

Stellungnahme

zur Drucksache 18/3689 des Bayerischen Landtags:

Expertenanhörung: Klimaschutz – Bayern muss handeln!

durch

Dr. habil. Sebastian Lüning

lueining@ifhgk.org, Geowissenschaftler, IPCC-Gutachter
Lissabon

Zusammenfassung

Klimamodellierer warnen neuerdings selbst ausdrücklich davor, ihre aktuellen Simulationsergebnisse als politische Entscheidungsgrundlage zu verwenden. Nach Berücksichtigung neuer Erkenntnisse der Schwefeldioxid-Aerosolforschung suggerieren Modelle viel zu hohe Erwärmungsraten. Angesichts zu erwartender hoher Investitionssummen und massiver Eingriffe in die Bayerische Wirtschaft und Gesellschaft sollten die drastischen Klimaprognosen erneut einer unabhängigen Überprüfung unterzogen werden, um den Gefährdungsgrad realistischer einschätzen zu können. Die aus Computersimulationen stammenden Klimaprognosen für Bayern und Europa können erst dann als politische Planungsgrundlage herangezogen werden, wenn sie erfolgreich mit den vorindustriellen Klimaschwankungen der vergangenen zwei Jahrtausende kalibriert wurden.

Die letzte natürliche Wärmephase ist die Mittelalterliche Wärmeperiode (MWP, 800-1300 n. Chr.), die in Bayern und Nachbarregionen mehrfach dokumentiert ist. Die Temperaturen erreichten damals ein ähnliches Niveau wie heute. Die MWP konnte bislang durch kein Klimamodell reproduziert werden. Eine noch wärmere und langandauerndere Wärmephase ereignete sich 9500-5500 Jahre vor heute. Damals lagen die Temperaturen 1-3°C über den heutigen Werten. Die Alpengletscher waren kürzer, das grönländische Inlandseis besaß weniger Eismasse als heute. Immer wieder kam es zu schnellen natürlichen Klimawechseln. Aus paläoklimatischer Sicht scheint weder das heutige Temperaturniveau, noch die heutige Erwärmungsrate im Alpenraum im historischen Kontext beispiellos zu sein.

Insbesondere sollten die Modelle zunächst die natürlichen vorindustriellen europäischen Wärmephasen des Mittelalters und der Römerzeit reproduzieren können, bevor sie für robuste Zukunftsprognosen einsatzbereit werden. Eine Rückwärtsmodellierung beginnend am Ende der Kleinen Eiszeit um 1850 greift zu kurz, da das Intervall keine rein natürlichen Wärmephasen enthält. Behörden, Politiker und Forscher müssen die enorme natürliche Klimavariabilität der vorindustriellen Zeit aktiv kommunizieren. Ein fortgesetztes Verschweigen (wie im Klima-Report Bayern 2015) setzt sie dem Vorwurf mangelnder Transparenz aus. Die Klimageschichte beginnt nicht erst am Ende der Kleinen Eiszeit um 1850. Auch die Klimadiskussion kann aus der Geschichte lernen, muss klimahistorische Fakten anerkennen und einbeziehen.

Politische Maßnahmen sollten angesichts der großen Unsicherheiten im Bereich der Klimasimulationen dem Prinzip der Verhältnismäßigkeit folgen. Alarmismus ist hier fehl am Platz, stattdessen sollten alle gesellschaftlichen Herausforderungen gleichberechtigt behandelt werden und einer nüchternen Betrachtung von Aufwand und Nutzen genügen. Angesichts der großen gesellschaftspolitischen Bedeutung darf es keinen wissenschaftsfreien Raum für subjektiv eingefärbte Spekulationen geben. Klimapolitik erfordert Augenmaß. Politische Entscheider sollten auf der Basis von Tatsachen entscheiden können und sich nicht von dramatischen Katastrophenszenarien bedrängen lassen - Katastrophenszenarien, die sich bei sachlicher Überprüfung als stark überzogen bzw. rein spekulativ darstellen. Abgeleitete Maßnahmen sollten nicht nur ökologisch nachhaltig sein, sondern auch einer sozialen und wirtschaftlichen Nachhaltigkeit genügen.

Einleitung

Im Zuge der globalen Industrialisierung und Nutzung fossiler Brennstoffe ist die Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre mittlerweile auf den höchsten Stand seit 800.000 Jahren gestiegen. Gleichzeitig hat sich die Temperatur der Erde in den letzten 150 Jahren um knapp ein Grad erhöht. Die Expertenanhörung soll das Ausmaß der bisher beobachteten klimatischen Veränderungen, die Auswirkungen auf das Leben sowie zu ergreifende Maßnahmen erörtern. Diese Stellungnahme orientiert sich an der Struktur des Fragenkatalogs. Zuvor jedoch sollen Aussagen aus der Antragsbegründung kommentiert werden, deren Inhalt zum Teil nicht dem wissenschaftlichen Kenntnisstand entsprechen.

Kommentierung der Antragsbegründung

Höhe des anthropogenen Anteils an der modernen Klimaerwärmung

Im Antrag heißt es:

*Es ist wissenschaftlich erwiesen, dass sich die Erde mitten in einer Phase einer Erhitzung befindet, die mit erheblichen Folgen für Umwelt und das Leben der Menschen – weltweit – einhergeht. **Es ist auch erwiesen, dass der Mensch die Klimakrise selbst verursacht hat.** Die Klimaveränderungen werden durch menschliches Verhalten weiterhin verstärkt und nehmen immer dramatischere Ausmaße an.*

Es ist richtig, dass sich die globale Mitteltemperatur in den letzten 150 Jahren um ein Grad Celsius erhöht hat. Der genaue quantitative Anteil menschengemachter und natürlicher Klimafaktoren an der bisher beobachteten modernen Erwärmung bleibt jedoch noch immer unklar und ist an die nur ungenau bekannte Klimawirkung des CO₂, die sogenannte CO₂-Klimasensitivität gekoppelt. Pro CO₂-Verdopplung kann die Erwärmung laut IPCC 1,5°C betragen, aber auch bis zu 4,5°C, also dem Dreifachen. Dies entspricht einer sehr großen Unsicherheitsspanne.

Der 1,5-Grad-Sonderbericht des IPCC (IPCC, 2018) suggeriert, dass der menschengemachte Anteil an der Erwärmung bereits final geklärt sei und dass der Temperaturanstieg nahezu vollständig auf den von Menschen verursachten Treibhausgasemissionen ruhen würde. Allerdings ist die Aussage aus dem IPCC-Spezialbericht umstritten. Ein nahezu zeitgleich veröffentlichter Klimabericht der Schweiz räumt den natürlichen Klimafaktoren deutlich mehr Raum ein (CH2018, 2018). Natürliche Faktoren könnten bis zur Hälfte der im Land beobachteten Erwärmung der letzten 100 Jahre verursacht haben, heißt es dort. Auf die Frage, wie die anthropogenen und natürlichen Anteile an der globalen Erwärmung in industrieller Zeit verteilt waren, gab der bekannte Kieler Klimaforscher Prof. Mojib Latif 2012 in einem Zeitungsinterview an: „*Es ist ein Mix aus beidem. Klar ist, dass der Mensch über die Hälfte des Temperaturanstiegs seit Beginn der Industrialisierung zu verantworten hat*“ (Neue Osnabrücker Zeitung, 2012). Das Hamburger Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPIM) erklärte auf seiner Webseite (MPIM, 2019: Zugriff 5.11.2019, mittlerweile gelöscht):

[Computersimulationen] „zeigen, dass in den letzten 100 Jahren durch den Anstieg in der Sonnenintensität ein Teil der beobachteten Erwärmung erklärt werden kann, allerdings mit etwa 0.2 Grad Celsius nur ungefähr ein Drittel.“

Um den natürlichen Anteil am aktuellen Klimawandel besser verstehen zu können, ist eine Beschäftigung mit der vorindustriellen Klimageschichte zwingend notwendig. Erst wenn die natürliche Klimadynamik der letzten Jahrtausende korrekt aufgezeichnet und die entsprechenden Antriebe verstanden worden sind, kann das heutige Gesamtklimasystem bestehend aus natürlichen und anthropogenen Antrieben vollständig begreifbar und quantitativ abschätzbar werden.

Neben den IPCC-Berichten bildet der Klima-Report Bayern 2015 sicherlich eine wichtige Grundlage der Bayerischen Klimapolitik (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, 2015). Jedoch spart der Bericht den sehr wichtigen Bereich der vorindustriellen, natürlichen Klimavariabilität Bayerns bzw. Deutschlands aus unerfindlichen Gründen vollständig aus, was den Bericht stark entwertet. In Kapitel 3 „Das Klima in Bayern“ wird lediglich die industrielle Klimaentwicklung der letzten 140 Jahre diskutiert. Dies muss als überaus bedenklich angesehen werden, ist doch in den Klimawissenschaften allgemein anerkannt, dass eine Differenzierung zwischen natürlichen und menschengemachten Klimaveränderungen nur über den Kontext der vorindustriellen Klimageschichte erfolgen kann.

Die Bayerische Klimapolitik stützt sich auf eine in der Wissenschaft noch nicht zuende diskutierte Annahme, dass die Klimaerwärmung ausschließlich auf vom Menschen verursachtes CO₂ zurückzuführen sei, wobei möglicherweise bis zu 50% anderer relevanter Einflussfaktoren unberücksichtigt bleiben.

Temperaturprognosen aus Klimamodellen

Im Antrag heißt es:

Ende dieses Jahrhunderts wird, wenn nicht mehr radikal gegengesteuert wird, die Welt wohl um ca. drei bis fünf Grad Celsius wärmer sein.

