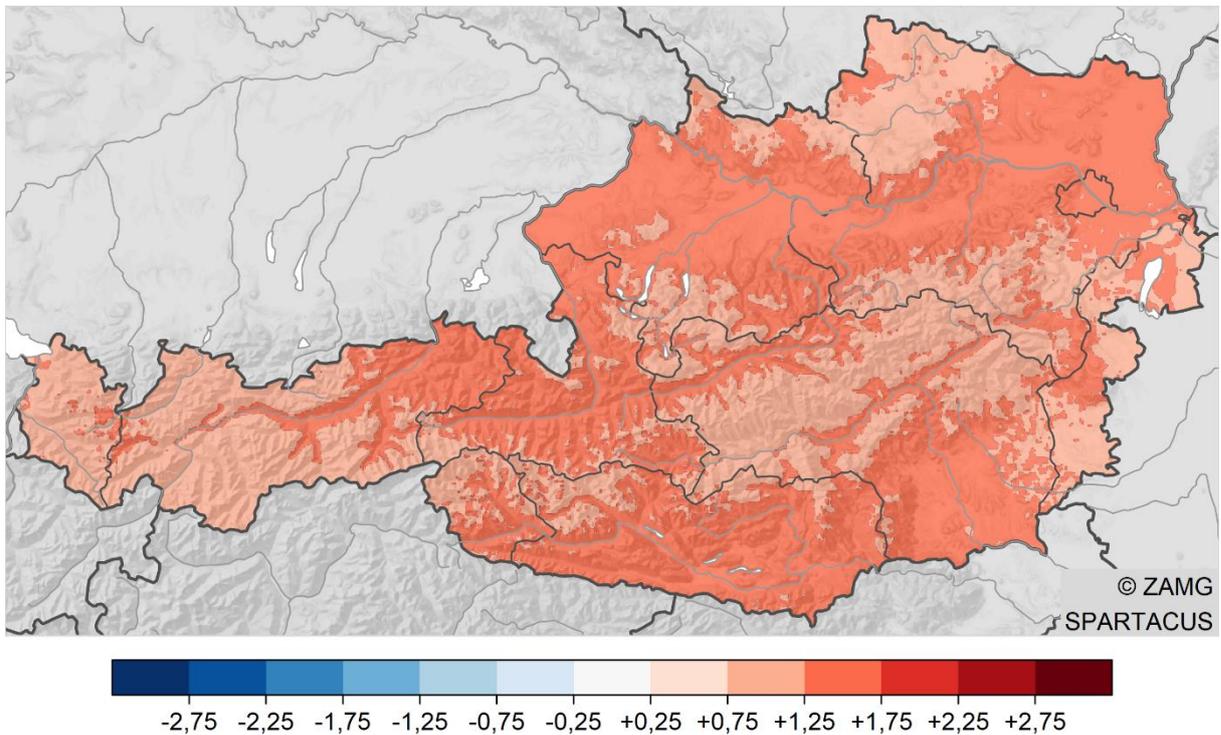


Abbildung 2 - Erwärmung der letzten 30 Jahre in Österreich: Vergleich der Klimaperiode 1991-2020 mit der Klimaperiode von 1961-1990 (Credits: ZAMG)

Eine weitere Folge der Erwärmung ist die Anzahl an Hitzetagen, also jenen Tagen an denen die Maximaltemperatur mindestens 30 °C überschreitet. In der Klimaperiode von 1961-1990 lag der Durchschnitt in den meisten Landeshauptstädten Österreichs bei 5 bis 11 Hitzetagen pro Jahr. Rekordjahre wiesen circa 20 Hitzetage pro Jahr auf. Solche Rekorde sind in den letzten 30 Jahren zur Normalität geworden. Zwischen 1991 und 2020 wurden in den Landeshauptstädten durchschnittlich etwa 16 bis 22 Hitzetage pro Jahr erreicht. In Rekordjahren wurden bereits über 40 Hitzetage festgestellt.

Bei weiterer, global ungebremster, Emission von Treibhausgasen könnten 40 Hitzetage pro Jahr bis zum Ende des Jahrhunderts in Österreich zur Normalität werden und in Rekordjahren könnte die Anzahl an Hitzetagen in einem derzeit noch völlig unvorstellbaren Bereich von 60 bis 80 Tagen mit einer Maximaltemperatur über 30 °C liegen. Diese extremen Hitzewellen stellen für den menschlichen Körper ein ernstzunehmendes Gesundheitsrisiko dar, zumal das Kreislaufsystem unseres Körpers durch enorme Hitzewellen stark beansprucht wird und es dadurch vermehrt zu Kreislaufversagen kommen kann. Laut zahlreichen Studien sterben in Europa mehr Leute an den Folgen von Hitzewellen als durch andere Wetterextreme wie Stürme oder Hochwasser. Durch Umsetzung der Pariser Klimaziele könnten diese Zahlen deutlich vermindert werden [26.]

In Abbildung 3 ist die zu erwartende Änderung der Hitzetage pro Jahr, in Bezug auf den Vergleichszeitraum 1991-2020, für den Zeitraum von 2036-2065 dargestellt.

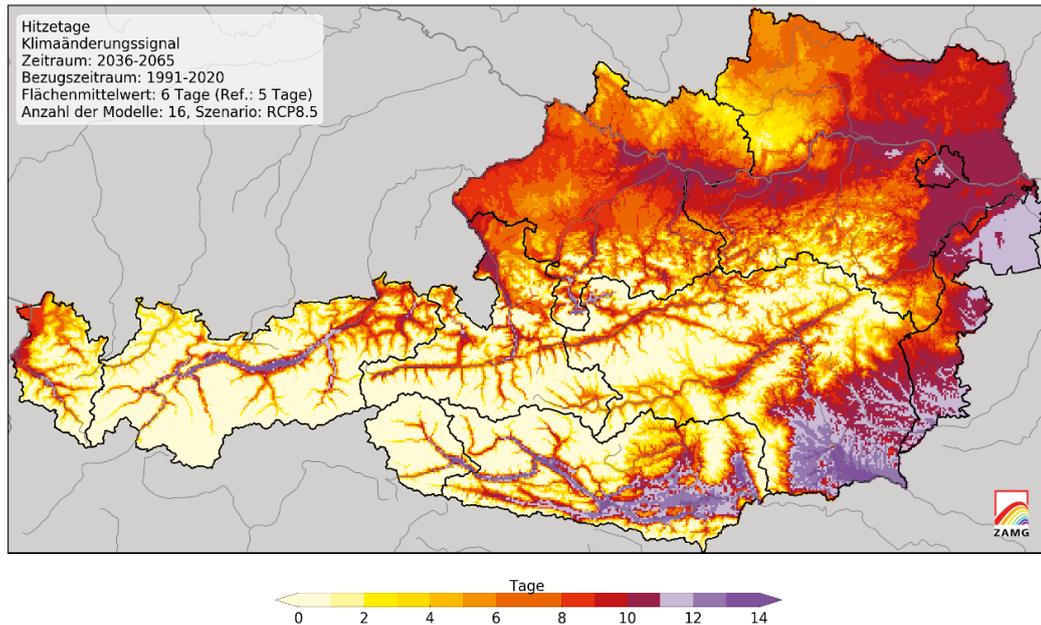


Abbildung 3 - Darstellung der für den Zeitraum von 2036-2065 zu erwartenden, absoluten Änderung der Zahl der Tage mit einer Temperatur von mindestens 30 °C in Bezug auf das aktuelle Niveau (Zeitraum von 1991-2020). Szenario RCP 8,5 (Credits: ZAMG/ÖKS15)

Die Temperatur in alpinen Gebieten ist generell niedriger als in tieferen Lagen. Deshalb kommt es hier folglich auch zu deutlich weniger Hitzetagen [26].

Bezüglich des Niederschlags ergibt sich ein regional deutlich komplexeres Bild. Aktuelle Messungen zur Folge schwankt die Magnitude des Niederschlags in den Sommermonaten von +15 bis -30%. In den Wintermonaten wird tendenziell mehr Niederschlag erwartet. Hier schwankt die Magnitude von -5 bis 30%. Die Entwicklung des Niederschlags ist jedoch sehr starken Schwankungen unterworfen, insbesondere spielen regionale Ausprägungen wie zum Beispiel die Alpen eine große Rolle [27].

