

Klimawandel und Auswirkungen auf die Kulturlandschaft

Marc Olefs^{1*}

Klimaantriebe und -schwankungen

Seit Entstehung der Erde ist das Klima aufgrund natürlicher Antriebe wie z.B. Platten-tektonik, oder astronomische Zyklen stets laufenden Schwankungen unterworfen. Die meisten dieser natürlichen Klimaantriebe wirken allerdings auf Zeitskalen von Tausenden bis Millionen von Jahren und sind daher für die Interpretation der direkt gemessenen Veränderungen der letzten ca. 250 Jahre nicht relevant (ZAMG, 2020a). Die kurzfristige Änderung der Sonnenaktivität (ZAMG, 2020b) und Vulkanische Aerosole (ZAMG, 2020c) sind die einzigen natürlichen Antriebe, die in diesem Zeitraum das Klimasystem nennenswert beeinflusst haben. Die letzten 250 Jahre stellen somit den Übergang vom natürlichen des vorindustriellen Zeitalters zum anthropogenen Treibhausklima des 21. Jahrhunderts dar. Ab etwa 1980 kam der menschengemachte Treibhauseffekt zu voller Geltung und ist nun der wirksamste Klimaantrieb.

Beobachtete Klimaänderung in Österreich

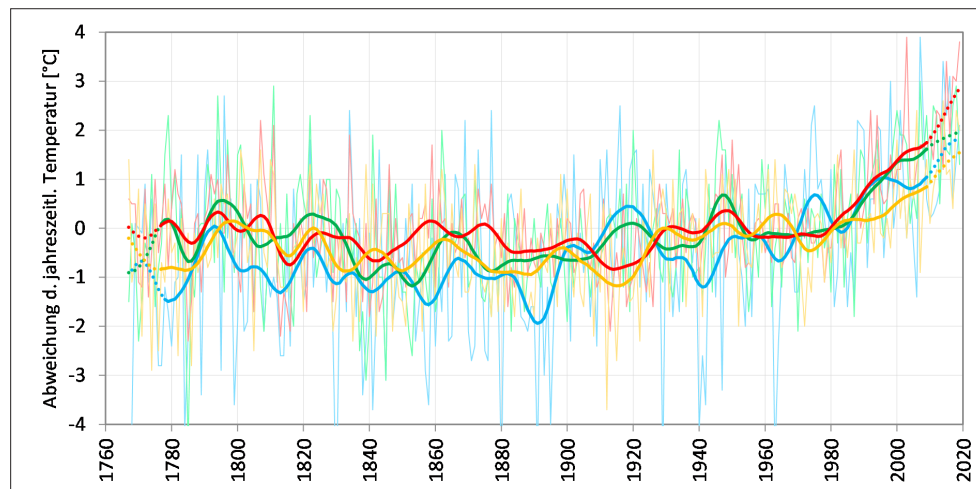
Seit Ende des 19. Jahrhunderts ist die Lufttemperatur in Österreich und im Alpenraum um knapp 2 Grad angestiegen, d.h. in etwa doppelt so stark wie im globalen Mittel (ZAMG HISTALP Jahres-Newsletter, 2019; APCC, 2014) und liegt 20% über dem Anstieg der mittleren Lufttemperatur von 1,5°C über den globalen Landflächen (IPCC, 2019a). Hauptursache dafür ist, dass sich die Luft über Landflächen generell rascher erwärmt als über den thermisch trägeren Ozeanen (Hartmann *et al.*, 2013; IPCC, 2019a), aber auch der Einfluss gestiegener bodennaher solarer Einstrahlung seit den 1980er Jahren spielt höchstwahrscheinlich eine wichtige Rolle (Scherrer und Begert, 2019). Mehr als die Hälfte der globalen Erwärmung seit 1950 ist auf den Einfluss der steigenden anthropogenen Treibhausgasemissionen zurückzuführen (IPCC, 2014). Innerhalb Österreichs verliefen die Langzeitvariationen des Temperaturverlaufs in großer räumlicher Übereinstimmung. Nennenswerte Unterschiede in der Temperaturentwicklung gab es weder in der Horizontalen noch in der Vertikalen: Auf dem Sonnblick in 3.100 m Seehöhe z.B. hat sich die Atmosphäre seit dem Ende des 19. Jahrhunderts ebenso um etwa 2°C erwärmt wie in Wien (ZAMG HISTALP Jahres-Newsletter 2019; Auer *et al.*, 2007). Saisonal betrachtet ist die Erwärmung im Zeitraum 1989-2018 vs. 1871-1900 im Tiefland im Frühjahr und Winter am stärksten (+2,1°C bzw. +2,3°C), gefolgt vom Sommer (+1,8°C), am schwächsten ist sie im Herbst (+1,3°C), siehe *Abbildung 1*. Den einzigen signifikanten Unterschied in der Erwärmung zwischen tiefen und hohen Lagen gibt es im Winter (+1,7°C in den Gipfelregionen vs. +2,3°C im Tiefland). Abgesehen von der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts, die relativ niederschlagsreich ausfiel, und der trockensten Phase der Messgeschichte in den 1860er Jahren, gestaltete sich das Niederschlagsklima über ganz Österreich hinweg gesehen auch saisonal ohne ausgeprägte langfristige Schwankungen. Allerdings zeigen sich in einzelnen Regionen Österreichs unterschiedliche, teilweise sogar gegenläufige Niederschlagstrends, die vor allem im Winter zu beobachten sind: In Westösterreich (Vorarlberg, Nordtirol) nahm der Niederschlag über den gesamten Zeitraum seit 1858 betrachtet um ca. 10-15% zu, während er im Südosten Österreichs (Unterkärnten, West- und Oststeiermark, Südburgenland) über die letzten 200 Jahre hinweg abnahm. Die Sonnenscheindauer hat im Alpenraum in den letzten 130 Jahren um ca. 10% zugenommen.