Diese Aussage ist unvollständig. Die zukünftige Temperaturentwicklung hängt nicht nur vom Treibhausgasausstoß ab, sondern auch von der noch schlecht bekannten CO₂-Klimasensitivität bzw. dem natürlichen Anteil an der bisher beobachteten Erwärmung. Die angeführten Szenarien basieren auf Klimamodellierungen, deren Verlässlichkeit allerdings zweifelhaft ist. In den letzten Jahren wurde immer deutlicher, dass die Klimamodelle starke Defizite bei den Aerosolen besitzen. Eine 35-köpfige Forschergruppe zum Thema Schwebstoff um Florent Malavelle konnte zeigen, dass die Kühlwirkung von Schwefeldioxid-Aerosolen viel geringer ist, als in den gängigen Klimamodellen angenommen (Malavelle et al., 2017). Da das Schwefeldioxid in früheren Modellen eine wichtige Kühlfunktion für überschüssige Wärme des CO₂ innehatte, muss nun wohl auch die Erwärmungswirkung des CO₂ nach unten korrigiert werden.

Nach Berücksichtigung der neuen Aerosol-Erkenntnisse lieferten die im Vorfeld des 6. IPCC-Berichts erstellten Klimamodelle äußerst unrealistische Resultate, die sich nicht mit den Messdaten der letzten 140 Jahre in Einklang bringen lassen (Forster et al., 2019; Voosen, 2019). Mittlerweile raten die Klimamodellierer selber, ihre neuen Simulationsergebnisse nicht zu verwenden und im derzeit entstehenden IPCC-Bericht dafür andere Argumentationszweige stärker in den Vordergrund zu stellen (Voosen, 2019). In Forster et al. (2019) heißt es zu den nun viel zu viel Erwärmung suggerierenden neuen Klimamodellen (Generation CMIP6):

„However, the higher values seen in CMIP6 are not supported by other lines of evidence and may eventually be proven wrong“.

Übersetzt: Höhere Werte als die vom älteren Sachstandbericht werden von anderen Untersuchungen nicht gestützt und werden sich letztendlich wohl als falsch erweisen. Zum Ende der Arbeit hin folgen weitere unmissverständliche Worte:

„As we have shown that raw projections of surface temperature from CMIP6 should not be used directly in creating policy related to achieving temperature targets, a way of translating the model results to improve their policy relevance is needed.“

Die Resultate der neuesten Klimamodelle sollten nicht als Grundlage für politische Entscheidungen verwendet werden. Eine klare Empfehlung der Wissenschaft an die Politik.

Extremwetter und Meeresspiegelanstieg

Im Antrag heißt es:

Das Risiko für Dürren, Stürme und andere Extremwetterereignisse wächst damit enorm, steigende Meeresspiegel bedrohen Küsten und ganze Inseln. Auch in Bayern sind die Auswirkungen der Klimaerhitzung nicht mehr zu ignorieren: Nach zwei aufeinanderfolgenden Sommern mit Rekordtemperaturen herrscht in Teilen Bayerns Wassermangel und der Grundwasserspiegel sinkt. Die Häufigkeit von verheerenden und extremen Wettervorkommnissen steigt.

Die dramatisierende Schilderung der Extremwettergefahr entspricht nicht dem akzeptierten wissenschaftlichen Kenntnisstand. Weltweit ist - mit Ausnahme bei Hitzewellen - keine allgemeine Steigerung des Extremwetters in den letzten 150 Jahren festgestellt worden, obwohl sich die globale Durchschnittstemperatur um etwa 1°C erhöhte (IPCC, 2012). Dies gilt im Übrigen auch für Deutschland. Laut des vom Umweltbundesamt (UBA) herausgegebenen „Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ gibt es keinen statistisch gesicherten Trend in der Entwicklung der Häufigkeit von **Trockenperioden** in Deutschland (Umweltbundesamt, 2015).

Ähnlich sieht es bei den **Stürmen** aus. Das Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK) wertete Satellitendaten aus und stellte für die vergangenen 35 Jahre eine signifikante Abnahme der Sturmaktivität während des Sommers in den mittleren Breiten der nördlichen Hemisphäre fest, darunter auch in Deutschland (Lehmann and Coumou, 2015). Winterstürme über dem Nordatlantik und Nordwesteuropa zeigen jedoch starke, jahrzehntelange Schwankungen, wobei derzeit kein Langzeittrend sichtbar ist, wie ein Team um Frauke Feser vom Helmholtz-Zentrum Geesthacht dokumentierte (Herring et al., 2014). Erkennbar sind eine Verringerung der Sturmaktivität seit den 1880ern bis Mitte der 1960er Jahre und ein darauf folgender Anstieg bis Mitte der 1990er Jahre. Ab Mitte der 1990er Jahre verringert sich dann wiederum die Sturmaktivität.

Seit 1951 hat sich die Häufigkeit von **Starkniederschlag** von mehr als 30 mm nur geringfügig erhöht (DWD, 2014). Die Veränderung ist aus statistischer Sicht jedoch insignifikant, so dass kein belastbarer Langzeittrend ausgemacht werden kann.

Die **Meeresspiegelanstiegsrate** in Nordsee und Ostsee ist auf niedrigem Niveau stabil. Laut einer Studie der Universität Siegen steigt der Meeresspiegel in der Nordsee seit 100 Jahren mit konstanter Geschwindigkeit an, und zwar mit 1,5 mm pro Jahr (Wahl et al., 2013). An der deutschen Ostseeküste sieht es ähnlich aus. Eine Arbeit der Technischen Universität

Dresden fand einen eustatischen Anstieg um 1,3 mm pro Jahr (Richter et al., 2012). Auch hier gab es keine Anzeichen für eine Beschleunigung.

Fragenkatalog zur Expertenanhörung

A. Daten

A1. Wie hat sich das Klima in Bayern in den vergangenen 100 Jahren allgemein entwickelt? Inwieweit haben sich in den vergangenen 100 Jahren folgende Wetterwerte in Bayern entwickelt: Lufttemperatur, Niederschlag, Sonnenschein, Wind, Oberflächentemperaturen, heiße Tage, Temperatur-„Rekorde“, Extremwetterereignisse?

Die Frage greift zeitlich zu kurz. Eine Betrachtung der Klimatrends der letzten 100 Jahre ist wichtig, jedoch ist es genauso wichtig, diese Trends aus der industriellen Ära in den paläoklimatischen Kontext der vorindustriellen Zeit zu setzen. Hierzu ist eine Beschäftigung mit Klimarekonstruktionen Bayerns und Nachbarregionen für die letzten 1000 und 10.000 Jahre notwendig. Die Zeit der letzten zehn Jahrtausende (Holozän bis 1850) stellt das vorindustrielle Niveau dar, gegen das die aktuellen Veränderungen verglichen werden müssen.

TEMPERATUR: Laut Klima-Report Bayern 2015 hat sich die Jahresdurchschnittstemperatur in Bayern in den letzten 140 Jahren um 1,4°C erhöht (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, 2015). Das entspricht einer durchschnittlichen Erwärmungsrate von 0,1°C pro Jahrzehnt. Dabei unterscheiden sich die jahreszeitlichen Temperaturtrends zum Teil deutlich. So wurde der Februar in Bayern während der letzten 30 Jahren kälter (**Abb. 1**). Die Temperaturen des Januar, März und Mai blieben während der letzten drei Jahrzehnte stabil. Alle anderen Monate zeigten eine Erwärmung.

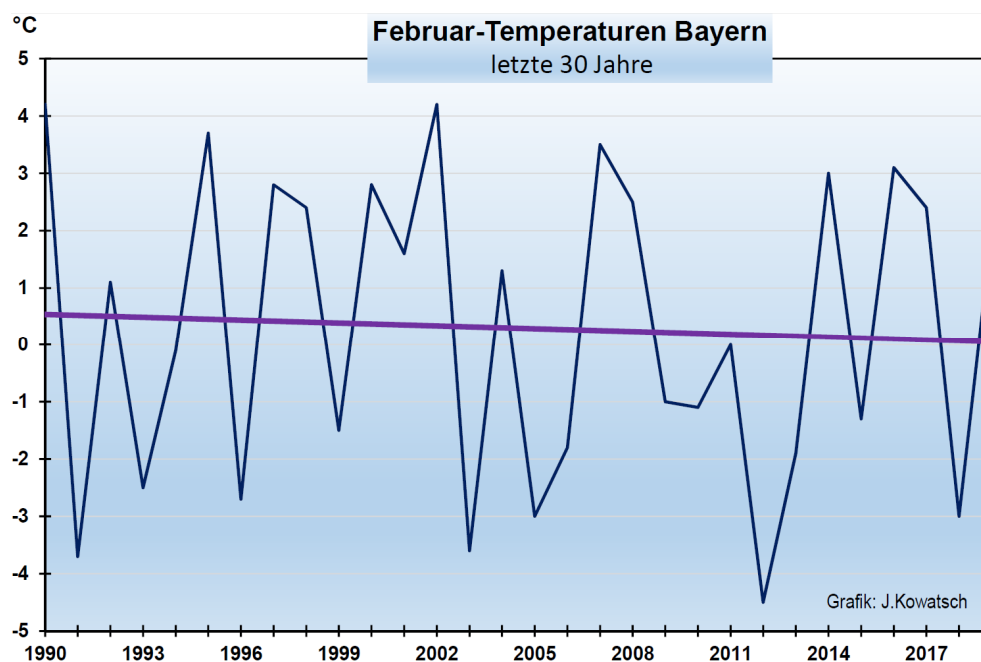


Abb. 1: Entwicklung der Februar-Temperaturen in Bayern während der letzten 30 Jahre. Daten: Deutscher Wetterdienst. Graphik: J. Kowatsch.