Für Österreich ist zu erwarten, dass es trotz der Klimaerwärmung in den höheren Lagen, von 1500 bis 2000 m Seehöhe, kalt genug für Schneefall bleibt. In tieferen Lagen beeinflusst die Klimaerwärmung die Schneelage stärker, da der Niederschlag aufgrund der erhöhten Temperaturen vermehrt als Regen anstatt als Schnee fällt. Durch diesen Effekt steigt die Gefahr an Hochwassern und Überflutungen, wobei vermehrte Starkregenereignisse sich ebenfalls positiv auf solche Wetterextreme auswirken. In Abbildung 4 ist die prozentuale Änderung der Regentage mit bestimmten Regenmengen der letzten 30 Jahre im Vergleich mit der Referenzperiode 1961-1990 dargestellt.

Änderung der Zahl der Sommertage mit bestimmten Regenmengen (Vergleich 1961-1990 mit 1991-2020)

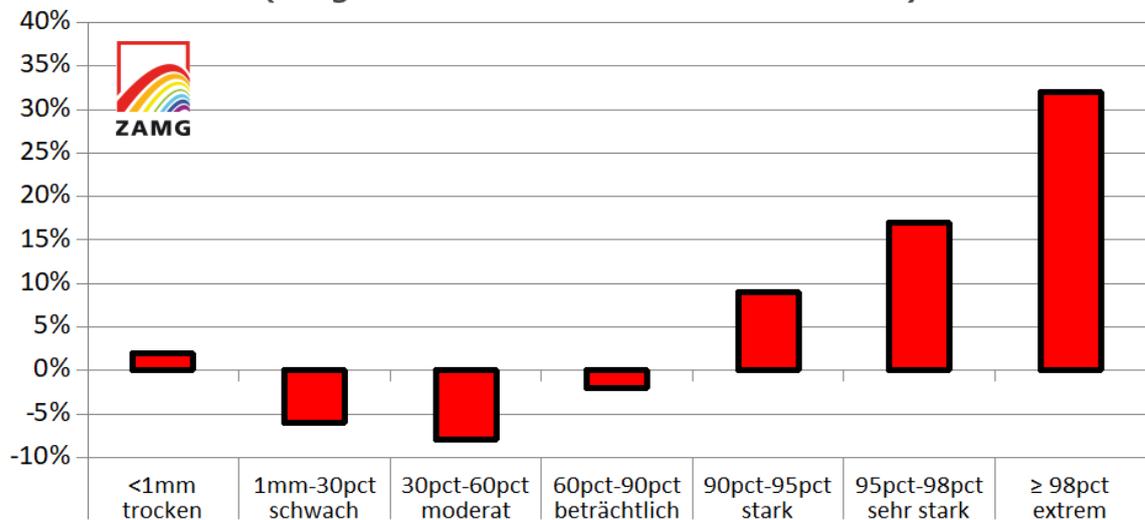


Abbildung 4 - Relative Änderung der Anzahl an Sommertagen mit bestimmten Regenmengen (Credits: ZAMG)

Wie bereits erwähnt sind die Tage mit extremen Regenfällen in Österreich in den letzten 30 Jahren stärker geworden. Außerdem ist in Abbildung 4 zu erkennen, dass die Zahl der Tage mit wenig Regen leicht abgenommen hat [26].

Eine weitere Auswirkung der Klimaerwärmung in Österreich ist das Schmelzen der Gletscher. Durchschnittlich verlieren Österreichs Gletscher jährlich rund einen Meter an Eisdicke. Bei Österreichs größtem Gletscher, der Pasterze, wirkt sich die Klimaerwärmung noch stärker aus. Im unteren Bereich der Pasterze wurde ein Verlust an 5 Metern Eisdicke pro Jahr gemessen. In Abbildung 5 ist die Entwicklung des Eises auf der Pasterze dargestellt.



Abbildung 5 - Vergleichsbild der Pasterze aus den Jahren 2006 und 2020 (Quelle: Alpenverein Deutschlandsberg)

Auch die Anzahl an Unwettern ist in den letzten 30 Jahren um 20 % gestiegen. Dies lässt sich einfach erklären: Durch die erhöhte Temperatur gelangt durch Evaporation (Verdunstung) mehr Feuchte in die Luft. Wenn dieses feuchte Luftpaket nun wärmer ist als die Umgebungsluft, so steigt dieses auf. Durch den Aufstieg kühlt das Luftpaket ab und die Sättigung an Wasserdampf in der Luft steigt. Wenn die Sättigung der Luft nun erreicht ist, kondensiert der Wasserdampf und es kommt zur Wolkenbildung.

Betrachtet man die komplexen Wechselwirkungen der verschiedenen Sphären der Erde, lässt sich ableiten, dass durch den Klimawandel bedingte Veränderungen in der Atmosphäre und der Hydrosphäre vielfältige Auswirkungen auf die Ökosysteme in Österreich haben werden.

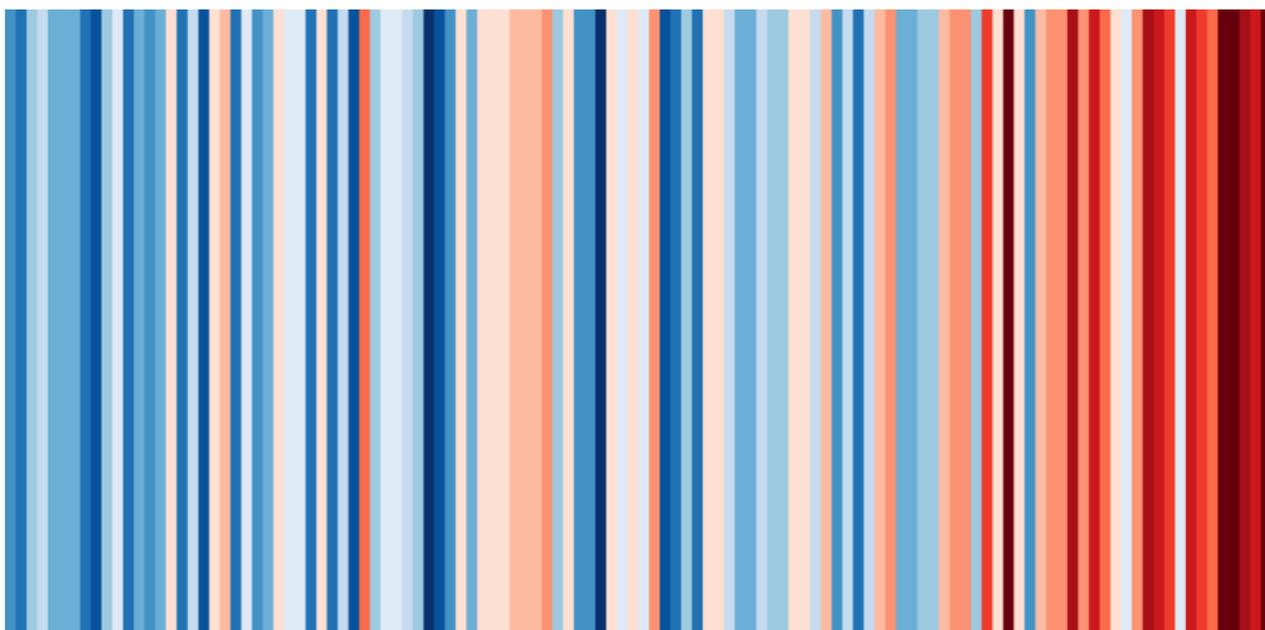


Abbildung 6 - Abweichung der jährlichen Temperatur vom Durchschnittswert in Österreich von 1901 bis 2018. Je dunkler die Farben sind, desto größer ist die Abweichung. Rot steht hier für eine Abweichung, die über dem Durchschnitt liegt, blau steht für eine Abweichung unter dem Mittelwert (Credits: <https://showyourstripes.info/s/europe/austria/all> aufgerufen am: 10.02.2022).

Man kann beispielsweise davon ausgehen, dass die Niederschlagssumme in den Sommermonaten abnimmt und sich die Hitzeperioden verlängern, dadurch trocknen die Böden im Sommer aus und verhärten, die Wasserspeicherkapazität nimmt ab. In den Wintermonaten, in denen in Zukunft die Niederschläge leicht zunehmen, können die Böden weniger Wasser in die grundwasserführenden Schichten ableiten, es kommt zu einer Vernässung und damit Verdichtung der Böden. Durch das veränderte Bodengefüge wandeln sich deren Eigenschaften als Filter, Lebensraum und landwirtschaftliche Nutzfläche. Beispielsweise können sie nun weniger Nährstoffe speichern oder weniger Schadstoffe herausfiltern, wodurch die Bodenfruchtbarkeit negativ beeinflusst wird. Dies wird Auswirkungen auf die Land- und Forstwirtschaft haben, beispielsweise auf Erträge, verwendbare Saatgutsorten oder den Einsatz von Düngemitteln. Auch die natürliche Vegetation wird sich auf die sich wandelnden Bodeneigenschaften einstellen, was zu Veränderungen in Flora und Fauna der Ökosysteme führt.

