

Klimawandel im Industriezeitalter: global, Deutschland, Hessen

CHRISTIAN-D. SCHÖNWIESE

Klima, Klimawandel, Temperatur, Niederschlag, Ursachen, Auswirkungen, Maßnahmen

Zusammenfassung: Vor dem Hintergrund des wesentlich weiter zurückreichenden Paläoklimas werden die wichtigsten Phänomene des Klimawandels im Industriezeitalter (ab ca. 1800/1850) global sowie regional in Deutschland bzw. Hessen beschrieben. Dabei liegt der Schwerpunkt auf Temperatur und Niederschlag. Es folgt eine Ursachendiskussion. Dabei ist wichtig, zwischen natürlichen und anthropogenen Ursachen zu unterscheiden. Bei den Auswirkungen sind Langfristrends und Extremereignisse von besonderer Bedeutung. Schließlich erfolgt ein Blick auf notwendig erscheinende Klimaschutzmaßnahmen.

Climate change within industrial time: global, Germany, Hesse

Climate, climate change, temperature, precipitation, forcing, impact, actions

Abstract: Being aware of the paleoclimatic background which covers much more time the most important climate change phenomena within the industrial era (since approx. 1800/1850) are described. This is done both on a global and regional scale addressing Germany and Hesse. There is a focus on temperature and precipitation. It follows a forcing discussion. Thereby, it is important to discern between natural and anthropogenic causes. Considering climate impact, long-term trends and extreme events are of special interest. Finally, climate protection actions are addressed which appear to be necessary.

Inhaltsverzeichnis

1	Wetter und Klima – Eine Einführung	113
2	Paläoklimatologischer Hintergrund	114
3	Phänomene des globalen Klimawandels	116
4	Klimawandel in Deutschland und Hessen	118
5	Ursachendiskussion	123
6	Extremereignisse	126
7	Auswirkungen	127
8	Schlussfolgerungen	128
9	Literaturverzeichnis	129

1 Wetter und Klima – Eine Einführung

Im Gegensatz zum Wetter, das wir täglich erleben und das mit Hilfe von Modellen für einige Tage, maximal ca. zwei Wochen, vorhersagbar ist und praktisch immer

regional betrachtet wird, ist das Klima als Langzeitstatistik der Wetterphänomene, genauer der Wetterelemente wie Temperatur, Bewölkung, Niederschlag usw., definiert (SCHÖNWIESE 2020a). Das kann global, was beim Klima sehr häufig der Fall ist, oder regional geschehen. Zur Statistik gehören Mittelwerte bzw. Trends, falls die Mittelwerte nicht konstant sind, sowie Varianz, Häufigkeitsverteilungen und Eintrittswahrscheinlichkeiten von Extremwerten. Langzeitlich bedeutet nach internationaler Konvention mindestens 30 Jahre, wozu die sog. Klimanormalwerte der Bezugsperiode 1961–1990 gehören, aber auch wesentlich darüber hinaus, wie Jahrhunderte sowie paläoklimatologisch Jahrtausende, Jahrmillionen und letztlich Jahrmilliarden (SCHÖNWIESE 2020a,b).

Wichtig ist dabei, dass langzeitliche Mittelungen die Varianz wesentlich verringern, aber z. B. Temperaturtrends von dann eventuell nur noch einigen zehntel Grad trotzdem klimatologisch sehr bedeutsam sein können, im Gegensatz zu den i. a. viel größeren Temperaturschwankungen beim Wetter. Beispielsweise reagieren Gebirgsgletscher kaum merklich auf Temperaturunterschiede von 10 °C und mehr zwischen Tag und Nacht, ziehen sich jedoch deutlich zurück oder stoßen vor, wenn über Jahrzehnte systematisch Erwärmungen bzw. Abkühlungen von nur einigen zehntel Grad Celsius auftreten.