Zu berücksichtigen ist zudem, dass der Startpunkt der Messreihe um 1881 das Ende der Kleinen Eiszeit markiert. Die Kleine Eiszeit war eine natürliche Kältephase, die sich 1400-1850 ereignete und während der global die tiefsten Temperaturen der gesamten letzten 10.000 Jahre erreicht wurden (Marcott et al., 2013). Während der Kleinen Eiszeit wuchsen viele Alpengletscher stark an und erreichten ihre größte Ausdehnung der letzten Jahrtausende (z.B. Holzhauser et al., 2005). Da die Kleine Eiszeit eine klimatische Sondersituation darstellt, eignet sie sich nicht als Null-Bezugsniveau bzgl. Basislinie für klimatische Betrachtungen (Lüning and Vahrenholt, 2017).

Die letzte vorindustrielle Warmphase, die mit der modernen Erwärmung vergleichbar ist, ist die Mittelalterliche Wärmeperiode (MWP), die sich 800-1300 n. Chr. ereignete. Während der MWP schmolzen viele Alpengletscher stark ab (Holzhauser et al., 2005; Nicolussi and Kerschner, 2014; Schimmelpfennig et al., 2014).

Eine warme MWP lässt sich auch aus historischen Eisberichten des Bodensees ableiten. Zwischen dem 9. und 12. Jahrhundert gab es jeweils lediglich ein oder zwei Jahre während der der Bodensee vollständig zufror (siehe Tabelle 1 in Brunner, 2004). In der nachfolgenden Kleinen Eiszeit ereigneten sich diese „Seegfröhen“ sehr viel häufiger. Zum Höhepunkt im 15. und 16. Jahrhundert froh der Bodensee jeweils gleich sieben Mal pro Jahrhundert zu. Im 20. und 21. Jahrhundert gab es ähnlich wie während der MWP nur eine einzige Seegfröhe, nämlich 1963. Die MWP wurde auch aus den österreichischen Zentralalpen beschrieben. Eine Forschergruppe um Augusto Mangini rekonstruierte die Wintertemperaturgeschichte anhand von Sauerstoffisotopen in Tropfsteinen der Spannagelhöhle (Mangini et al., 2005). Dabei fanden sie eine Erwärmung von 3°C im Übergang zur MWP im 8. zum 9. Jahrhundert (**Abb. 2**). In diesem Zusammenhang traten offenbar starke Erwärmungsschübe auf, bei denen die Temperaturen auf natürliche Weise innerhalb weniger Jahrzehnte stark nach oben schnellten. Insofern scheint weder das heutige Temperaturniveau, noch die heutige Erwärmungsrate im Alpenraum im historischen Kontext beispiellos zu sein.

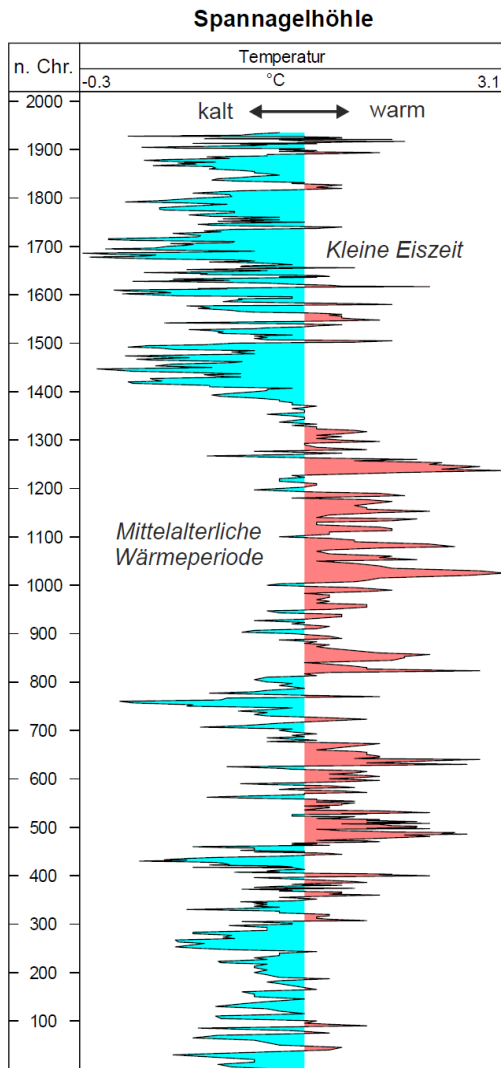


Abb. 2: Temperaturentwicklung der Spannagelhöhle in den österreichischen Zentralalpen während der letzten 2000 Jahre basierend auf einer Temperaturrekonstruktion anhand von stabilen Sauerstoffisotopen in Höhlentropfsteinen (Mangini et al., 2005). Daten herunterladbar beim [National Climatic Data Center](https://www.noaa.gov/) (NOAA).

Entgegen früherer Vermutungen konnte die mittelalterliche Erwärmung zwischenzeitlich auch in vielen Regionen der Südlichen Hemisphäre dokumentiert werden, z.B. in Afrika (Lüning et al., 2017), Südamerika (Lüning et al., 2019a), Ozeanien (Lüning et al., 2019b) und der Antarktis (Lüning et al., 2019c). Die Mittelalterliche Wärmeperiode stellt somit ein globales Phänomen dar.

Betrachtet man noch längere vorindustrielle Zeiträume, so fällt das sogenannte „Holozäne Thermische Maximum“ (HTM) im Zeitraum 9500-5500 Jahre vor heute ins Auge (nur unterbrochen durch eine relativ abrupte kurze Abkühlung 8250-8050 Jahre vor heute). Zur Zeit des HTM lagen die Sommertemperaturen etwa 3°C höher als in den nachfolgenden Jahrtausenden, meist deutlich über dem heutigen Sommer-Temperaturniveau. Beispielhaft seien Temperaturrekonstruktion aus Südwest-Tschechien (nahe der bayerischen Grenze) (Carter et al., 2018) sowie aus den Schweizer Alpen (Heiri et al., 2015) genannt (**Abb. 3**).

Die vorindustrielle HTM-Wärme ist weltweit dokumentiert und spiegelte sich u.a. in einem stark geschrumpften grönländischen Inlandeis wider, mit Eisvolumina die deutlich geringer ausfielen als heute (z.B. Larsen et al., 2015). Viele Alpengletscher waren sehr viel kürzer als heute, z.B. die Pasterze in den Ostalpen (Nicolussi and Patzelt, 2000).

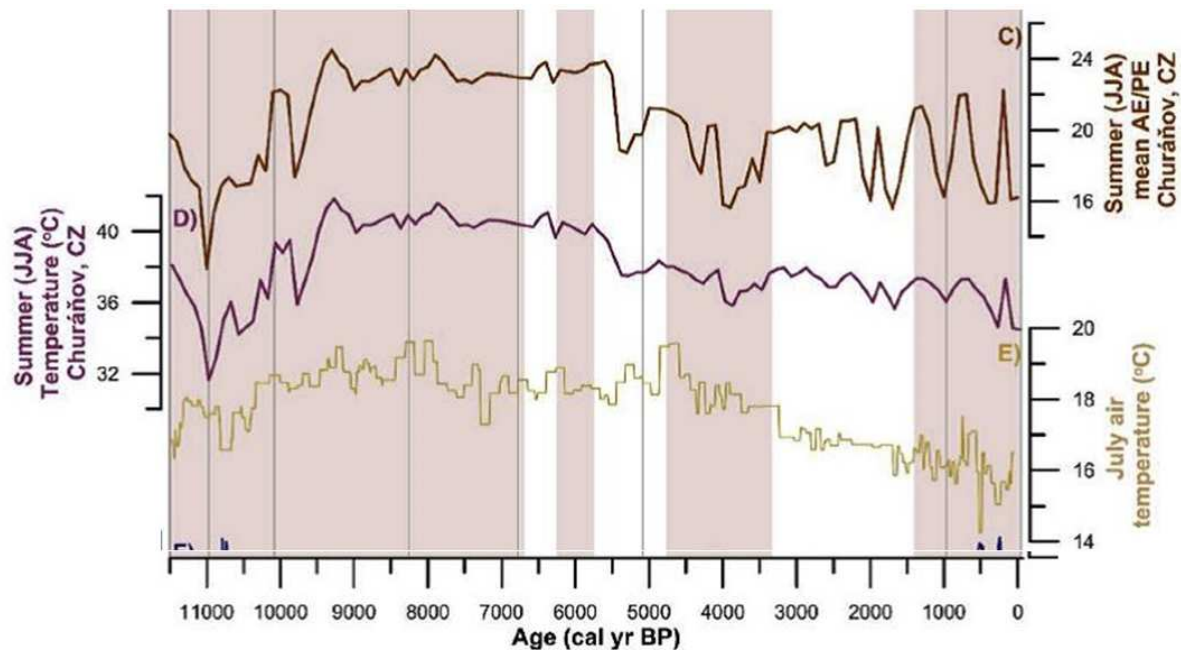


Abb. 3: Sommer-Temperaturentwicklung in Südwest Tschechien (nahe der bayerischen Grenze, zwei Berechnungsvarianten, Kurven C & D), im Vergleich zum Stazersee in den Schweizer Alpen (Kurve E) während der letzten 11.000 Jahre. Abbildung modifiziert nach Carter et al. (2018). JJA=Juni-Juli-August, links=11.000 Jahre vor heute; rechts=heute. BP=before present.