1.2. Regionale Auswirkungen des Klimawandels in Österreich

Österreich spürt bereits jetzt die Auswirkungen des Klimawandels in aller Deutlichkeit. Wie in den vorherigen Kapiteln zu sehen war, können wir die Folgen der letzten Jahrzehnte bereits deutlich messen und auch mit freiem Auge, wie etwa am Beispiel der Pasterze, erkennen. Im Vergleich der Klimaperioden 1961 bis 1990 mit den letzten 30 Jahren, lässt sich eine Erwärmung in Teilen Österreichs von etwa 1,5°C beobachten. Es fällt allerdings auf, dass die Erwärmung zwischen verschiedenen Gebieten Österreichs lokalen Schwankungen unterlegen ist.

Aus Abbildung 3 kann man entnehmen, dass die Hitzetage in der südöstlichen Steiermark am stärksten zunehmen werden. Deshalb lohnt es sich, dieses Gebiet etwas genauer unter die Lupe zu nehmen.

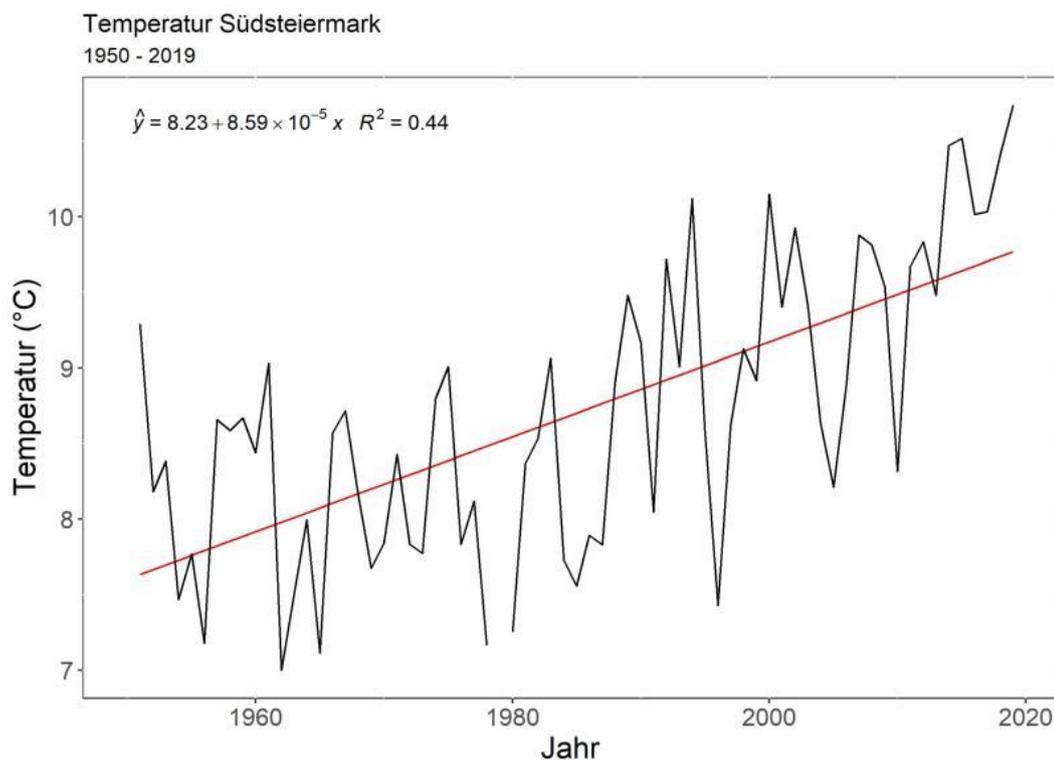


Abbildung 8 - Jährliche Durchschnittstemperatur in der Südsteiermark (Credits: Brunner, Daten: Indecis.eu)

Es zeigt sich bei Betrachtung der vergangenen 70 Jahren ein klarer Trend, der durch die Regressionsgerade deutlich sichtbar wird. Die Temperaturzunahme in diesem Zeitraum liegt knapp unter 2 °C. Zudem fällt auf, dass die Temperatur bis etwa 1990, abgesehen von einigen Schwankungen, etwa konstant blieb, ehe sich ab diesem Zeitpunkt ein klarer Anstieg bemerkbar macht. Zudem liegen die vergangenen 5 Jahre allesamt über der Durchschnittstemperatur der letzten 70 Jahre.

Die Temperaturerhöhung ist im Laufe eines Jahres starken saisonalen Schwankungen unterlegen. So gibt es Monate, wie etwa den August 2018, in denen die Durchschnittstemperatur weit über dem langjährigen Mittel dieses Monats liegt. Deutlich erkennbar ist jedoch, dass die Temperatur in ganz Österreich in jedem Monat gegenüber den Monatsmitteln der Periode von 1961 bis 1990 gestiegen ist. In Teilen Ober- und Niederösterreichs betrug die Temperaturabweichung teilweise über 4,5 °C. Die Häufigkeit solcher extremen Monate nahm in den letzten Jahren rapide zu.

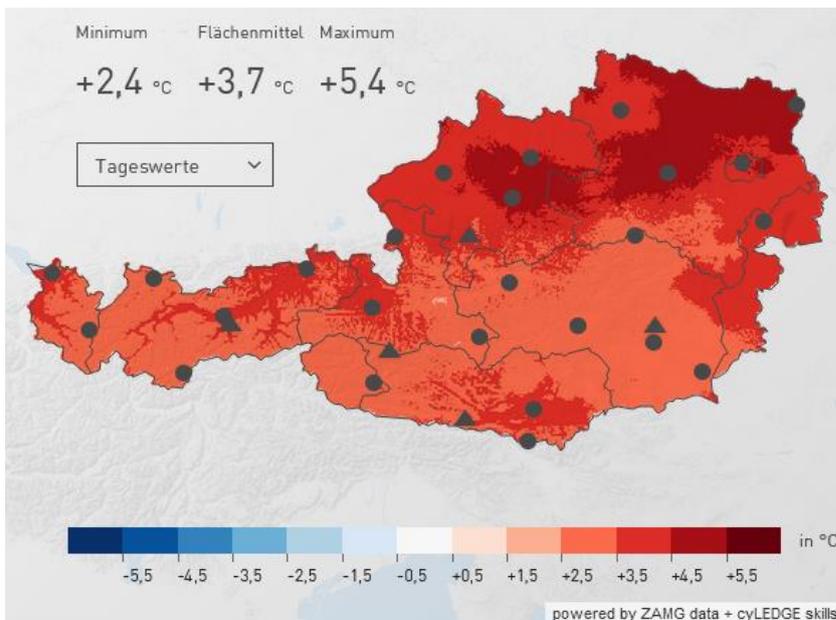


Abbildung 9 - Abweichung der monatlichen Durchschnittstemperatur im August 2018 vom Zeitraum 1961 bis 1990

als im Referenzzeitraum 1961 bis 1990. Die Folge waren Ernteeinbußen im Ausmaß von etwa 12%. Dieser Verlust entspricht einer Menge von etwa 400.000 Tonnen Getreide im Vergleich zum Durchschnitt der vorherigen 5 Jahre. Ein Jahr zuvor, also 2017, konnte im Vergleich zum Rekorderntejahr 2016 sogar 22 % (ca. 800.000t Getreide) weniger geerntet werden [28].