Wesentlich ist auch der Unterschied zwischen Wetter- und Klimamodellen, insbesondere bei der Vorhersage. Gemeint sind hier meteorologische Modelle, die aus physikalischen Gleichungssystemen bestehen und im aufwändigsten Fall in möglichst guter räumlicher Auflösung die atmosphärische und ozeanische Zirkulation dreidimensional simulieren (Atmosphere-Ocean General Circulation Models, AOGCM). Die atmosphärische Zirkulation steuert nämlich Luftdruck, Temperatur, Bewölkung, Niederschlag usw. Während nun aber bei der Wettervorhersage ausgehend von einem gemessenen „Anfangszustand“ schrittweise in die Zukunft gerechnet wird (sog. „Anfangswertproblem“) und dabei nach maximal ca. 2 Wochen keine realistischen Ergebnisse mehr erzielt werden, gehen Klimamodelle von bestimmten atmosphärischen Zuständen, z. B. hinsichtlich der atmosphärischen Zusammensetzung, aus und simulieren, wie das Klima z. B. auf eine Änderung dieser Zusammensetzung reagieren würde (sog. „Randwertproblem“). Man gelangt dann nicht zu definitiven Vorhersagen wie beim Wetter, sondern – basierend auf alternativen Annahmen, den sog. Szenarien – bedingten Zustandsänderungen, also Wenn-Dann-Aussagen. Aufgrund dieses wesentlichen Unterschiedes vermeiden die Klimatologen den Begriff „Klimavorhersage“ und sprechen stattdessen von einer bedingten Klima-„Projektion“.

2 Paläoklimatologischer Hintergrund

Die Erde ist rund 4,6 Mrd. Jahre alt und die indirekten Klimarekonstruktionsmethoden der Paläoklimatologie reichen maximal 3,8 Mrd. Jahre zurück (OSCH-

MANN 2016, SCHÖNWIESE 2020a). Sie betreffen primär die Temperatur und sind für diese frühe Zeit noch sehr ungenau und wenig quantitativ. Erst für die letzten maximal ca. 100 Jahrmillionen, mit Hilfe von Tiefseeboden-Sedimentbohrungen, und insbesondere knapp die letzte Jahrmillion, mit Hilfe von Polareisbohrungen, ändert sich das. Ein wichtiges Hilfsmittel sind dabei Isotopenanalysen, vor allem hinsichtlich der Relation O^{18}/O^{16} , also der Sauerstoff-Isotope mit den Massenzahlen 18 und 16, die temperaturabhängig ist (bei Kalk-bildenden Mikroorganismen in den Ozeanboden-Sedimenten bzw. beim Polareis). Das Polareis enthält darüber hinaus Informationen u. a. über die Zusammensetzung der Atmosphäre, vor allem hinsichtlich der klimawirksamen Spurengase Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und auch Distickstoffoxid (Lachgas, N_2O), aufgrund im Eis eingeschlossener Luftblasen, sowie u. a. über den Vulkanismus (aufgrund im Eis enthaltener Staubhorizonte; IPCC 2014).

Diese Analysetechnik und eine Vielfalt weiterer Methoden der Paläoklimatologie zeigen, in grober Zusammenfassung, folgenden zeitlichen Verlauf des Klimawandels (Details siehe IPCC 2014, OSCHMANN 2016, SCHÖNWIESE 2020a,b u. v. a.):

- Zunächst extrem heißes Klima mit allmählicher Abkühlung; vor ca. 2,3 Mrd. Jahren erstmals Auftreten von Eis an der Erdoberfläche.
- Dann Wechsel von relativ langen eisfreien Zuständen (akryogenes Warmklima) und Episoden von jeweils einigen Jahrmillionen Dauer mit Eisvorkommen in den Polargebieten und Hochgebirgen, die sog. Eiszeitalter. Vor 2–3 Jahrmillionen hat das Quartäre Eiszeitalter begonnen, in dem wir noch heute leben.
- Innerhalb der Eiszeitalter Abfolge von relativ kalten und relativ warmen Epochen, den Kalt- („Eis“-) und Warmzeiten; nach der Würm-Kaltzeit leben wir seit rund 11600 Jahren in einer Warmzeit, dem Holozän, das im langzeitlichen Mittel ca. 4–5 °C wärmer ist als die kältesten Phasen der Würm-Kaltzeit. Dieser Temperaturunterschied führte in der letzten Kaltzeit zu kilometerdicken Eisbedeckungen u. a. im heutigen Kanada und Skandinavien.
- Innerhalb des Holozän relativ geringe Schwankungen, zuletzt „Mittelalterliche Warmphase“ ca. 950–1250 n. C. (im globalen Mittel ähnlich warm wie heute, d. h. wie 1961–1990, in Deutschland ca. 0,5 °C wärmer) und sog. „Kleine Eiszeit“ ca. 1300–1900 n. C. (im globalen Mittel ca. 0,5 °C kälter als heute, in Deutschland ca. 1 °C).
- Zwischen ca. 1850 und 1900 beginnende „globale Erwärmung“ des Industriezeitalters.