Aus dem klimahistorischen Kontext lässt sich erkennen, dass weder das heutige Temperaturniveau, noch die Erwärmungsrate der letzten 140 Jahre einzigartig sind. Im Gegenteil, in weiten Phasen der letzten 10 Jahrtausende war es im Raum Bayern und Nachbarregionen offenbar wärmer als heute. Dabei kam es regelmäßig zu starken kurzfristigen Temperaturschwankungen mit ein oder zwei Grad Änderungsbetrag innerhalb von einigen Jahrzehnten, wie die Spannagel-Temperaturrekonstruktion dokumentiert.

NIEDERSCHLAG: Die Jahresniederschläge haben sich in den letzten 140 Jahren in Bayern um etwa 10% gesteigert. Hier ist vor allem im Winter eine Zunahme zu verzeichnen, während es in den Sommermonaten keinen statistisch signifikanten Trend gibt (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, 2015: S. 44). Beim Starkregen gibt es in den verschiedenen Regionen Bayerns gegenläufige Langzeittrends, von denen jedoch die wenigsten statistisch signifikant sind (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, 2015: S. 44).

Klimarekonstruktionen dokumentieren eine hohe natürliche Variabilität der Hochwasserhäufigkeit in Deutschland während der vergangenen Jahrhunderte. Studien zeigen, dass Hochwasser in Mitteleuropa in den vergangenen 500 Jahren nicht häufiger

geworden zu sein scheinen (Schmocker-Fackel and Naef, 2010). Dasselbe gilt auch auf Europa-Gesamtebene und die letzten 50 Jahre (Blöschl et al., 2017). Auf der 7. Deutschen Klimatagung im Oktober 2006 stellten Manfred Mudelsee und Gerd Tetzlaff Studienergebnisse vor, die auch für Deutschland keine Zunahme der Hochwasserereignisse sahen (Mudelsee and Tetzlaff, 2006).

SONNENSCHNEIN: Während der letzten 65 Jahre zeigt die Sonnenscheindauer einen wellenförmigen Verlauf mit kürzerem Sonnenschein von den späten 1970er bis in die späten 1980er Jahre (**Abb. 4**). In den Jahrzehnten davor und danach schien die Sonne länger. Die längste Sonnenscheindauer wurde im 21. Jahrhundert erreicht, als die Sonne im Jahr durchschnittlich 200 Stunden länger schien als in den 1980er Jahren.

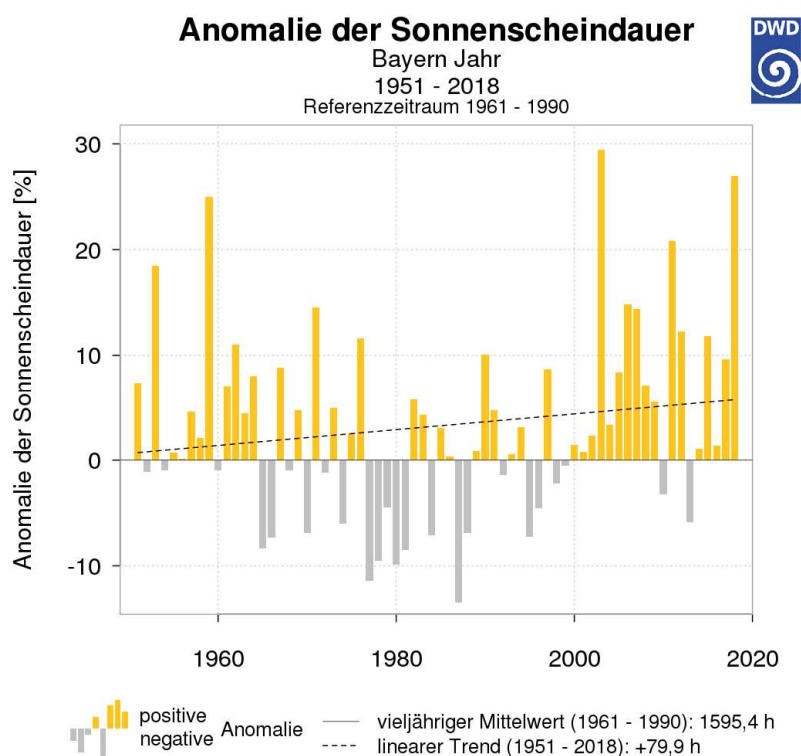


Abb. 4: Entwicklung der Sonnenscheindauer in Bayern seit 1951. Abbildungsquelle: DWD.

Eine bis 1900 zurückreichende Messreihe der Sonnenscheindauer liegt für die Zugspitze vor, wo ein Langzeittrend gut erkennbar ist. Im Laufe der vergangenen 115 Jahre hat sich die jährliche Sonnenscheindauer auf der Zugspitze um knapp 400 Stunden verlängert (**Abb. 5**).

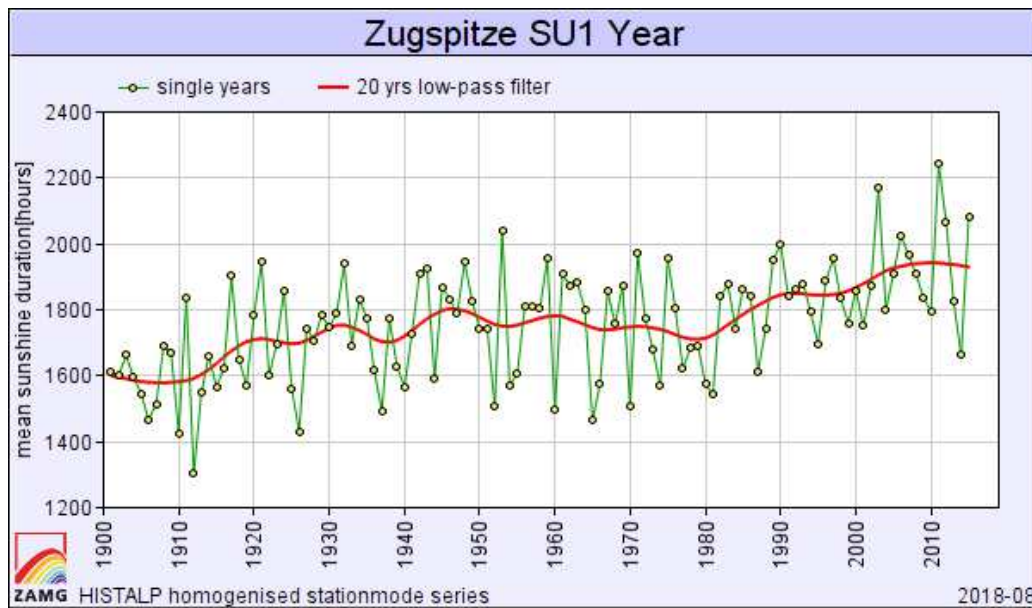


Abbildung 5: Entwicklung der jährlichen Sonnenscheindauer an der Station Zugspitze während der letzten 100 Jahre. Schwarze Linie= Detaillierte Jahreswerte, rote Linie=gleitendes 7-Jahres-Mittel. Daten & Graphik: HISTALP.

Es erscheint plausibel, dass die langfristige Zunahme der Sonnenscheindauer (bzw. der Rückgang der Bewölkung) einen Beitrag zur beobachteten Klimaerwärmung in Bayern während der letzten 100 Jahre gespielt haben muss. Noch unklar ist, was letztendlich zur Verringerung der Bewölkung geführt haben könnte. Es fällt weiterhin auf, dass sich die Zunahme der Bewölkung in den späten 1970er und 1980er Jahren während einer stark negativen Phase des Ozeanzykus der Atlantischen Multidekaden Oszillation (AMO) ereignete (**Abb. 6**).

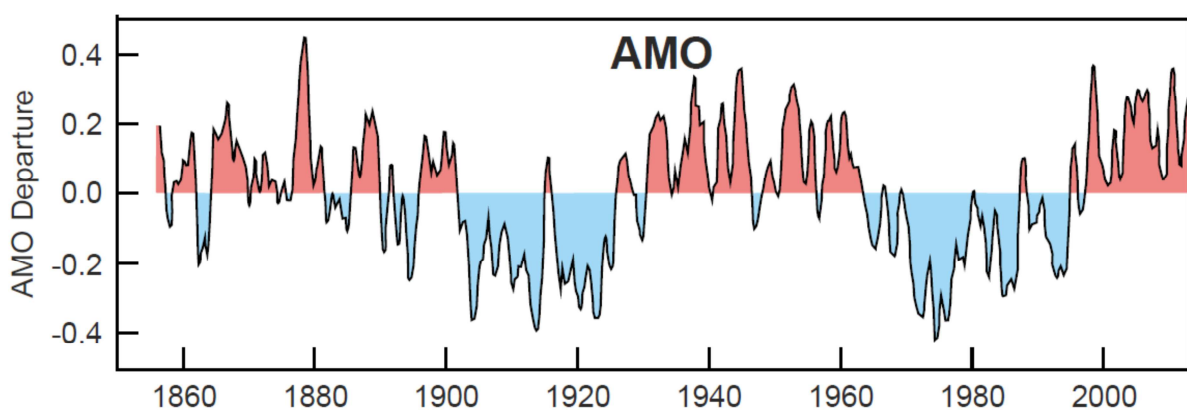


Abb. 6: Verlauf der Atlantischen Multidekadenoszillation (AMO) seit 1860. Daten des NOAA Earth System Research Laboratory's Physical Sciences Division.