¹ Leiter der Abteilung Klimaforschung, ZAMG – Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Hohe Warte 38, A-1190 Wien

* Ansprechpartner: Mag. Dr. Marc Olefs, marc.olefs@zamg.ac.at

Abbildung 1: Entwicklung der mittleren Winter- (blau), Frühlings- (grün), Sommer- (rot) und Herbsttemperatur (gelb) in Österreich 1767-2019. Dargestellt sind jährliche Abweichungen vom Mittel der Jahre 1961-1990 (dünne Linien) und deren geglättete Trends (dicke Linien, 21-jähriger Gauß'scher Tiefpassfilter) (Olefs et al., 2019; aktualisiert).

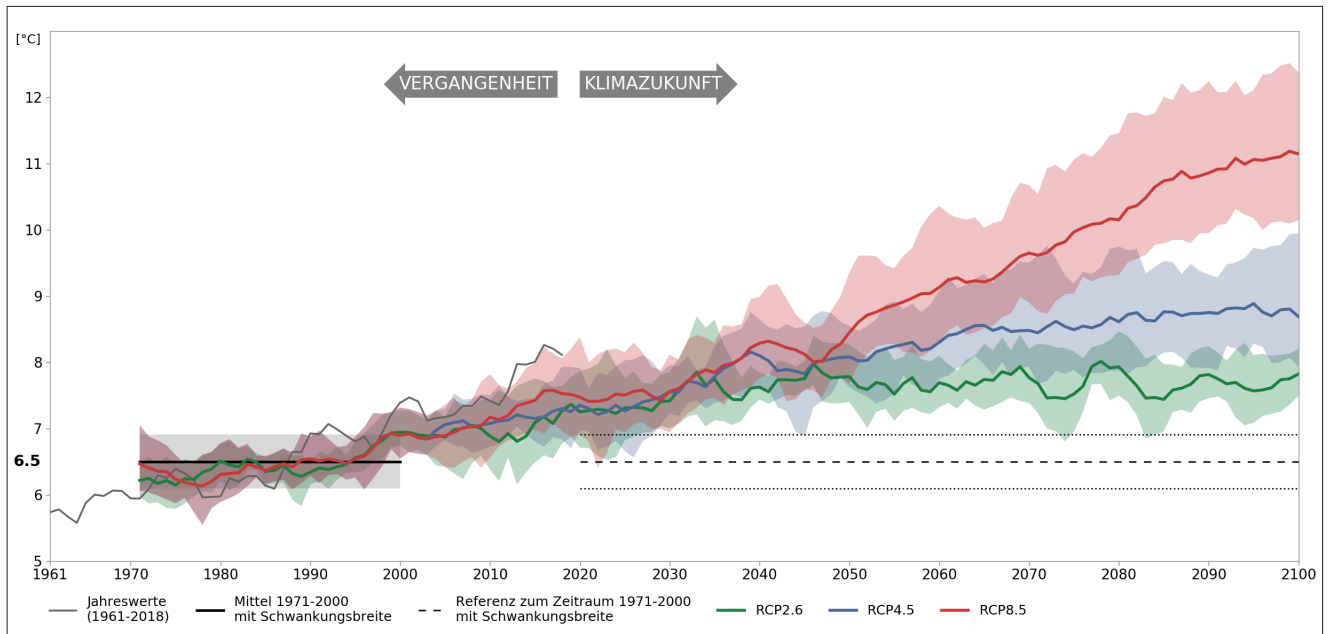


Zukünftige erwartete Klimaänderung in Österreich

Der Grad der bereits beobachteten und zukünftig erwarteten anthropogenen Klimaerwärmung ist durch die globalen historischen und zukünftigen kumulativen CO₂ Emissionen definiert. Selbst bei einem unmittelbaren, globalen und vollständigen Stop aller CO₂ Emissionen, würde ein großer CO₂ Anteil für Jahrhunderte und länger in der Atmosphäre verbleiben und so das Temperaturniveau hoch halten (Knutti und Rogelj, 2015). Um durch Klimamodellierungen die ganze Bandbreite der möglichen zukünftigen Klimaveränderungen zu untersuchen, werden verschiedene Entwicklungen des menschlichen Verhaltens (Weltbevölkerung, Energienutzung, Technologie,...), sog. Klimaszenarien, angenommen. Für die nahe Zukunft (2021-2050) wird unabhängig vom Emissionsszenario ein weiterer Temperaturanstieg von ca. 1,3°C im Vergleich zur Klimanormalperiode 1971 bis 2000 erwartet. Für die ferne Zukunft (2071-2100) wird die Temperatur je nach Emissionsszenario um weniger als 2°C (RCP 2.6 – Einhaltung des Paris Abkommens) oder 4°C (RCP 8.5 – „ungünstigstes Szenario“ – keine Klimaschutzmaßnahmen) im Vergleich zur Klimanormalperiode 1971 bis 2000 ansteigen (Abbildung 2; Chimani et al., 2016).

Auswirkungen der Klimaerwärmung für Österreich