Da regional ab ca. 1650 (England), in Deutschland seit 1761 und global in hinreichend guter räumlicher Abdeckung ab ca. 1850 direkt gemessene Temperaturdaten zur Verfügung stehen, später u. a. auch des Niederschlags, ist die „globale Erwärmung“ seit dieser Zeit direkt und vergleichsweise sehr genau erfassbar (Neoklimatologie). Seit der neolithischen Revolution, d. h. dem Sesshaft-Werden

der Menschheit (zuerst in Mesopotamien seit ca. 7000 Jahren) gibt es menschliche Einflüsse auf das Klima (Waldrodungen, beginnender Ackerbau und Viehzucht, Anlage von Siedlungen, somit Veränderung der Stoff- und Energieumsätze an der Erdoberfläche), dies allerdings zunächst nur regional und sehr allmählich. Das hat sich seit der industriellen Revolution gründlich geändert. Sie wird, nach der Erfindung der Dampfmaschine (1769), ab ca. 1800/1850 angesetzt und wird wegen der seit damals stürmischen industriellen Entwicklung Industriezeitalter genannt. Das ging Hand in Hand mit der globalen anthropogenen Veränderung der atmosphärischen Zusammensetzung, insbesondere dem Anstieg der CO₂-Konzentration als Folge der Nutzung fossiler Energieträger. CRUTZEN (2002) spricht daher ab 1800 vom „Anthropozän“ (siehe auch STEFFEN et al. 2007).

3 Phänomene des globalen Klimawandels

Das auffälligste und wichtigste Merkmal des globalen Klimawandels im Industriezeitalter ist der Anstieg der bodennahen Lufttemperatur. Er ist global gemittelt (Landgebiete und Ozeane) im jährlichen Verlauf ab 1850 in Abbildung 1 zu sehen, und zwar in Form von Anomalien, d. h. Abweichungen vom Referenzintervall 1961–1990, nach CRU 2021 (Climatic Research Unit, University of East Anglia, Norwich, UK) und 20-jährig geglätteten Daten, um auch die Fluktuationen zu zeigen. Zwei weitere derartige Datenquellen, allerdings erst ab 1880, sind GISS (Godard Institute for Space Studies) und NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, beide USA). Der Langfristtrend 1880–2020 liegt dabei recht einheitlich bei 1,1 bis 1,2 °C. Er ist übrigens nicht linear, d. h. wird nicht durch eine Gerade beschrieben, sondern besser durch eine Kurve (was mathematisch durch Hinzunahme eines quadratischen Terms in der Regressionsgleichung geschieht; dadurch entsteht ein sog. Polynom und aus dem linearen wird ein polynomialer Trend). Die Abbildung 1 zeigt allerdings auch, dass die langfristige Erwärmung erst nach dem relativen Minimum im Jahr 1904 begonnen hat und von Fluktuationen und Jahresanomalien überlagert ist. Die Fluktuationen überwiegen vor 1904 und weisen danach hauptsächlich zwei Erwärmungsphasen auf, nämlich 1904–1944 und ab 1964, dazwischen unterbrochen von einer leichten Abkühlung. Bei den Jahresanomalien sind vor allem die relativen Maxima 1878, 1944, 1998 und der bisherige Rekord 2016 erwähnenswert. 2020 lag die Temperatur nur sehr knapp unter diesem Rekord.

Die Frage, ob die Erwärmung wirklich „global“ ist, muss mit „nein“ beantwortet werden. Abbildung 2, wo die regionalen Strukturen der Temperaturänderungen 1880–2020 erkennbar sind (nach GISS 2021), weist nämlich ausgeprägte Unterschiede auf, so dass die Trends von ca. - 0,5 °C (kleinräumig im nördlichen Nordatlantik südlich von Grönland) bis über + 4 °C (großräumig in der nördlichen Subpolarzone) reichen. Schon hier zeigt sich, dass die Erwärmung in Deutschland