Mittlerweile ist gut dokumentiert, dass die AMO einen wichtigen Einfluss auf die Sommertemperaturen in Mitteleuropa ausübt (z.B. Knight et al., 2006; O'Reilly et al., 2017). In der Tat fallen die relativ warmen bayerischen Sommer zwischen 1930-1955 zeitlich recht gut in die positive Phase der AMO (**Abb. 6, 7**).

Fakt ist, dass sich Bayern zwischen 1940-1980 fast ein halbes Jahrhundert lang nicht weiter erwärmt hat (**Abb.7**). Diese Periode fiel in eine Phase als die AMO ihren positiven Scheitelpunkt erreichte und dann in die negative Phase eintauchte (**Abb. 6**). Die seit 1980 in Bayern registrierte starke Erwärmung ereignete sich zur Zeit der ansteigenden Flanke der AMO. Mittlerweile ist die AMO jedoch wieder auf einem neuerlichen Scheitelpunkt angelangt, so dass die AMO in den kommenden Jahrzehnten eher wieder bremsend auf die Erwärmung wirken wird, wie bereits in der Vergangenheit. Gemäß dem Zyklus werden die Bayerischen Sommer in den kommenden zwei bis drei Jahrzehnten daher wohl eher wieder etwas kühler und wolkenverhangener werden.

Es verwundert, dass empirisch gut belegte Zusammenhänge zwischen Klimaentwicklung und quasiperiodischen natürlichen Ozeanzyklen keine Berücksichtigung in den Klimaprognosen für Bayern finden. Fast alle Bereiche (z.B. Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Wald- und Forstwirtschaft) würden von einer präziseren Klimaprognose unter Berücksichtigung der multidekadischen Klimaoszillation profitieren. Eine lineare Klimaentwicklung hat es weder in den letzten 140 Jahren gegeben, noch ist sie für die Zukunft wahrscheinlich.

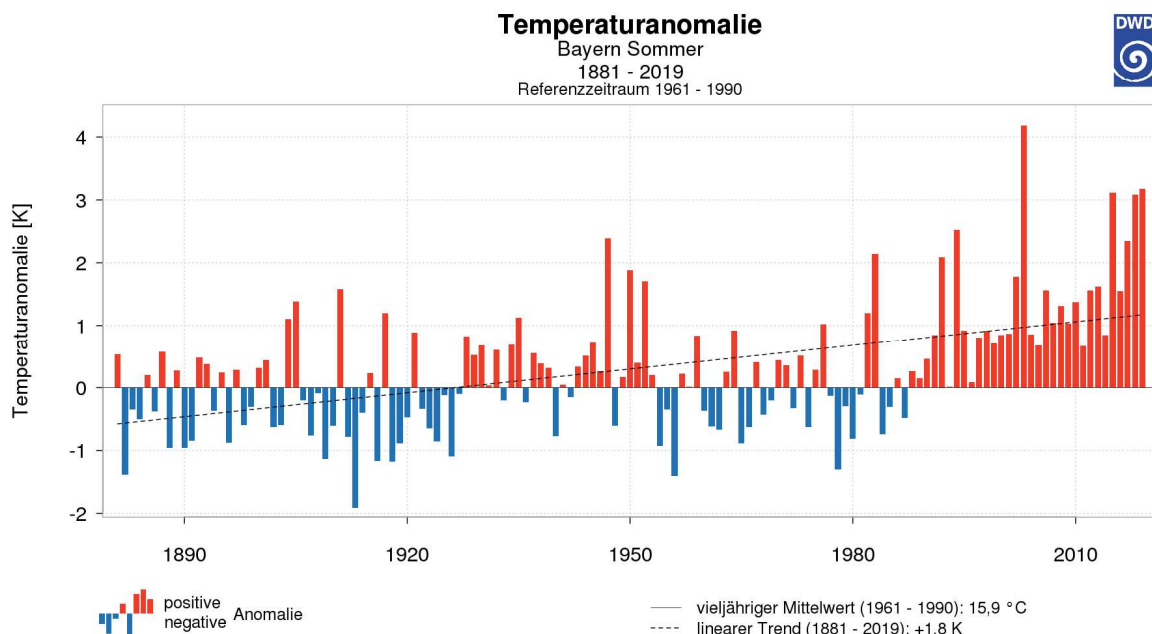


Abb. 7: Sommer-Temperaturentwicklung in Bayern seit 1880. Daten: Deutscher Wetterdienst (DWD).

WIND: Der Klima-Report Bayern 2015 enthält leider keine Informationen zur Wind-Entwicklung in Bayern (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, 2015). Es wird lediglich auf wechselnde Wind-Trends in Deutschland verwiesen, die aber statistisch nicht signifikant seien.

Wie bereits oben berichtet, fluktuierte die Sturmaktivität in Deutschland während der vergangenen 140 Jahre, jedoch ohne Langzeittrend. Und auch im benachbarten Österreich weist die Sturmtätigkeit im Verlauf der vergangenen 150 Jahre keinen Langzeittrend auf. Der 4. Österreichische Sachstandsbericht Klimawandel 2014 erklärt hierzu (APCC, 2014: Kapitel 3, Seite 280):

„Hier ergibt sich aus den Luftdruckzeitreihen der Stationen Kremsmünster, Prag und Wien [...] seit dem späten 19. Jahrhundert für Stürme eine hohe kurzfristige Streuung von Jahr zu Jahr, jedoch kein signifikanter Trend. Der Übergang vom 19. in das 20. Jahrhundert ist von starker Sturmtätigkeit geprägt, gefolgt von einigen Jahrzehnten mit unterdurchschnittlichem Sturmklima, welches sich gegen Ende des 20. Jahrhunderts wieder zu mehr Sturmtätigkeit entwickelt. [...] Es gibt also – trotz einiger herausragender Sturmereignisse in der jungen Vergangenheit – über längere Zeit betrachtet keine Sonderstellung der aktuellen (anthropogenen) Jahrzehnte, weder in Österreich noch in anderen untersuchten Regionen Europas.“

HEISSE TAGE UND TEMPERATUR-REKORDE:

Die ‚Heißen Tage‘ (>30°C) haben seit den 1950er Jahren um 8,4 Tage pro Jahr zugenommen (Wiki Klimawandel, 2019). Aber auch hier ist der längerfristige Kontext notwendig. Der wohl wärmste Sommer des letzten Jahrtausends in Westeuropa ereignete sich im Jahr 1540 (Možný et al., 2016; Wetter and Pfister, 2013). Leider fehlen Daten zu Hitzewellen und Dürren für die Mittelalterliche Wärmeperiode vor 1000 Jahren in Deutschland. Aus Gründen der Vergleichbarkeit („Äpfel mit Äpfeln...“) sollte die heutige Entwicklung mit früheren natürlichen Wärmeperioden und weniger mit außergewöhnlichen Kältephasen wie der Kleinen Eiszeit (14.-19 Jh.) in Relation gesetzt werden. Generell ist damit zu rechnen, dass extreme Hitze in Wärmeperioden häufiger auftritt als in Kältephasen (z.B. der Kleinen Eiszeit).

Die Frosttage haben seit den 1950er Jahren um 23,9 Tage pro Jahr und die Eistage um 13 Tage pro Jahr abgenommen (Wiki Klimawandel, 2019).

EXTREMWETTER:

Die Österreichische Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik ZAMG stellt fest, dass ein Trend zu extremerem Wetter in Österreich allgemein nicht feststellbar sei (ZAMG, 2019):

„Es sei der genauen Besprechung der Entwicklung von Extremwerten in den folgenden Abschnitten Hitze (Lufttemperatur) Starkniederschlag (Niederschlag) und Stürme (Wind) vorweggenommen, dass alles in allem das Klima in den letzten 200 Jahren nicht extremer geworden ist. Der einzigen geeigneten Grundlage für diese Behauptung – langen und qualitätsgeprüften Messdaten – zufolge blieb die Klimavariabilität im südlichen Mitteleuropa gleich oder sie ging sogar zurück.“

Ähnliches dürfte für das benachbarte Bayern gelten.

A2. Was sind speziell in Bayern Ursachen, die die Klimaerhitzung befördern?

Die globale Erwärmung geht auf eine Kombination von menschengemachten und natürlichen Ursachen zurück. Die Erwärmung in Bayern ist höher als der globale Mittelwert, weil sich Ozeangebiete wegen der Verdunstungskälte langsamer erwärmen als Landmassen. In Ballungsgebieten wie München kommt zudem der städtische Wärmeinseleffekt dazu. So liegen die Temperaturen der städtischen Wetterstation in München um 2-3°C über denen im Münchener Umland (**Abb. 8**).