Temperaturextrema (z.B. Anzahl der Hitzetage) haben signifikant zugenommen, diese Zunahme wird abhängig vom Emissionsszenario in Zukunft weitergehen und auch die Intensität von Hitzewellen mit starken negativen Gesundheitsfolgen (Produktivität, Wohlbefinden, Übersterblichkeit, Allergien durch Pollen, Mücken) weiterhin zunehmen (APCC, 2014; Haas et al., 2018). In der Vergangenheit hat sich das Potential für die Bildung von konvektiven Extremereignissen (Risiko für lokale Starkregen, Überflutungen, Gewitter und Hagel) erhöht. Insbesondere für die zweite Hälfte des 21. Jahrhunderts und ohne Klimaschutzmaßnahmen ist mit einer deutlichen Zunahme der Intensität und Häufigkeit solcher Ereignisse und damit zusammenhängenden Potentials für kleinräumige Überflutungen, Hangrutschungen und Muren zu rechnen (Enigl et al., 2019; APCC, 2014). Aufgrund der in der Zukunft weiter erwarteten Zunahme der Verdunstung ist insbesondere ohne Klimaschutz mit häufigeren und intensiveren extremen Dürreereignissen im Laufe des 21. Jahrhunderts zu rechnen (APCC, 2014; Haslinger et al., 2016). Die Kryosphäre (Schnee, Permafrost, Gletscher) nimmt aufgrund der fortschreitenden Erwärmung langfristig in allen Höhenlagen weiter ab (IPCC, 2019b; APCC, 2014). Trockenheit und Hitze führen in niederschlagsärmeren Gebieten zu negativen Folgeerscheinungen im Bereich der Forst- (geringere Produktivität und intensivere und häufigere Störungen der Waldökosysteme durch z.B. Borkenkäfer) und Landwirtschaft (verringertes Ertragspotential



und erhöhte Ausfallrisiken) (APCC, 2014). Die Klimaänderungen haben weitreichende Auswirkungen in vielen weiteren Bereichen und Sektoren, auf die hier aus Platzgründen nicht näher eingegangen werden kann. Das Ausmaß all dieser Klimarisiken in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts ist dabei wesentlich durch den Menschen beeinflussbar (drastische und rasche globale Klimaschutzmaßnahmen, sowie regionale und sektorale Anpassungsmaßnahmen).