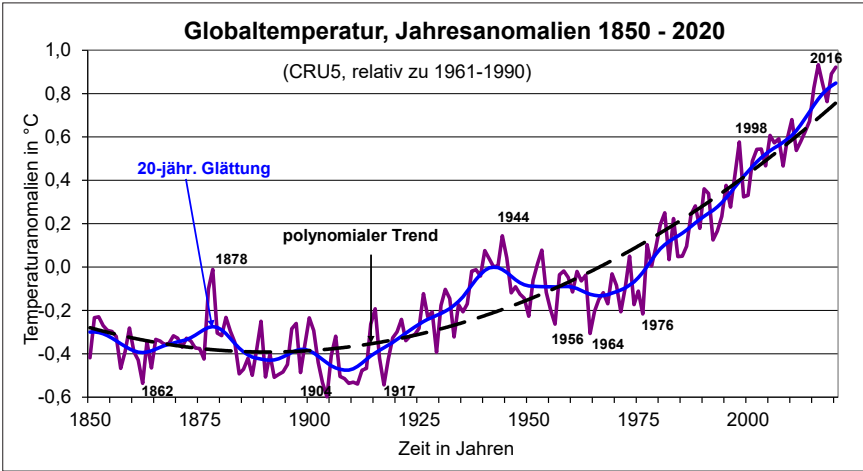


Abbildung 1: Anomalien 1850–2020 (relativ zur Bezugsperiode 1961–1990) der global gemittelten bodennahen Lufttemperatur (Landgebiete und Ozeane) mit 20-jährig geglätteten Daten und polynomialem Trend; Datenquelle: CRU (2021).

Figure 1: Anomalies 1850–2020 (relative to the reference period 1961–1990) of the globally averaged air temperature near surface (land and ocean) including 20-year smoothed data and polynomial trend; data source: CRU (2021).

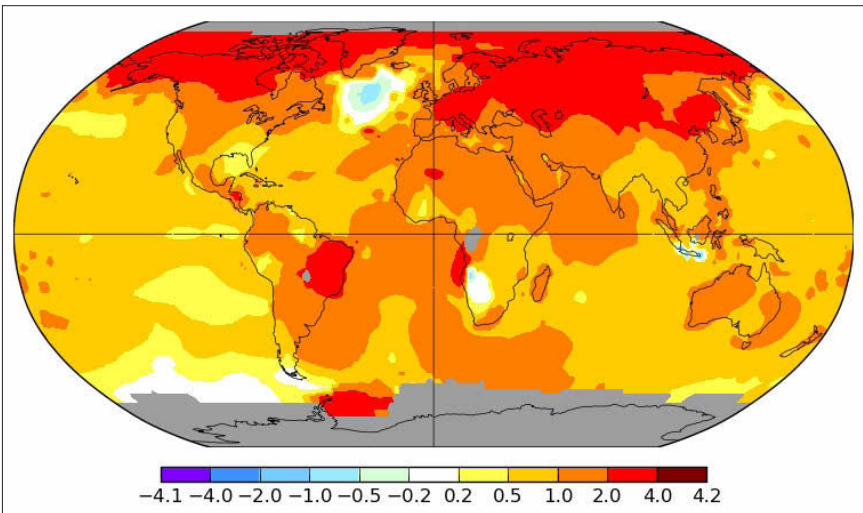


Abbildung 2: Regionale Strukturen der linearen globalen bodennahen Lufttemperatortrends 1880–2020; Datenquelle: GISS (2021).

Figure 2: Regional structures of the linear global air temperature trends near surface 1880– 2020; data source: GISS (2021).

relativ hoch gewesen ist. Insgesamt muss man also statt von „globaler Erwärmung“ genauer von einer im globalen Mittel erkennbaren Erwärmung mit deutlichen regionalen Strukturen und Besonderheiten sprechen.