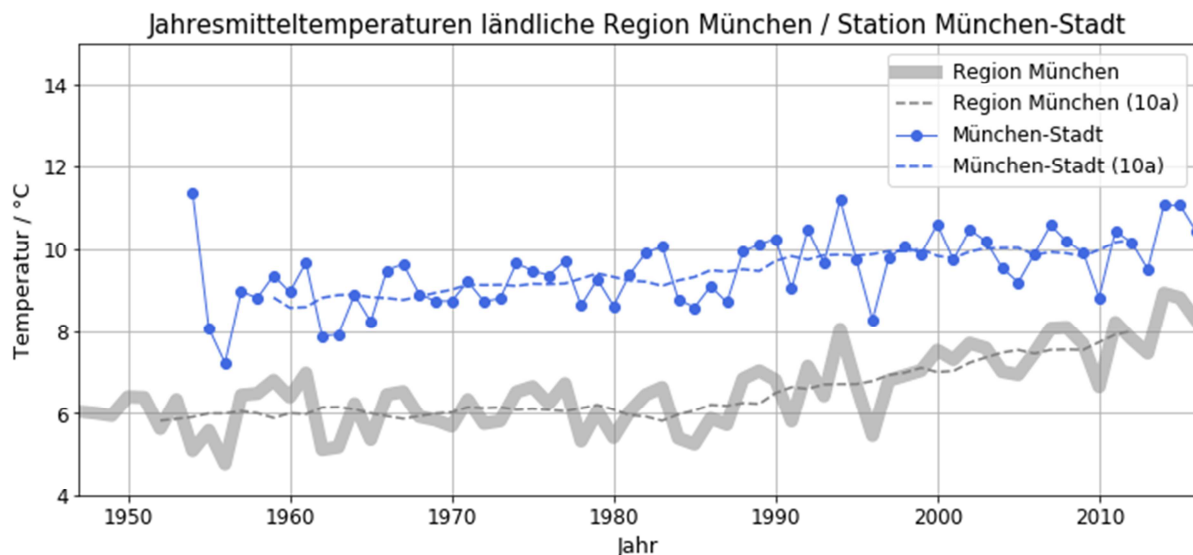


Abb. 8: Jahresmitteltemperaturen und 10-jährige gleitende Mittelwerte für die ländliche Region München (grau) und die Station München-Stadt (blau). Quelle: Olzem (2018)

A3. Wie hat sich in Bayern der Ausstoß von Treibhausgasen (THG) seit dem Referenzjahr 1990 entwickelt (Aufschlüsselung nach einzelnen Sektoren, betrachtet auch in einer Verursacherbilanz)?

Siehe z.B. Glauber (2017)

B. Auswirkungen

B1. Welche Regionen Bayerns sind besonders von der Klimaerhitzung betroffen? Inwiefern? und

B2. In welchen Mesoklimata (Städte / Alpenraum etc.) werden die Folgen der Klimaerhitzung besonders deutlich? Inwiefern?

Die höchsten Temperaturen sollten in tiefgelegenen Ballungsgebieten auftreten. In den Hochgebirgen liegen die Temperaturen naturgemäß niedriger. Der Begriff „Klimaerhitzung“ ist in der Wissenschaft nicht üblich bzw. unbekannt. Man spricht vielmehr von einer Klimaerwärmung.

B3. Welche Auswirkungen hat die Klimaerhitzung auf die Natur und Umwelt in Bayern? und

B4. Welche Auswirkungen hat die Klimaerhitzung auf den Menschen?

Da die Klimaerwärmung zu mehr Hitzewellen führt, sind mehr Hitzetote zu beklagen. Zu berücksichtigen ist jedoch auch, dass es deutlich heißere Gebiete in der Welt gibt, in denen sich Menschen an die Hitze durch Klimaanlage und andere Vorkehrungen an die Hitze anpassen. Durch die Abnahme der Frosttage in Deutschland geht die Anzahl der Kältetoten zurück. Eine Aufrechnung der beiden Trends ist aus ethischer Sicht problematisch.

B5. Welche Auswirkungen hat die Klimaerhitzung auf die bayerische Land- und Forstwirtschaft?

Ein höherer CO₂-Gehalt der Atmosphäre übt eine gewisse Düngewirkung auf das Pflanzenwachstum aus sowie steigert die Wassereffizienz. Im Rahmen einer Modellierungsstudie untersuchte Degener (2015) den Düngeeffekt von CO₂ an zehn Feldfrüchten in Norddeutschland. Unter Annahme von CO₂-Werten wie sie vom IPCC für 2100 vorhergesagt werden, fand Degener um bis zu 60% verbesserte Ernteerträge. Ähnliche Resultate sind sicher auch für Bayern zu erwarten.

Wiebe et al. (2015) führten eine Modellierungsstudie zur Entwicklung der Landwirtschaft bis 2050 unter verschiedenen IPCC-Emissionsszenarien durch. Im Business-as-Usual Szenario konnten die Modellierer keinen nennenswerten klimatischen Einflüsse auf die globale landwirtschaftliche Produktion feststellen. Zu einem ähnlichen Resultat kam eine andere Studie, die bei einer Erwärmung um zwei Grad kaum Folgen für die europäische Landwirtschaft feststellte (European Commission, 2014). Im Gegenteil, in der nahen Zukunft könnten die Ernten durch Innovationen (z.B. ertragreichere Sorten) und zusätzliche Regenfälle durch die Erderwärmung sogar steigen. Laut Untersuchungen von Pretzsch et al. (2018) wachsen Bäume im Klimawandel schneller, produzieren aber auch leichteres Holz. Dies gilt auch für Stadtbäume (Pretzsch et al., 2017). Der Mechanismus, dass Blätter aufgrund des veränderten Klimas früher austreiben, hat sich im Übrigen seit den 80er-Jahren abgeschwächt. Die Temperaturempfindlichkeit von Pflanzen auf den Klimawandel nimmt ab (Fu et al., 2015).

B6. Welche Auswirkungen hat die Klimaerhitzung auf die bayerische Wirtschaft?

Bislang sicherlich keine großen Auswirkungen.

B7. Wie schätzen Sie den finanziellen Schaden der Klimaerhitzung für Bayern ein – den bisher entstandenen und den prognostizierten?

Bislang dürfte kein großer Schaden entstanden sein. Einige Wirtschaftszweige könnten Nachteile haben, andere haben Vorteile.

B8. Was passiert, wenn eine weitere Klimaerhitzung nicht aufgehalten wird?

Zunächst sollte man die Klimaprognosen auf Basis realistischer und vorindustriell geeichter Klimamodelle neu berechnen. Man darf nicht vergessen, dass schlimmste Hitzeszenarien für Deutschland in weiter südlich gelegenen Ländern (Spanien, Italien) das heutige Normalklima darstellen. Wenn diese Länder mit einem solchen Klima klarkommen, sollte es Deutschland auch schaffen.

C. Maßnahmen

C1. Wie kann sich der Freistaat auf die Auswirkungen der Klimaerhitzung vorbereiten und die Schäden möglichst gering halten?

Zunächst sollte man die Klimaprognosen auf Basis realistischer und vorindustriell geeichter Klimamodelle neu berechnen. Es lohnt sich nicht in den Panikmodus zu verfallen, wenn die Grundlagen noch nicht wissenschaftlich festgezurr sind.

Wie kann der Freistaat Bayern eine effektive Klimapolitik betreiben?

a) Zu welchen konkreten Schritten soll sich die bayerische Staatsregierung verpflichten (aufgeteilt nach Sektoren: Wirtschaft, Verkehr, Umweltschutz, Land- und Forstwirtschaft, Wissenschaft etc)?

- Klimamodellierer warnen ausdrücklich davor, die neuesten Simulationsergebnisse als politische Entscheidungsgrundlage zu verwenden. Nach Berücksichtigung neuer Erkenntnisse der Schwefeldioxid-Aerosolforschung suggerieren Modelle viel zu hohe Erwärmungsraten.
- Angesichts zu erwartender hoher Investitionssummen und massiver Eingriffe in die Bayerische Wirtschaft und Gesellschaft sollten die drastischen Klimaprognosen erneut einer unabhängigen Überprüfung unterzogen werden, um den Gefährdungsgrad realistischer einschätzen zu können. Eine solche Überprüfung sollte dem 360°-Prinzip folgen und neben den Klimawarnern auch Vertreter gemäßigerer Ansichten einbeziehen. Dies ist umso wichtiger, da in den Medien stets dieselben Akteure zum Thema auftreten, während die schweigende Mehrheit der Forscher eher zurückhaltendere Töne anschlägt.
- Die aus Computersimulationen stammenden Klimaprognosen für Bayern und Europa können erst dann als politische Planungsgrundlage herangezogen werden, wenn sie erfolgreich mit den vorindustriellen Klimaschwankungen der zwei Jahrtausende kalibriert wurden, und damit in der Lage sind, valide globale und vor allem regionale Zukunftsprojektionen zu generieren. Die Schwächen der Modelle erlauben es nicht, Weichen für Entscheidungen zu stellen, die später kaum wieder zurückgenommen werden können.
- Insbesondere sollten die Modelle zunächst die natürlichen vorindustriellen europäischen Wärmephasen des Mittelalters und der Römerzeit reproduzieren können, bevor sie für

robuste Zukunftsprognosen einsatzbereit werden. Eine Rückwärtsmodellierung beginnend am Ende der Kleinen Eiszeit um 1850 greift zu kurz, da das Intervall keine rein natürlichen Wärmephasen enthält.