Klimawirksame Treibhausgase und das Pariser Klimaabkommen

CO₂ als bedeutendstes klimawirksames Treibhausgas weist derzeit eine global gemittelte Konzentration von 410 PPM (Parts per Million) auf (NOAA, 2020). Die globalen Kohlendioxid Emissionen durch fossile Verbrennung betragen derzeit knapp 35±1,8 Gigatonnen CO₂ pro Jahr (Friedlingstein et al., 2019), wovon 0,2% (82 Mio. Tonnen) in Österreich emittiert werden (UBA, 2020). Bezieht man die durch österreichischen Konsum im Ausland verursachten CO₂ Emissionen mit ein, so liegen die Emissionswerte für Österreich um etwa die Hälfte höher (APCC, 2014). Im Pariser Klimaabkommen (UNFCCC, 2015) hat sich die Weltgemeinschaft verpflichtet, die globale Erwärmung bis Ende dieses Jahrhunderts auf einem Niveau wesentlich unter 2°C, wenn möglich auf 1,5°C, bezogen auf das vorindustrielle Temperaturniveau, zu begrenzen. Um das 1,5 Grad Ziel zu erreichen, müssen die globalen Emissionen möglichst sofort abnehmen, sodass die Nettoemissionen bereits 2055 auf null gesunken sind. Derartige Emissionsreduktionen können nur durch eine umfassende Neuausrichtung unserer technischen und wirtschaftlichen Entwicklung erreicht werden. Daher spricht man auch von einer notwendigen Transformation der Gesellschaft (Geels, 2018).

Literatur

APCC (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich, 1096 Seiten. ISBN 978-3-7001-7699-2.

Abbildung 2: Gemessene vergangene (1961-2018) und zukünftige erwartete (Modellberechnungen für RCP 2.6, RCP 4.5 und RCP 8.5 im Zeitraum 1970-2100) Jahresmitteltemperaturen für Österreich. Da Klimamodelle keine konkreten Vorhersagen für einzelne Jahre machen können, sind die Modell-ergebnisse und Messdaten geglättet dargestellt (5-jähriges gleitendes Mittel). Die Bandbreite der verschiedenen Klimamodelle ist pro Szenario durch die farbigen Bereiche angedeutet, die dicke farbige Linie zeigt jeweils den Median der Modelle. Die Variation von Jahr zu Jahr ist durch den schattierten Bereich angedeutet (Chimani et al., 2016; aktualisiert).

Auer I.; R. Böhm; A. Jurkovic; W. Lipa; A. Orlik; R. Potzmann; W. Schöner; M. Ungersböck; C. Matulla; K. Briffa; P.D. Jones; D. Efthymiadis; M. Brunetti; T. Nanni; M. Maugeri; L. Mercalli; O. Mestre; J.M. Moisselin; M. Begert; G. Müller-Westermeier; V. Kveton; O. Bochnicek; P. Stastny; M. Lapin; S. Szalai; T. Szentimrey; T. Cegnar; M. Dolinar; M. Gajic-Capka; K. Zaninovic; Z. Majstorovic and E. Nieplova (2007): HISTALP – historical instrumental climatological surface time series of the greater Alpine region 1760-2003. *International Journal of Climatology* 27, 17-46, doi: 10.1002/joc.1377.

Chimani, B.; G. Heinrich; M. Hofstätter; M. Kerschbaumer; S. Kienberger; A. Leuprecht und A. Lexer (2016): “Endbericht ÖKS15 – Klimaszenarien für Österreich - Daten - Methoden - Klimaanalyse. Projektbericht.” CCCA Data Centre. <https://data.ccca.ac.at/dataset/a4ec86ca-eeae-4457-b0c7-78eed6b71c05>.