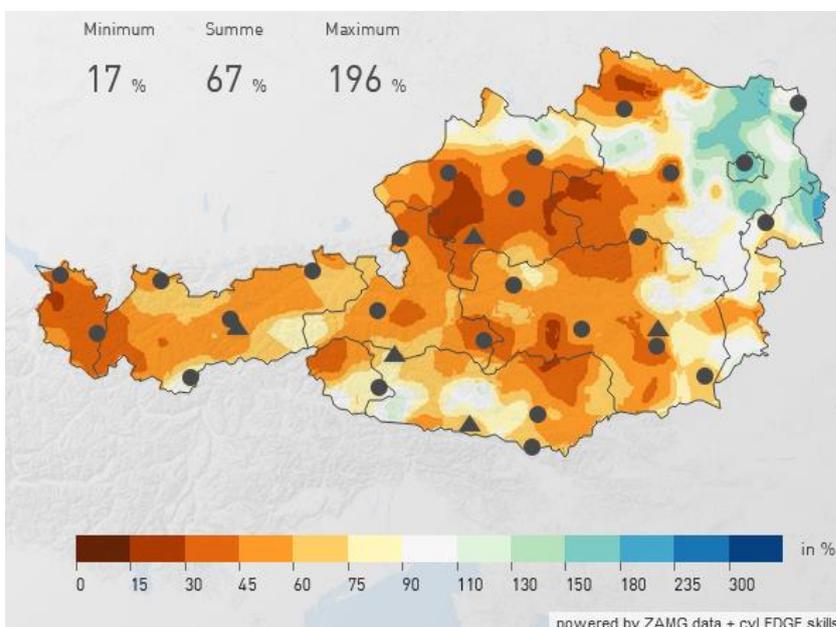


Abbildung 10 - Abweichung der Niederschlagsmenge im Juli 2018 vom Zeitraum 1961 bis 1990 (Credits: ZAMG, Klimamonitoring)

Von den Folgen des Klimawandels sind in Österreich alle landschaftsprägenden Ökosysteme, wie Hoch- und Mittelgebirge, Wälder, Graslandschaften, Feuchtgebiete und Seen bereits betroffen. Zudem beeinflussen diese Entwicklungen auch das Leben der Menschen in Österreich. Durch die zunehmende Anzahl an Hitzewellen ergeben sich insbesondere für die Wasser-, Land- und Forstwirtschaft gravierende Auswirkungen. So fiel etwa im Juli 2018 etwa ein Drittel weniger Niederschlag

Da sich der Klimawandel zunehmend auf die Niederschlagsverteilung- und mengen auswirkt, hat sich die Gefahr von Hochwassern aber auch von Trockenperioden verschärft. Im Sommer lässt dies zeitweise geringe Abflüsse und niedrige Wasserstände in Fließgewässern erwarten, von denen neben der Biosphäre auch die Wasser- und Energiewirtschaft stark betroffen ist.

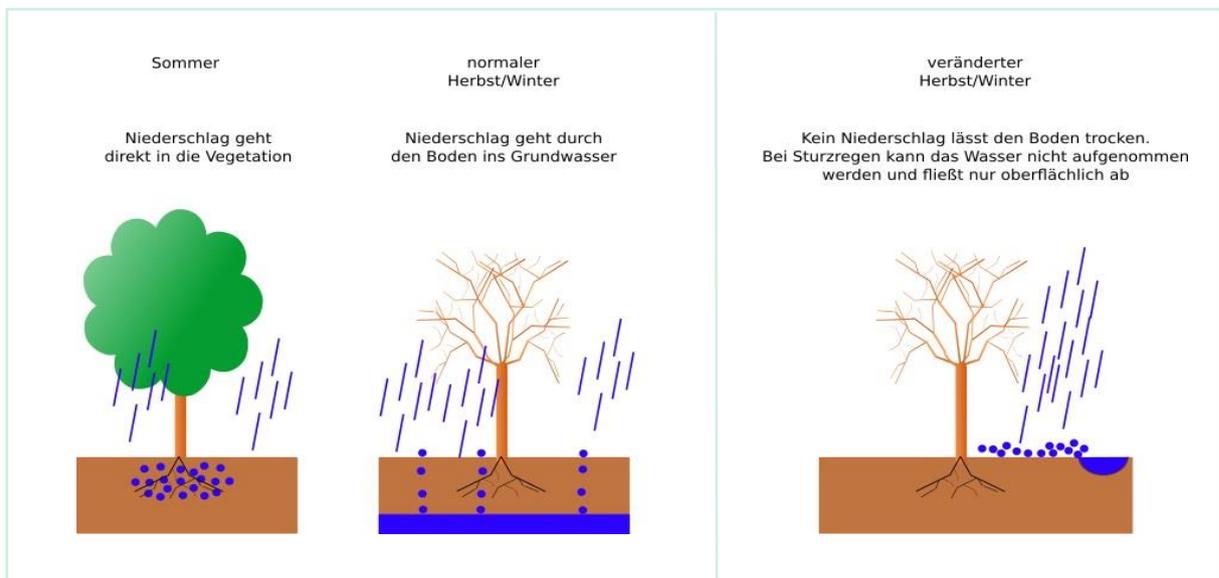


Abbildung 11 – Verminderung der Grundwasserneubildung durch erhärteten Boden (Credits: Lamparter)

In Verbindung mit den steigenden Temperaturen führt ein Rückgang der Niederschläge außerdem zu einer Verringerung der Grundwasserneubildung. Regnet es im Sommer wenig, trocknet der Boden aus und kann im Winter den Starkregen nicht aufnehmen, sodass dieser oberflächlich abfließt, was heftige Überschwemmungen verursachen kann (siehe Abbildung 11). Dadurch kommt es verstärkt zur Boden-erosion, während gleichzeitig die Grundwasserreserven nur vermindert aufgefüllt werden.

Diese Problematik wird noch dadurch verstärkt, dass auf Grund der höheren Temperaturen weniger Niederschlag in Form von Schnee fällt oder eine dünne Neuschneedecke schneller wieder abschmilzt. Dadurch wird im Winterhalbjahr weniger Wasser gespeichert, wodurch wichtige Wasserreserven fehlen, um die sommerliche Trockenheit auszugleichen. Abbildung 48 zeigt den Anteil von Schnee am Gesamtniederschlag in Südsteiermark. Hier ist in den letzten Jahren ein klar fallender Trend erkennbar.

Diese Folgen sind bereits heute in Mitteleuropa spürbar. In Österreich machen sich vor allem im Osten die Konsequenzen von längeren Dürreperioden bemerkbar. Aufgrund von zu trockenen Böden und Starkregenereignissen kommt es in der Landwirtschaft immer wieder zu Ernteaufällen. Aufgrund der höheren Temperaturen benötigen Pflanzen im Sommer mehr Wasser, weshalb die Bedeutung von Bewässerung immer mehr zum Thema wird. Neben den Pflanzen sind aber auch die Tierwelt und vor allem unsere Trinkwasserspeicher von extremer Trockenheit gefährdet.

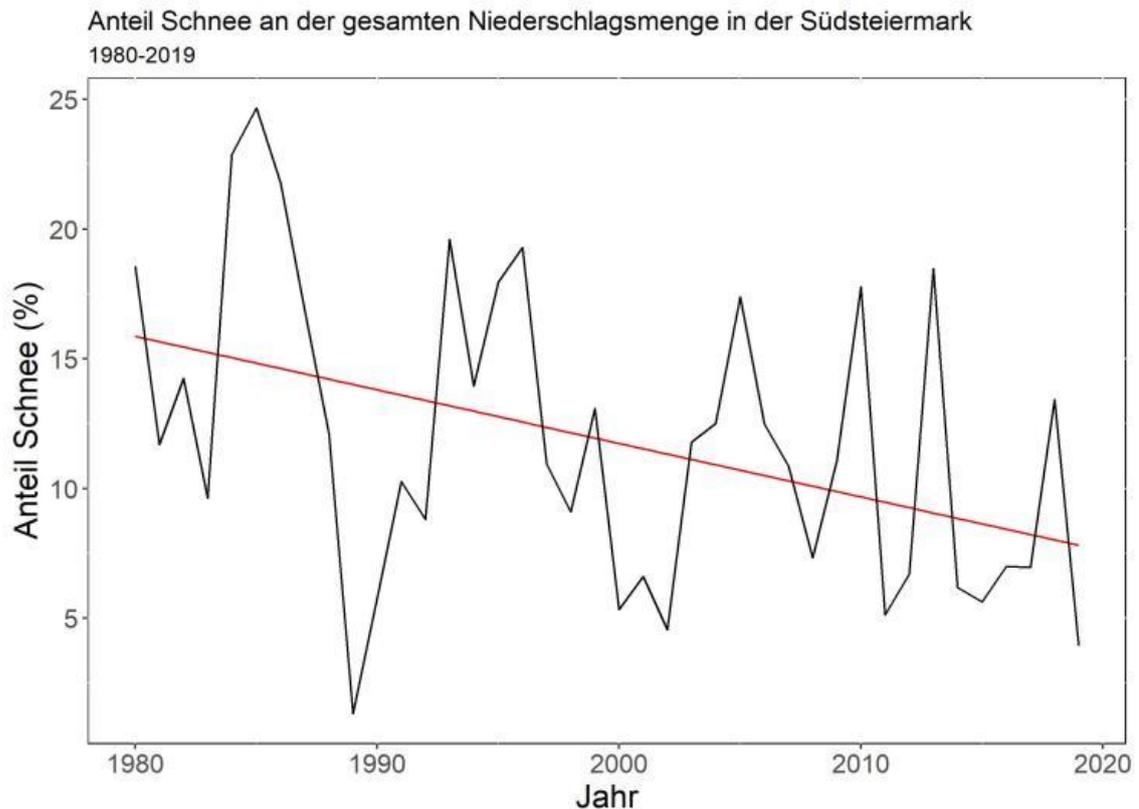


Abbildung 12 - Entwicklung des Schneeanteils in den Jahren 1980 bis 2019. (Credits: Schmölzer, Daten: Indecis.eu)

Aufgrund des Klimawandels könnten die verfügbaren österreichischen Grundwasserressourcen bis 2050 um bis zu 23% geringer werden. Dies würde einer Verminderung von derzeit 5,1 Mrd. m³ auf 3,9 Mrd. m³ entsprechen. Der Wasserbedarf hingegen wird zunehmen. Die Landwirtschaft beispielsweise wird bis zum Jahr 2050 etwa doppelt so viel Wasser zur Bewässerung von Feldern benötigen. Im Industriesektor, welcher mit Abstand am meisten Wasser (ca. 2,2 Mrd. m³ davon 330 Mio. m³ aus dem Grundwasser) benötigt, gehen Experten in Zukunft von einem konstanten Wasserbedarf aus. Doch selbst in einem pessimistischen Szenario, indem es bis 2050 lokal zu Wasserknappheit kommen kann, ist die Grundversorgung in Österreich aufgrund des enormen Wasserreichtums weiterhin gedeckt [29].