- Behörden, Politiker und Forscher müssen die enorme natürliche Klimavariabilität der vorindustriellen Zeit aktiv kommunizieren. Ein fortgesetztes Verschweigen setzt sie dem Vorwurf mangelnder Transparenz aus. Die Klimageschichte beginnt nicht erst am Ende der Kleinen Eiszeit um 1850. Auch die Klimadiskussion kann aus der Geschichte lernen, muss klimahistorische Fakten anerkennen und einbeziehen.
- Es wird empfohlen, ein gezieltes paläoklimatologisches Forschungsprogramm für Bayern aufzulegen, um dringend benötigte Kalibrierungsdaten für die Klimasimulationen zu erhalten. Die entsprechenden Methoden hierzu sind bereits entwickelt, so dass das Programm zügig starten und schnell Ergebnisse liefern könnte.
- Bei der Erstellung von Klimaprognosen sollten in der Vergangenheit gut belegte empirische Zusammenhänge mit einbezogen werden, etwa die systematischen Einflüsse der atlantischen multidekadischen Ozeanzyklen der AMO und NAO.
- Bei der Diskussion von Extremwetterdaten sollte es verpflichtend sein, die moderne Entwicklung stets im Kontext der Klimageschichte der letzten Jahrhunderte und Jahrtausende einzuordnen. Nur so kann festgestellt werden, ob ein Prozess bereits die natürliche Schwankungsbreite verlassen hat. Zu kurz gewählte Kontextintervalle stellen eine nicht statthafte 'Rosinenpickerei' dar und besitzen keine Aussagekraft für zukünftige Entwicklungen.
- Politische Maßnahmen sollten angesichts der großen Unsicherheiten im Bereich der Klimasimulationen vor allem auf „no regret“ Bereiche konzentrieren und dem Prinzip der Verhältnismäßigkeit folgen. Alarmismus ist hier fehl am Platz, stattdessen sollten alle gesellschaftlichen Herausforderungen gleichberechtigt behandelt werden und einer nüchternen Betrachtung von Aufwand und Nutzen genügen.

b) Welche Auswirkungen hatten die bisherigen Maßnahmen der Staatsregierung?

Maßnahmen zur Energieeffizienz und zum Ressourcenschutz sind positiv und sollten fortgeführt werden.

c) Wie können schon bis zum Jahr 2035 in Bayern die Klimaziele erreicht werden, die unter anderem die Fridays for Future-Bewegung fordert (Treibhausgasausstoß-Nettonull bis 2035)?

Die Friday-for-Future-Bewegung (FfF) besteht überwiegend aus jungen Menschen, die weder einen Schul- noch Universitätsabschluss besitzen. Insofern sind sie von externen Beratern abhängig, die jedoch fast ausschließlich in die Kategorie Wissenschafts-Klimaaktivisten fallen. Hierzu gehören beispielsweise Johan Rockström und Stefan Rahmstorf vom Potsdamer Klimafolgeninstituts (PIK) sowie Kevin Anderson (Universität Manchester).

Würde man das Thema Klimageschichte der letzten 10.000 Jahre zum Pflicht-Unterricht in der Schule befördern, wäre viel gewonnen. Während im Geschichtsunterricht der Stoff in der Steinzeit beginnt und griechische und römische Geschichte umfasst, gibt man sich im Bereich Klima mit der Zeitspanne ab 1850 zufrieden, was den Kontext stark verzerrt. Didaktische Planungsfehler wie diese haben zur unnötigen Extremisierung der Debatte beigetragen. Die Forderungen von FfF sind unrealistisch und wenig ausgereift. Die Politik sollte sich nicht von den Aktivisten vor sich hertreiben lassen.

d) Welche Maßnahmen können die Bürgerinnen und Bürger selbst treffen?

Sämtliche Maßnahmen zur Energieeffizienz und zum Ressourcenschutz sind positiv und sollten von den Bürgern beherzigt werden. Antrieb der Verhaltensänderungen sollten gute Argumente, keine ausufernde Verbotskultur.

Autor

Dr. habil. Sebastian Lüning studierte Geologie/Paläontologie an der Universität Göttingen. Seine Promotion und Habilitation in diesem Fach erlangte er an der Universität Bremen. Für Vordiplom, Doktorarbeit und Habilitation erhielt Lüning jeweils Studienpreise. Während seiner Postdoc-Zeit arbeitete er zu ökologischen Sauerstoffmangelsituationen während der Erdgeschichte. Seit 2007 ist Lüning hauptberuflich in der konventionellen Energiebranche tätig. Die Beschäftigung mit dem Thema Klimawandel erfolgt ausschließlich in privater Funktion, in Fortsetzung seiner langjährigen Vollzeit-Forschertätigkeit. Diese Forschung ist vollständig unabhängig und wurde weder von der Industrie beauftragt, noch von ihr gefördert. Im Jahr 2012 veröffentlichte Lüning zusammen mit Fritz Vahrenholt das Buch „Die kalte Sonne“, in dem die Autoren für eine stärkere Berücksichtigung der natürlichen Klimaantriebe plädierten. Viele der damals vorgeschlagenen Kritikpunkte wurden mittlerweile von den Klimawissenschaften anerkannt, z.B. die systematische Rolle der 60-jährigen Ozeanzyklen, die ursprünglich überhöht angesetzte Kühlwirkung der Aerosole sowie das Auseinanderklaffen von realer und simulierter Klimaentwicklung. Eines der im Buch vorgestellten Szenarien beschreibt eine CO₂-Klimasensitivität von 1,5°C, was dem unteren Rand der IPCC-Spanne von 1,5-4,5°C entspricht. Die Fachdiskussion der letzten Jahre deutet an, dass dieses Niedrig-Szenario durchaus bald konsensfähig werden könnte. Sebastian Lüning ist mit dem Institut für Hydrographie, Geoökologie und Klimawissenschaften (IFHGK) in der Schweiz assoziiert und wirkte als offizieller Gutachter an den IPCC-Sonderberichten zum 1,5 Grad-Ziel sowie zu Ozeanen & Kryosphäre (SROCC) mit. Zudem ist Lüning offizieller Gutachter des derzeit entstehenden 6. IPCC Klimazustandsberichts. Zu Lünings aktuellen Forschungsschwerpunkten gehören die globale Kartierung der Mittelalterlichen Klimaanomale (Lüning et al., 2017; Lüning et al., 2018; Lüning et al., 2019a; Lüning et al., 2019b; Lüning et al., 2019c; Lüning et al., 2019d) und des Holozänen Thermischen Maximums (Lüning and Vahrenholt, 2017; Lüning and Vahrenholt, 2019), sowie die Analyse natürlicher Klimaprozesse im Zusammenspiel mit anthropogenen Klimaantrieben (Laurenz et al., 2019; Lüning and Vahrenholt, 2016). Weitere Informationen auf www.luening.info.

Literatur

- APCC, 2014, Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14), Wien, Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, http://austriaca.at/APCC_AAR2014.pdf.
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, 2015, Klima-Report Bayern 2015: <https://www.stmuv.bayern.de/themen/klimaschutz/forschung/klimareport2015.htm>, p. 200.
- Blöschl, G., Hall, J., Parajka, J., Perdigão, R. A. P., Merz, B., Arheimer, B., Aronica, G. T., Bilibashi, A., Bonacci, O., Borga, M., Čanjevac, I., Castellarin, A., Chirico, G. B., Claps, P., Fiala, K., Frolova, N., Gorbachova, L., Gül, A., Hannaford, J., Harrigan, S., Kireeva, M., Kiss, A., Kjeldsen, T. R., Kohnová, S., Koskela, J. J., Ledvinka, O., Macdonald, N., Mavrova-Guirguinova, M., Mediero, L., Merz, R., Molnar, P., Montanari, A., Murphy, C., Osuch, M., Ovcharuk, V., Radevski, I., Rogger, M., Salinas, J. L., Sauquet, E., Šraj, M., Szolgay, J., Viglione, A., Volpi, E., Wilson, D., Zaimi, K., and Živković, N., 2017, Changing climate shifts timing of European floods: *Science*, v. 357, no. 6351, p. 588-590.
- Brunner, K., 2004, Die Seegfrörnen des Bodensees: Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung, v. 122, p. 71-84.
- Carter, V. A., Moravcová, A., Chiverrell, R. C., Clear, J. L., Finsinger, W., Dreslerová, D., Halsall, K., and Kuneš, P., 2018, Holocene-scale fire dynamics of central European temperate spruce-beech forests: *Quaternary Science Reviews*, v. 191, p. 15-30.
- CH2018, 2018, Climate Scenarios for Switzerland, Zürich, Technical Report, National Centre for Climate Services.
- Degener, J. F., 2015, Atmospheric CO₂ fertilization effects on biomass yields of 10 crops in northern Germany: *Frontiers in Environmental Science*, v. 3.
- DWD, 2014, Deutscher Wetterdienst zum neuen Bericht des Weltklimarats (IPCC): Auch Deutschland benötigt Empfehlungen zur Anpassung an den Klimawandel: https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/functions/aktuellemeldungen/140331_ipcc_bericht.html.
- European Commission, 2014, Climate Impacts in Europe: The JRC PESETA II Project: <https://doi.org/10.2791/7409>
- Forster, P. M., Maycock, A. C., McKenna, C. M., and Smith, C. J., 2019, Latest climate models confirm need for urgent mitigation: *Nature Climate Change*.
- Fu, Y. H., Zhao, H., Piao, S., Peaucelle, M., Peng, S., Zhou, G., Ciais, P., Huang, M., Menzel, A., Peñuelas, J., Song, Y., Vitasse, Y., Zeng, Z., and Janssens, I. A., 2015, Declining global warming effects on the phenology of spring leaf unfolding: *Nature*, v. 526, no. 7571, p. 104-107.
- Glauber, S., 2017, Treibhausgasemissionen in Bayern: *Bayern in Zahlen*, v. 5, p. 298-308.
- Heiri, O., Ilyashuk, B., Millet, L., Samartin, S., and Lotter, A. F., 2015, Stacking of discontinuous regional palaeoclimate records: Chironomid-based summer temperatures from the Alpine region: *The Holocene*, v. 25, no. 1, p. 137-149.
- Herring, S. C., Hoerling, M. P., Peterson, T. C., and Stott, P. A., 2014, Explaining Extreme Events of 2013 from a Climate Perspective: *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 95, no. 9, p. S1-S104.
- Holzhauser, H., Magny, M., and Zumbuühl, H. J., 2005, Glacier and lake-level variations in west-central Europe over the last 3500 years: *The Holocene*, v. 15, no. 6, p. 789-801.
- IPCC, 2012, Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change and adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- , 2018, Special Report on global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways: <http://www.ipcc.ch/report/sr15/>.
- Knight, J. R., Folland, C. K., and Scaife, A. A., 2006, Climate impacts of the Atlantic Multidecadal Oscillation: *Geophysical Research Letters*, v. 33, no. 17.
- Larsen, N. K., Kjær, K. H., Lecavalier, B., Bjørk, A. A., Colding, S., Huybrechts, P., Jakobsen, K. E., Kjeldsen, K. K., Knudsen, K.-L., Odgaard, B. V., and Olsen, J., 2015, The