Enigl, K.; C. Matulla; M. Schlögl and F. Schmid (2019): “Derivation of Canonical Total-Sequences Triggering Landslides and Floodings in Complex Terrain.” *Advances in Water Resources* 129: 178-88. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.04.018>.

Friedlingstein, P. et al. (2019): Global Carbon Budget 2019, *Earth Syst. Sci. Data*, 11, 1783-1838, <https://doi.org/10.5194/essd-11-1783-2019>, 2019.

Geels, F. W. (2018): Sustainability transitions. In *Companion to Environmental Studies* (Vol. 719, No. 724, pp. 719-724). ROUTLEDGE in association with GSE Research.

Haas, W.; H. Moshhammer; R. Muttarak; M. Balas; C. Ekmekcioglu; H. Formayer; H. Kromp-Kolb; C. Matulla; P. Nowak; D. Schmid; E. Striessnig; U. Weisz; F. Allerberger; I. Auer; F. Bachner; K. Baumann-Stanzer; J. Bobek; T. Fent; I. Frankovic; C. Gepp; R. Groß; S. Haas; C. Hammerl; A. Hanika; M. Hirtl; R. Hoffmann; O. Koland; I. Offenthaler; M. Piringer; H. Ressler; L. Richter; H. Scheifinger; M. Schlatzer; M. Schlögl; K. Schulz; W. Schöner; S. Simic; P. Wallner; T. Widhalm und K. Lemmerer (2018): Österreichischer Special Report Gesundheit, Demographie und Klimawandel (ASR18) – Zusammenfassung für Entscheidungstragende und Synthese. Austrian Panel on Climate Change (APCC), Wien, Österreich, 103, Österreichische Akademie der Wissenschaften, Wien; ISBN: 978-3-7001-8429-4.

Hartmann, D.L.; A.M.G. Klein Tank; M. Rusticucci; L.V. Alexander; S. Brönnimann; Y. Charabi; F.J. Dentener; E.J. Dlugokencky; D.R. Easterling; A. Kaplan; B.J. Soden; P.W. Thorne; M. Wild and P.M. Zhai (2013): Observations: Atmosphere and Surface. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom und New York, NY, USA.

Haslinger, K.; W. Schöner and I. Anders (2016): “Future Drought Probabilities in the Greater Alpine Region Based on COSMO-CLM Experiments – Spatial Patterns and Driving Forces.” *Meteorologische Zeitschrift* 25 (2): 137-48. <https://doi.org/10.1127/metz/2015/0604>.

IPCC (2014): *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IPCC (2019a): Climate Change and Land. An IPCC Special report on climate change, desertification, land, degradation, sustainable land management, food security and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems: Summary for Policymakers (Approved draft), [Arnell et al.]. IPCC, Geneva, Switzerland, 43 pp.

IPCC (2019b): Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.

NOAA (2020): <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html#global> (Zugriff am 21.1.2020).

Olefs, M.; R. Koch und A. Gobiet (2019): Klima und Schnee in Österreich – Beobachtete Vergangenheit und erwartete Zukunft, Fachzeitschrift FdSnow, Heft 53, ISSN 1864-5593 53.

Scherrer, S.C. and M. Begert (2019): "Effects of Large-Scale Atmospheric Flow and Sunshine Duration on the Evolution of Minimum and Maximum Temperature in Switzerland." Theoretical and Applied Climatology, March. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02823-x>.

UBA (2020): <https://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/treibhausgase/> (Zugriff am 21.1.2020).

UNFCCC (2015): The Paris agreement: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>.

ZAMG (2020a): Kapitel „Antriebe des Klimasystems“ im Informationsportal der ZAMG, <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimasystem/antriebe> (Zugriff am 21.1.2020).

ZAMG (2020b): Kapitel „Sonnenaktivität kurzfristig“ im Informationsportal der ZAMG, <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimasystem/antriebe/sonnenaktivitaet-kurzfristig>.

ZAMG (2020c): Kapitel „Vulkane“ im Informationsportal der ZAMG, <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimasystem/antriebe/vulkane>.

ZAMG HISTALP (2019): Jahres-Newsletter 2019, <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/histalp/histalp-oesterreich-jahresbericht-2019>.