Nichtsdestotrotz werden sich Sommertrockenheit und Extremereignisse, wie etwa Starkniederschläge, Hagel oder Stürme weiterhin verstärken und so den Böden und in weiterer Folge der Landwirtschaft, stark zusetzen.



Abbildung 13 – Ausgetrockneter Boden und verdorrte Trauben an einem Weinstock in Bayern (Credits: Alana Steinbauer)

Exkurs: Wald und Klima

„Zu fällen einen schönen Baum, braucht's eine halbe Stunde kaum. Zu wachsen, bis man ihn bewundert, braucht er, bedenkt es, ein Jahrhundert!“ – Zitat Eugen Roth

Dem Wald wird seit jeher eine große Bedeutung für den Menschen zugeschrieben; sei es als Rohstofflieferant, Naherholungsgebiet, Rückzugsort, Lebensgrundlage oder Objekt der Fantasie. Seit dem großen Waldsterben in den 1980ern rückte dieser Fakt zum ersten Mal ins kollektive Bewusstsein. Damals konnte, durch vereinte Kräfte und Entschlossenheit, diesem Phänomen Einhalt geboten werden. Die Herausforderungen vor denen der Wald heutzutage steht sind um ein Vielfaches komplexer und bedürfen einer Strategie, die sich über ökologische, politische und nicht zuletzt auch ökonomische Aspekte erstreckt.

In Kalksteinen befinden sich etwa 99,95 % des Kohlenstoffs auf der Erde. Von den restlichen 0,05% befinden sich wiederum über dreiviertel in den Ozeanen. Das übrige Viertel teilt sich auf fossile Lagerstätten von Erdgas, Erdöl oder Kohle (20 %), dem Humusgehalt der Böden, einschließlich Torf, sowie Biomasse in Wäldern oder Ozeanen (4 %) und der Atmosphäre (hauptsächlich in Form von CO_2 ; 1,6%) auf [30].

Diese Aufstellung zeigt, dass auch vergleichsweise kleine Mengen Kohlenstoff gravierende Auswirkungen auf das Klimasystem unserer Erde haben können. Dass diese Kohlenstoffsinken in ständigem Austausch stehen, lässt sich am Beispiel Wald recht einfach erklären:

Pflanzen bauen Biomasse auf, in dem sie durch Photosynthese aus Wasser und CO_2 Biomoleküle erzeugen, die sich dann in unterschiedlichen Strukturen einbauen und einlagern. Ist der Lebenszyklus der Pflanze beendet, werden die Biomoleküle zersetzt. Geschieht dies vollständig, so wird am Ende wieder die gleiche Menge CO_2 an die Luft abgegeben, wie bei deren Aufbau entzogen wurde. Ist der Abbau unvollständig, so kann sich Kohlenstoff im Boden anreichern und in der Atmosphäre liegt um diesen Anteil weniger vor. Über diesen Wirkmechanismus kann der Atmosphäre netto Kohlenstoff entzogen werden. Weiters geben Pflanzen durch Evapotranspiration auch einen höheren Anteil an Wasserdampf an die Atmosphäre ab, als dies bei einer unbepflanzten Bodenfläche der Fall wäre. Dies führt in weiterer Folge zu mehr Wolkenbildung, was wiederum entscheidend das Klimasystem beeinflusst.

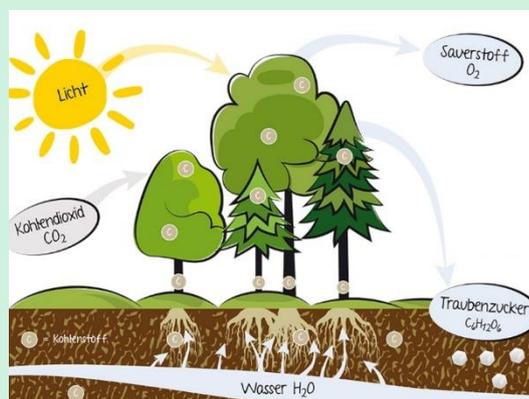


Abbildung 14 - Vereinfachte Darstellung der Kohlenstofffixierung eines Waldes durch Pflanzen sowie im Boden (Credits: klimawandel.at.)

Aktivitäten

Aktivität 1 – Der Klimawandel vor der Haustür



Welche Anzeichen für den Klimawandel kann österreichweit bereits feststellen?

Hintergrund:

Als Wetter verstehen wir den Zustand der Atmosphäre, den wir an einem bestimmten Tag und Ort direkt wahrnehmen können (wie Temperatur, Sonnenschein, Regen, Wind, etc.). Als Klima bezeichnet man das langjährige, gemittelte Wettergeschehen an einem Ort über einen Zeitraum von mindestens 30 Jahren. Die untenstehende Abbildung vergleicht die Temperaturentwicklung der letzten 30 Jahre mit der Referenzperiode von 1961 bis 1990. Klimamodelle deuten darauf hin, dass es eine direkte Verbindung zwischen dem Klimawandel und Wetter gibt. So erhöht die globale Erwärmung die Wahrscheinlichkeit von Extremwetterereignissen (deutliche Abweichung vom Mittelwert bei Temperatur oder Niederschlag). Die Auswirkungen des Klimawandels in Österreich sind je nach Region sehr unterschiedlich. Welche Anzeichen des Klimawandels kannst du an deinem Wohnort feststellen?

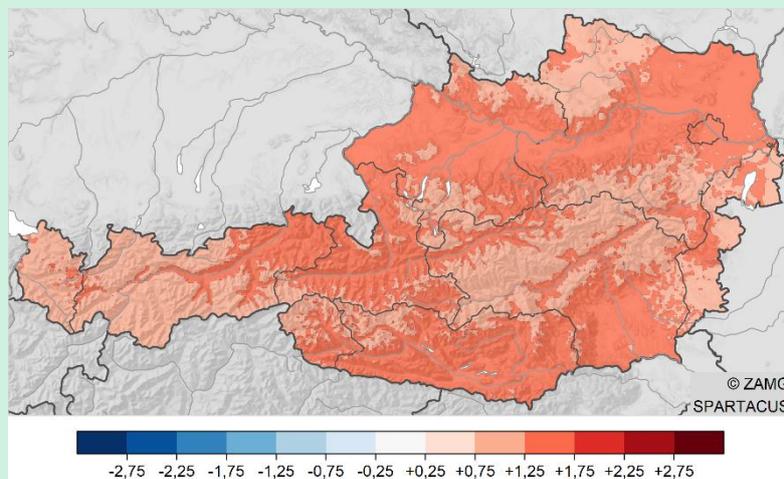


Abbildung 15 - Erwärmung der letzten 30 Jahre in Österreich (Credits: ZAMG)

Materialien:

- ✓ Computer mit Internetzugang
- ✓ eventuell Excel 

Durchführung:

Teil 1: Analyse der Entwicklung der Jahresmitteltemperatur von zwei ausgewählten Jahren

→ Rufe das Klimamonitoring der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) auf:
<https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/klimamonitoring/?param=t&period=period-ymd-2022-02-24&ref=3>

oder:

Besuche die Website <http://www.zamg.ac.at> → Klima → Klima aktuell → Klimamonitoring

→ Wähle auf der Website die Kategorien „Lufttemperatur“, Zeitraum: „ganzes Jahr“, Messstation: „Österreichweit“ und „Absolutwert“ aus.