- response of the southern Greenland ice sheet to the Holocene thermal maximum: *Geology*, v. 43, no. 4, p. 291-294.
- Laurenz, L., Lüdecke, H.-J., and Lüning, S., 2019, Influence of solar activity changes on European rainfall: *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, v. 185, p. 29-42.
- Lehmann, J., and Coumou, D., 2015, The influence of mid-latitude storm tracks on hot, cold, dry and wet extremes: *Scientific Reports*, v. 5, p. 17491.
- Lüning, S., and Vahrenholt, F., 2016, Chapter 16 - The Sun's Role in Climate A2 - Easterbrook, Don J, *Evidence-Based Climate Science (Second Edition)*, Elsevier, p. 283-305.
- Lüning, S., Gałka, M., and Vahrenholt, F., 2017, Warming and Cooling: The Medieval Climate Anomaly in Africa and Arabia: *Paleoceanography*, v. 32, no. 11, p. 1219-1235.
- Lüning, S., and Vahrenholt, F., 2017, Paleoclimatological Context and Reference Level of the 2°C and 1.5°C Paris Agreement Long-Term Temperature Limits: *Frontiers in Earth Science*, v. 5, no. 104.
- Lüning, S., Gałka, M., Danladi, I. B., Adagunodo, T. A., and Vahrenholt, F., 2018, Hydroclimate in Africa during the Medieval Climate Anomaly: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 495, p. 309-322.
- Lüning, S., Gałka, M., Bamonte, F. P., Rodríguez, F. G., and Vahrenholt, F., 2019a, The Medieval Climate Anomaly in South America: *Quaternary International*, v. 508, p. 70-87.
- Lüning, S., Gałka, M., García-Rodríguez, F., and Vahrenholt, F., 2019b, The Medieval Climate Anomaly in Oceania: *Environmental Reviews*.
- Lüning, S., Gałka, M., and Vahrenholt, F., 2019c, The Medieval Climate Anomaly in Antarctica: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 532, p. 109251.
- Lüning, S., Schulte, L., Garcés-Pastor, S., Danladi, I. B., and Gałka, M., 2019d, The Medieval Climate Anomaly in the Mediterranean Region: *Paleoceanography and Paleoclimatology*, v. 34, no. 10, p. 1625-1649.
- Lüning, S., and Vahrenholt, F., 2019, Holocene Climate Development of North Africa and the Arabian Peninsula, *in* Bendaoud, A., Hamimi, Z., Hamoudi, M., Djemai, S., and Zoheir, B., eds., *The Geology of the Arab World---An Overview*: Cham, Springer International Publishing, p. 507-546.
- Malavelle, F. F., Haywood, J. M., Jones, A., Gettelman, A., Clarisse, L., Bauduin, S., Allan, R. P., Karset, I. H. H., Kristjánsson, J. E., Oreopoulos, L., Cho, N., Lee, D., Bellouin, N., Boucher, O., Grosvenor, D. P., Carslaw, K. S., Dhomse, S., Mann, G. W., Schmidt, A., Coe, H., Hartley, M. E., Dalvi, M., Hill, A. A., Johnson, B. T., Johnson, C. E., Knight, J. R., O'Connor, F. M., Partridge, D. G., Stier, P., Myhre, G., Platnick, S., Stephens, G. L., Takahashi, H., and Thordarson, T., 2017, Strong constraints on aerosol–cloud interactions from volcanic eruptions: *Nature*, v. 546, p. 485.
- Mangini, A., Spötl, C., and Verdesa, P., 2005, Reconstruction of temperature in the Central Alps during the past 2000 yr from a delta18O stalagmite record: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 235, p. 741-751.
- Marcott, S. A., Shakun, J. D., Clark, P. U., and Mix, A. C., 2013, A Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11,300 Years: *Science*, v. 339, no. 6124, p. 1198-1201.
- Možný, M., Brázdil, R., Dobrovolný, P., and Trnka, M., 2016, April–August temperatures in the Czech Lands, 1499–2015, reconstructed from grape-harvest dates: *Clim. Past*, v. 12, no. 7, p. 1421-1434.
- MPIM, 2019, Wurde das Klima der jüngsten Vergangenheit von der veränderten Sonneneinstrahlung mitgeprägt?: <https://www.mpimet.mpg.de/kommunikation/fragen-zu-klima-faq/wurde-das-klima-der-juengsten-vergangenheit-von-der-veraenderten-sonneneinstrahlung-mitgepraegt/>.
- Mudelsee, M., and Tetzlaff, G., 2006, Hochwasser und Niederschlag in Deutschland: Die Notwendigkeit von Lanfristbeobachtungen unter räumlicher Hochoauflösung: 6. Deutsche Klimatagung, München.

- Neue Osnabrücker Zeitung, 2012, Klimaforscher Latif: Biosprit E10 ist Blödsinn: Artikel vom 12.9.2012, <https://www.noz.de/deutschland-welt/niedersachsen/artikel/98729/klimaforscher-latif-biosprit-e10-ist-blodsinn>.
- Nicolussi, K., and Patzelt, G., 2000, Discovery of early Holocene wood and peat on the forefield of the Pasterze Glacier, Eastern Alps, Austria: *The Holocene*, v. 10, no. 2, p. 191-199.
- Nicolussi, K., and Kerschner, H., 2014, Lateglacial and Holocene advance record of the Gepatschferner, Kaunertal, Tyrol, *in* Kerschner, H., Krainer, K., and Spötl, C., eds., *From the foreland to the Central Alps*, Geozon, p. 144-151.
- O'Reilly, C. H., Woollings, T., and Zanna, L., 2017, The Dynamical Influence of the Atlantic Multidecadal Oscillation on Continental Climate: *Journal of Climate*, v. 30, no. 18, p. 7213-7230.
- Olzem, J., 2018, Der städtische Wärmeineffekt in Deutschland – Teil 3: <https://kaltesonne.de/der-stadtische-waermeineffekt-in-deutschland-teil-3/>.
- Pretzsch, H., Biber, P., Uhl, E., Dahlhausen, J., Schütze, G., Perkins, D., Rötzer, T., Caldentey, J., Koike, T., Con, T. v., Chavanne, A., Toit, B. d., Foster, K., and Lefer, B., 2017, Climate change accelerates growth of urban trees in metropolises worldwide: *Scientific Reports*, v. 7, no. 1, p. 15403.
- Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., Kemmerer, J., and Uhl, E., 2018, Wood density reduced while wood volume growth accelerated in Central European forests since 1870: *Forest Ecology and Management*, v. 429, p. 589-616.
- Richter, A., Groh, A., and Dietrich, R., 2012, Geodetic observation of sea-level change and crustal deformation in the Baltic Sea region: *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, v. 53-54, p. 43-53.
- Schimmelpfennig, I., Schaefer, J. M., Akçar, N., Koffman, T., Ivy-Ochs, S., Schwartz, R., Finkel, R. C., Zimmerman, S., and Schlüchter, C., 2014, A chronology of Holocene and Little Ice Age glacier culminations of the Steingletscher, Central Alps, Switzerland, based on high-sensitivity beryllium-10 moraine dating: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 393, p. 220-230.
- Schmocker-Fackel, P., and Naef, F., 2010, Changes in flood frequencies in Switzerland since 1500: *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 14, no. 8, p. 1581-1594.
- Umweltbundesamt, 2015, Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel, Dessau-Roßlau.
- Voosen, P., 2019, New climate models predict a warming surge: *Science*, v. 16 April 2019.
- Wahl, T., Haigh, I. D., Woodworth, P. L., Albrecht, F., Dillingh, D., Jensen, J., Nicholls, R. J., Weisse, R., and Wöppelmann, G., 2013, Observed mean sea level changes around the North Sea coastline from 1800 to present: *Earth-Science Reviews*, v. 124, p. 51-67.
- Wetter, O., and Pfister, C., 2013, An underestimated record breaking event - why summer 1540 was very likely warmer than 2003: *Climate of the Past*, v. 9, p. 41-56.
- Wiebe, K., Lotze-Campen, H., Sands, R., Tabeau, A., van der Mensbrugghe, D., Biewald, A., Bodirsky, B., Islam, S., Kavallari, A., Mason-D'Croz, D., Müller, C., Popp, A., Robertson, R., Robinson, S., van Meijl, H., and Willenbockel, D., 2015, Climate change impacts on agriculture in 2050 under a range of plausible socioeconomic and emissions scenarios: *Environmental Research Letters*, v. 10, no. 8, p. 085010.
- Wiki Klimawandel, 2019, Klimaänderungen in Bayern: https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Klima%C3%A4nderungen_in_Bayern.
- ZAMG, 2019, Das Klima unter Generalverdacht: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimavergangenheit/neoklima/extremwerte>.