→ Wähle ein beliebiges Jahr im Referenzzeitraum von 1961 bis 1990 aus, notiere den Absolutwert des Flächenmittels der Temperatur und speichere die Grafik der Österreichkarte als Bild ab (z.B. mithilfe von „Snipping Tool“).

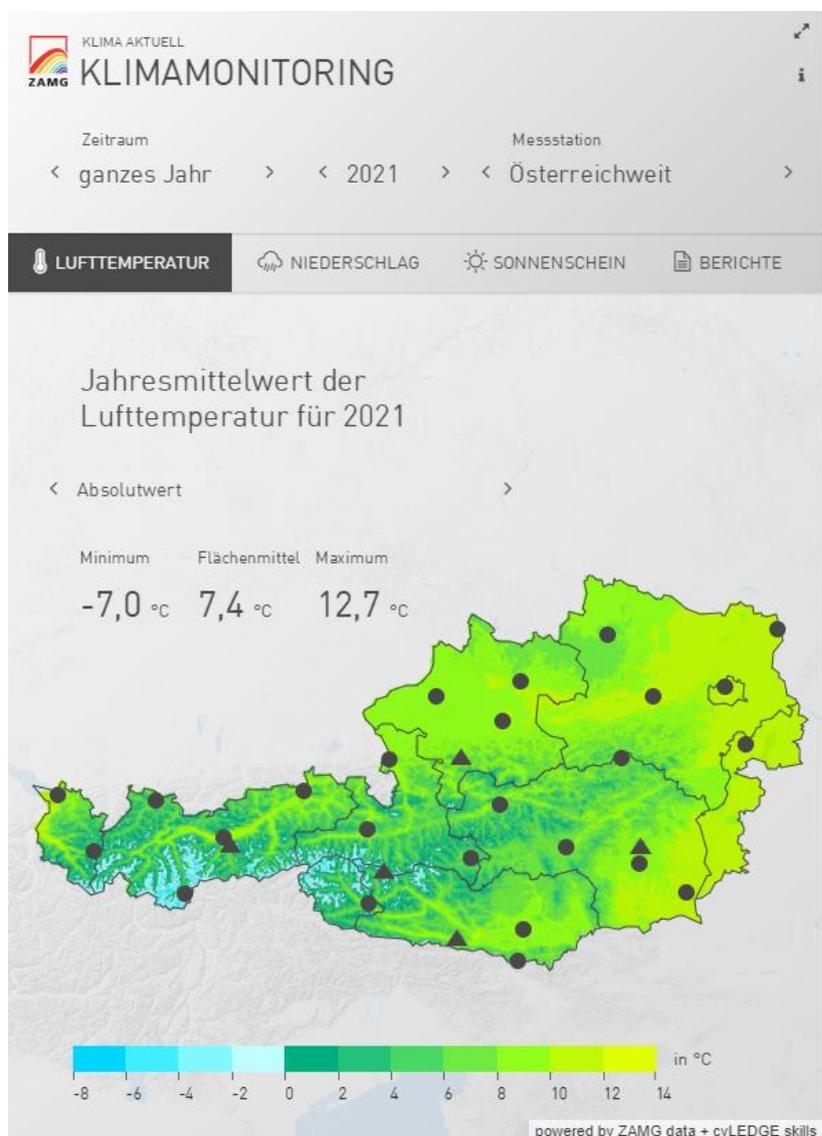
→ Als nächstes wähle ein Jahr im Zeitraum von 2011 bis 2021 aus und vergleiche die beiden Absolutwerte.

! Was fällt Dir beim Vergleich der beiden Temperaturmittel bzw. der beiden Grafiken auf?

! Argumentiere, ob der Vergleich von zwei einzelnen Jahren aussagekräftig ist oder nicht.

! Überlege dir bessere Möglichkeiten zur Analyse vom Klimadaten.

! Analog dazu können auch die Absolutwerte des Niederschlags miteinander verglichen werden.



Teil 2: Temperaturentwicklung der letzten 20 Jahre im Vergleich mit dem Bezugszeitraum von 1961 bis 1990

→ Wähle nun auf der Website der ZAMG anstelle von „Absolutwert“ die Kategorie „Abweichung zum Bezugszeitraum 1961-1990“.

! Ermittle nun jeweils die Abweichungen des jährlichen Flächenmittels der letzten 30 Jahre und notiere diese in der untenstehenden Tabelle.

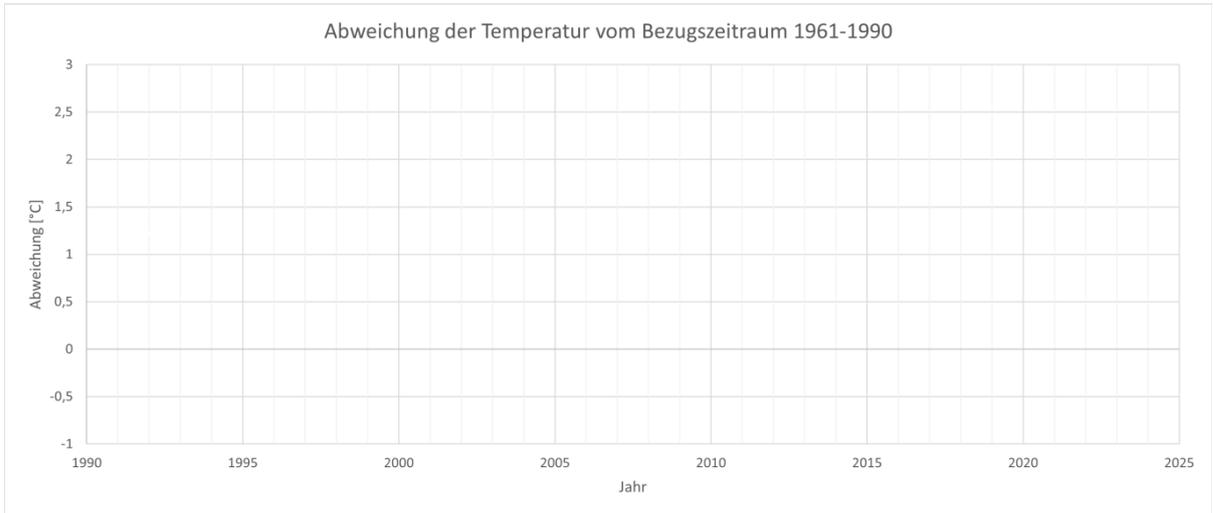
Jahr	Abweichung vom Mittel in °C
1991	
1992	
1993	
1994	
1995	
1996	
1997	
1998	
1999	
2000	
2001	
2002	
2003	
2004	
2005	
2006	
2007	

Jahr	Abweichung vom Mittel in °C
2008	
2009	
2010	
2011	
2012	
2013	
2014	
2015	
2016	
2017	
2018	
2019	
2020	
2021	

! Trage die ermittelten Werte aus der Tabelle in das untenstehende Diagramm ein.

! Interpretiere die Daten im Diagramm. Lässt sich ein Trend erkennen?

! Falls Du an der Klimaentwicklung in deiner Heimat interessiert bist, kannst Du einfach eine Wetterstation in deiner Nähe wählen und verschiedene Jahres- oder Monatszeitreihen analog zu oben analysieren. Sei kreativ!



Literaturverzeichnis

- [1] R. M. Ramirez und L. Kaltenegger, „A Volcanic Hydrogen Habitable Zone,“ *The Astrophysical Journal Letters*, 1 März 2017.
- [2] „LEIFiPhysik,“ Joachim Herz Stiftung, 2022. [Online]. Available: <https://www.leifiphysik.de/astronomie/sonne/grundwissen/energie-der-sonne#:~:text=Die%20Strahlungsenergie%20der%20Sonne%20pro,85%E2%8B%851026J..> [Zugriff am 10.02.2022].
- [3] „Wikipedia,“ Wikipedia, 13.01.2022. [Online]. Available: https://de.wikipedia.org/wiki/Plancksches_Strahlungsgesetz#:~:text=Das%20Plancksche%20Strahlungsgesetz%20gibt%20f%C3%BCr,Wellenl%C3%A4nge%20oder%20der%20Frequenz%20an.&text=Plancks%20Herleitung%20des%20Strahlungsgesetzes%20gilt%20daher%20heute%20als%20die. [Zugriff am 10.02.2022].
- [4] H. D. Baehr und K. Stephan, in *Wärme- und Stoffübertragung*, Bochum und Stuttgart, Springer, 2008, pp. 616-622.
- [5] G. Kopp und J. L. Lean, „A new, lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance,“ *Geophysical Research Letters*, Bd. 38, Nr. 1, Januar 2011.
- [6] B. Klose und H. Klose, „Meteorologie,“ in *Eine interdisziplinäre Einführung in die Physik der Atmosphäre*, Oldenburg, Springer, 2016, pp. 212-213.
- [7] „Wiki Bildungsserver,“ Hamburger Bildungsserver, 3. Dezember 2013. [Online]. Available: [https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Albedo_\(einfach\)](https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Albedo_(einfach)). [Zugriff am 27. Mai 2020].
- [8] P. D. Jones, M. New, D. E. Parker, S. Martin und I. G. Rigor, „Surface air temperature and its changes over the past 150 years,“ *Reviews in Geophysics*, Bd. 37, Nr. 2, p. 173–199, 1999.
- [9] P. T. Doran und M. K. Zimmerman, „Examining the Scientific Consensus on Climate Change,“ *Eos*, Bd. 90, Nr. 3, pp. 22-23, 2009.
- [10] S. Rahmstorf und H. J. Schellnhuber, *Der Klimawandel: Diagnose, Prognose, Therapie*, München: C.H.Beck, 2018.
- [11] „EU Science Hub,“ [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/jrc/en/news/global-fossil-co2-emissions-increased-2017>. [Zugriff am 20. Mai 2020].
- [12] T. F. Stocker, D. Qin und e. al., „Climate Change 2013,“ Cambridge University Press, New York, 2013.
- [13] „Umweltbundesamt,“ [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/lachgas-methan>. [Zugriff am 21.09.2020].
- [14] „The NOAA Annual Greenhouse Gas Index,“ NOAA, [Online]. Available: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>. [Zugriff am 21.09.2020].
- [15] T. M. Lenton, J. Rockström, O. Gaffney, S. Rahmstorf, K. Richardson, W. Steffen und H. J. Schellnhuber, „Climate tipping points - too risky to bet against,“ *Nature*, Bd. 575, pp. 592-596, 2019.

- [16] „Wiki Bildungsserver,“ Hamburger Bildungsserver, 10 September 2020. [Online]. Available: https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Gr%C3%B6%C3%9F%C3%A4ndischer_Eisschild. [Zugriff am 21 09 2020].
- [17] „Scinexx,“ MMCD NEW MEDIA GmbH, 20 Dezember 2004. [Online]. Available: <https://www.scinexx.de/news/geowissen/wird-der-amazonas-regenwald-zur-steppe/>. [Zugriff am 21 09 2020].
- [18] „Wiki Bildungsserver,“ Hamburger Bildungsserver, 02 Dezember 2015. [Online]. Available: https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Kippunkte_im_Klimasystem. [Zugriff am 21 09 2020].
- [19] „Wiki Bildungsserver,“ Hamburger Bildungsserver, 5 Dezember 2013. [Online]. Available: https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Kohlenstoff_im_Ozean. [Zugriff am 21 09 2020].
- [20] D. Coumou, S. Rahmstorf und weitere, „A decade of weather extremes,“ *Nature*, 2012.
- [21] X. Chen, X. Zhang, J. Church, C.S. Watson, M. King, D. Monselesan, B. Legresy und C. Harig, „The increasing rate of global mean sea-level rise during 1993–2014,“ *Nature Climate Change*, Bd. 7, pp. 492–495, 2017.
- [22] P. Christoffersen und M. B. e. al., „Significant groundwater contribution to Antarctic ice streams hydrologic budget,“ *Geophysical Research Letters*, Bd. 41, Nr. 6, pp. 2003-2010, 2014.
- [23] B. Schinke, S. Harmeling, R. Schwarz, S. Kreft, M. Treber und C. Bals, „Globaler Klimawandel: Ursachen, Folgen, Handlungsmöglichkeiten,“ Germanwatch, Bonn, 2011.
- [24] C. Jakobeit und C. Methmann, „Klimaflüchtlinge,“ Universität Hamburg, Hamburg, 2007.
- [25] J. A. Church, N. J. White, L. F. Konikow, C. M. Domingues, J. G. Cogley, E. Rignot, J. M. Gregory, M. R. v. d. Broeke, A. J. Monaghan und I. Velicogna, „Revisiting the Earth’s sea-level and energy budgets from 1961 to,“ *Geophysical Research Letters*, Bd. 38, Nr. 18, pp. 1944-2007, 2011.
- [26] „ZAMG,“ 09 08 2021. [Online]. Available: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/klimafakten-oesterreich-kompakt>. [Zugriff am 10 02 2022].
- [27] K. W. Steininger, M. König, B. Bednar-Friedl, L. Kranzl, W. Loibl und F. Prettenhaler, „Economic Evaluation of Climate Change Impacts,“ in *Development of a Cross-Sectoral Framework and Results for Austria*, Graz, Vienna, Springer, 2015, pp. 56-59.
- [28] „Agrarmarkt Austria,“ 09 08 2017. [Online]. Available: <https://www.ama.at/allgemein/presse/2017/getreideernte-2017-trockenheit-schmaelert-ertraege>. [Zugriff am 10 02 2022].
- [29] R. u. T. Bundesministerium für Landwirtschaft, „Wasserschatz Österreichs - Grundlagen für nachhaltige Nutzungen des Grundwassers,“ Bundesministerium, Wien, 2021.
- [30] „Climate Woodlands,“ 16 05 2019. [Online]. Available: <https://climate-woodlands.extension.org/carbon-budgets/>. [Zugriff am 11 02 2022].
- [31] W. Steffen, J. Rockström, K. Richardson, T. M. Lenton, C. Folke, D. Liverman, C. P. Summerhayes, A. D. Barnosky, S. E. Cornell, M. Crucifix, J. F. Donges, I. Fetzer, H. Schellnhuber und weitere, „Trajectories of the Earth System in the Anthropocene,“ *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Bd. 115, Nr. 33, pp. 8252-8259, 2018.

- [32] J. Rogelj, P. Forster, E. Kriegler, C. Smith und R. Seferian, „Estimating and tracking the remaining carbon budget for stringent climate targets,“ *Nature*, Bd. 571, pp. 335-342, 2019.
- [33] G. Kirchengast und K. Steininger, „Treibhausgasbudget für Österreich auf dem Weg zur Klimaneutralität 2040,“ Wegener Center, Graz, 2021.
- [34] B. Bachleitner, „invest in austria,“ [Online]. Available: <https://investinaustria.at/de/sectoren/umwelttechnik/erneuerbare-energien.php#:~:text=%C3%96sterreich%20muss%20gem%C3%A4%C3%9F%20EU%2DVorgaben,in%20%C3%96sterreich%2032%2C8%20Prozent..> [Zugriff am 10 02 2020].
- [35] A. Veigl, „Energiezukunft Österreich,“ Global 2000, Greenpeace und WWF, 2015.
- [36] P. D. V. Quaschnig, „Was kollabiert noch alles nach Corona?,“ [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=6V-C5q4VxEI>. [Zugriff am 17 03 2021].
- [37] Umweltbundesamt, „Klimaschutzbericht 2021,“ Wien, 2021.
- [38] Umweltbundesamt, „www.probas.umweltbundesamt.de,“ [Online].
- [39] „Energieszenarien,“ *Sonnenergie*, Nr. Dezember 2020, 2020.
- [40] P. D. V. Quaschnig, „volker-quaschnig.de,“ [Online]. Available: <https://www.volker-quaschnig.de/datserv/ren-Strom-D/index.php>. [Zugriff am 17 03 2021].
- [41] BMK, „Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie,“ [Online]. Available: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/nachhaltigkeit/bildung/fussabdruck_rechner.html. [Zugriff am 10 02 2022].
- [42] U. E. M. I. u. T. Bundesministerium für Klimaschutz, 01 01 2022. [Online]. Available: https://www.oesterreich.gv.at/themen/bauen_wohnen_und_umwelt/energie_sparen/1/raus_aus_oel.html. [Zugriff am 16 02 2022].
- [43] J. A. Robert Goodland, „Livestock and Climate Change,“ <http://templatelab.com/livestock-and-climate-change/>, 2009.
- [44] B. P. Austria. [Online]. Available: <https://pvaustria.at/forderungen/>. [Zugriff am 16 02 2022].
- [45] R. B. Fishman, „Schlechtes Gewissen, gutes Geld und faule Kompromisse,“ Deutschlandfunk Kultur, 24 11 2020. [Online]. Available: https://www.deutschlandfunkkultur.de/co2-kompensation-schlechtes-gewissen-gutes-geld-und-faule.976.de.html?dram:article_id=488040. [Zugriff am 17 03 2021].
- [46] B. Gaul, „Kurier,“ 03 09 2019. [Online]. Available: <https://kurier.at/politik/inland/325-milliarden-ministerium-zeigt-liste-klimaschaedlicher-subventionen/400594916>. [Zugriff am 10 02 2022].
- [47] R. Goodland und J. Anhang, „Livestock and climate change,“ *World Watch*, Bd. 22, pp. 10-19, November 2009.
- [48] „Beobachteter Klimawandel,“ Umweltbundesamt, [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimawandel/beobachteter-klimawandel>. [Zugriff am 21 09 2020].
- [49] „Klimafolgen: Handlungsfeld Wasser, Hochwasser- und Küstenschutz,“ Umweltbundesamt, 04 09 2013. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen->

anpassung/folgen-des-klimawandels/klimafolgen-deutschland/klimafolgen-handlungsfeld-wasser-hochwasser#wasserverfuegbarkeit-und-hitze. [Zugriff am 21 09 2020].

[50] J. Swim, P. Stern, T. Doherty, S. Clayton, J. Reser, E. Weber, R. Gifford und G. Howard, „Psychology's contributions to understanding and addressing global climate change,“ *American Psychologist*, Bd. 66, Nr. 4, p. 241–250, 2011.

[51] „Am 15. März ist CO2-Tag: Deutschland am Limit,“ Zukunft Erdgas e.V., 2020. [Online]. Available: <https://zukunft.erdgas.info/ueber-zukunft-erdgas/experten-leistungen/kommunikation/kampagnen/co2-budget-deutschland>.

[52] „Treibhausgas-Emissionen in Deutschland,“ Umweltbundesamt, 06 07 2020. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland>. [Zugriff am 22 09 2020].

[53] „Klima-Report Bayern 2015,“ Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, München, 2015.

[54] „Was haben Moore mit dem Klima zu tun?,“ Deutsche Gesellschaft für Moor- und Torfkunde e.V., 2009.

[55] V. Quaschnig, „Sektorkopplung durch die Energiewende,“ Hochschule für Technik und Wirtschaft, Berlin, 2016.

[56] V. Quaschnig, „volker-quaschnig.de,“ [Online]. Available: <https://www.volker-quaschnig.de/grafiken/index.php>. [Zugriff am 12 10 2020].

[57] Umweltbundesamt, „CO2-Bepreisung in Deutschland,“ 2019.

[58] D. G. f. M.-. u. T. e.V., „Was haben Moore mit dem Klima zu tun?,“ 2009.

[59] B. f. Naturschutz. [Online]. Available: <https://www.bfn.de/themen/biotop-und-landschaftsschutz/moorschutz/moore-entstehung-zustand-biodiversitaet/moortypen.html>. [Zugriff am 20 10 2020].

[60] H. Höper, „Freisetzung klimarelevanter Gase aus deutschen Mooren.,“ *Telma*, Bd. 37, pp. 58-116, 2007.

[61] A. u. M. D. Freibauer, „Moor unter: Klimaschutz.,“ *Politische Ökologie*, Bd. 30, pp. 98-105, 2012.

[62] „klimawandel-meistern.bayern.de,“ Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, [Online]. Available: <https://www.klimawandel-meistern.bayern.de/moorschutz.html>. [Zugriff am 20 10 2020].

[63] M. & K. M. Drösler, „Klimaschutz durch Moorschutz – im Klimaprogramm Bayern (KLIP 2020/2050),“ *Anliegen Natur*, Bd. 42, Nr. 1, pp. 31-38, 2020.

[64] C. u. S. C. Buchal, Klima – Die Erde und ihre Atmosphäre im Wandel der Zeiten, Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung, Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren, 2010.

[65] G. Schröder, „Energiewende in Gefahr - Deutschland braucht mehr grünen Strom,“ Deutschlandfunk Kultur, [Online]. Available: https://www.deutschlandfunkkultur.de/energiewende-in-gefahr-deutschland-braucht-mehr-gruenen.976.de.html?dram:article_id=481356. [Zugriff am 17 03 2021].

- [66] ZDF, 28.11.2019. [Online]. Available: <https://www.zdf.de/nachrichten/heute/klickscham-wie-viel-co2-e-mails-und-streaming-verursachen-100.html>.
- [67] BMWI, „Energiedaten: Gesamtausgabe,“ 2019.
- [68] Umweltbundesamt, „Umweltschädliche Subventionen in Deutschland 2016,“ 2016.
- [69] Umweltbundesamt, „<https://www.umweltbundesamt.de/>,“ [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/primaerenergieverbrauch#definition-und-einflussfaktoren>. [Zugriff am 07.10.2020].
- [70] K. Kraigher, „Austrian Energy Agency,“ 04.2021. [Online]. Available: https://www.energyagency.at/aktuelles-presse/presse/detail/artikel/bund-und-laender-koennen-ihre-klimaziele-nur-in-enger-zusammenarbeit-erreichen.html?no_cache=1. [Zugriff am 10.02.2022].
- [71] M. Anderl, K. Geiger, B. Guegle, M. Gössl, S. Haider, C. Heller, N. Ibesich, T. Köther, T. Krutzler, V. Kuschel, C. Lampert, H. Neier, K. Pazdernik, D. Pertl, S. Poupa, M. Purzner, E. Rigler, W. Schieder, G. Schmidt, B. Schodl, S. Svehla-Stix, A. Storch, G. Stranner, J. Voger, H. Wiesenberger und A. Zechmeister, „Klimaschutzbericht 2019,“ Umweltbundesamt, Wien, 2019.
- [72] Z. f. M.- u. Geodynamik, „ZAMG,“ [Online]. Available: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimafolgen/permafrost>. [Zugriff am 10.02.2022].

Weitere Literaturhinweise

- Bals, C. (2002): *Zukunftsfähige Gestaltung der Globalisierung. Am Beispiel einer Strategie für eine nachhaltige Klimapolitik*. In: Zur Lage der Welt 2002. Fischer Verlag.
- Bals, C. et al. (2008): *Die Welt am Scheideweg. Wie retten wir das Klima?* Rowohlt Verlag
- Dincere, I. (2018): *Comprehensive Energy Systems*, Elsevier Verlag.
- Levke, C., Rahmstorf, S., Robinson, A., Feulner, G., Saba, V. (2018): *Observed fingerprint of a weakening Atlantic Ocean overturning circulation*. In: Nature [DOI: 10.1038/s41586-018-0006-5]
- Church, J. und White, N. (2006): *A 20th century acceleration in global sea-level rise*
In: Geophysical Research Letters, Vol. 33, L01602
- Hupfer, P. (1998): *Klima und Klimasystem*. In Lozan, J.L., H. Graßl und P. Hupfer: *Warnsignal Klima. Wissenschaftliche Fakten*, Hamburg, S. 17–24.
- IPCC (2007a): *Climate Change 2007 – The Physical Science Basis*
http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents
- IPCC (2007b): *Climate Change 2007 – Impacts, Adaptation and Vulnerability*
<http://www.ipcc-wg2.org/>
- IPCC (2007d): *Klimaänderungen 2007: Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger*
<http://www.proclim.ch/4dcgi/proclim/de/Media?555>.
- IPCC (2007e): *Climate Change 2007. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*

http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm.

Jonas, H. (1984): *Prinzip Verantwortung*, Suhrkamp Verlag.

Lenton, T.M. et al. (2008): *Tipping Elements in the Earth's Climate System*
In: PNAS, Vol. 105.

Lesch, H. und Kamphausen, K. (2016): *Die Menschheit schafft sich ab – Die Erde im Griff des Anthropozäns*, Komplett-Media.

Rahmstorf, S. und Katherine Richardson, K. (2007): *Wie bedroht sind die Ozeane?*
Fischer Taschenbuch Verlag.

Rahmstorf, S. und Schellnhuber, H.J. (2018): *Der Klimawandel: Diagnose, Prognose, Therapie*
Verlag C.H. Beck.

Schüring, J. (2001): *Schneeball Erde*. Spektrumdirekt.

Seifert, W. (2004): *Klimaänderungen und (Winter-)Tourismus im Fichtelgebirge – Auswirkungen, Wahrnehmungen und Ansatzpunkte zukünftiger touristischer Entwicklung*, Universität Bayreuth.

Swim, J.K., Stern, P.C., Doherty, T.J., Clayton, S., Reser, J.P., Weber, E.U., Gifford, R., Howard, G.S. (2011): *Psychology's contributions to understanding and addressing global climate change*. *American Psychologist*, Vol 66(4), May–Jun 2011, 241–250.

WBGU (2007): *Welt im Wandel – Sicherheitsrisiko Klimawandel*. Hauptgutachten. Berlin.
http://www.wbgu.de/wbgu_jg2007.html.