Beim Niederschlag erweist es sich als wenig sinnvoll, einen global gemittelten Trend angeben zu wollen, da wir es mit sehr unterschiedlichen regionalen Umverteilungen zu tun haben (IPCC 2014), die sich bei globaler Mittelung annähernd ausgleichen. Allerdings sparen die verfügbaren Datensätze die Ozeangebiete wegen dort sehr problematischen und wohl auch fehlerhaften Messungen aus. Die von manchen Wissenschaftlern bei großräumiger Erwärmung erwartete Intensivierung des Wasserkreislaufs, die sich in steigenden Niederschlags- und Verdunstungstrends zeigen sollte, ist auf den Landgebieten nicht erkennbar; denn nach IPCC (2007, 2014) ist dort der global gemittelte Niederschlag unter Fluktuationen von 1900 bis ungefähr 1955 um ca. 60 mm angestiegen, danach bis ungefähr 1995 um den gleichen Betrag gefallen und jüngst wieder etwas angestiegen, wobei der mittlere Globalwert (Land) bei rund 750 mm liegt (mit mm = Liter pro Quadratmeter; LIEBSCHER 2002). Bei den wichtigeren regionalen Umverteilungen sind, wiederum über Land, 1950–2000 Zunahmen vor allem in großen Teilen Amerikas (mit Ausnahme des Nordwestens), Nord- und Nordwesteuropa, Teilen Asiens und Australiens mit Ausnahme des Ostens und Südostens erkennbar, Abnahmen dagegen vor allem in den Subtropenzone Mittelamerikas und des Mittelmeerraums, Teilen Indiens und des ganzen östlichen Küstenstreifens Asiens, dem überwiegenden Bereich Indonesiens und vor allem sehr ausgeprägt in Afrika (Karte dazu siehe SCHÖNWIESE 2020a,b).

4 Klimawandel in Deutschland und Hessen

RAPP (2000) hat die Temperatur-Flächenmittelwerte für Deutschland (in den heutigen Grenzen) monatlich bis zurück zum Jahr 1761 rekonstruiert; entsprechende Jahresanomalien siehe Abbildung 3 (aktuelle Datenergänzungen nach DWD 2021). Wieder zeigt sich ein polynomialer Trend, nun aber mit einer Temperaturabnahme bis ca. 1860 und erst danach mit einer sich intensivierenden Temperaturzunahme. Wie immer bei derartigen Analysen gibt es überlagerte Fluktuationen, hier durch 30-jährig geglättete Daten hervorgehoben, und Anomalien mit 1819 dem bisher kältesten und 2018 sowie fast gleichauf 2020 den bisher wärmsten Jahren. Tabelle 1 fasst die zugehörigen Trendanalysen für alle Jahreszeiten und das Jahr zusammen, und dies auch für den Niederschlag. Danach lagen die Erwärmungstrends 1881–2020 mit rund 2 °C jährlich und jahreszeitlich eng beieinander; 1991–2020 sind vor allem Herbst und Winter wärmer geworden. Der zeitliche Verlauf der Temperaturanomalien im Sommer ist in Abbildung 4 wiedergegeben. Hervorgehoben sei dabei das bisherige Minimum im Jahr 1816 und das bisherige Maximum im spektakulären Rekordsommer 2003 mit einem

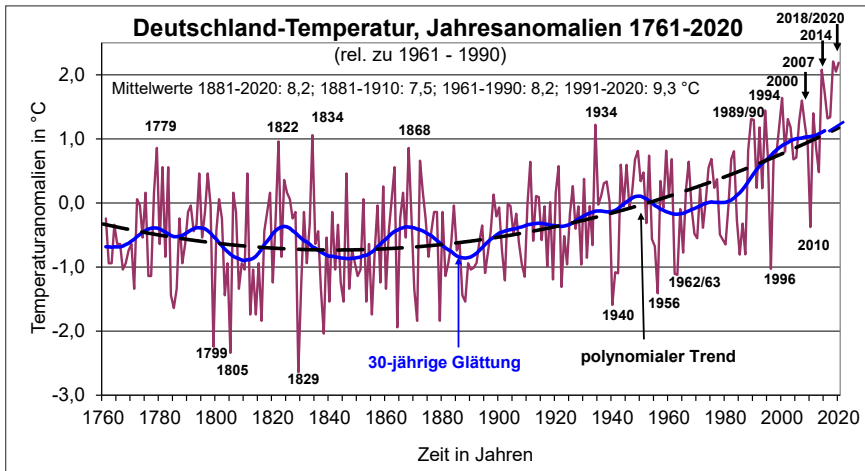


Abbildung 3: Anomalien 1761–2020 (relativ zur Bezugsperiode 1961–1990) der bodennahen Lufttemperatur in Deutschland (Flächenmittel) mit 30-jährig geglätteten Daten und polynomialem Trend; Datenquelle: RAPP (2000), ergänzt nach DWD (2021).

Figure 3: Anomalies 1761–2020 (relative to the reference period 1961–1990) of the air temperature near surface in Germany (area average) including 30-year smoothed data and polynomial trend; data source: RAPP (2000), supplements from DWD (2021).

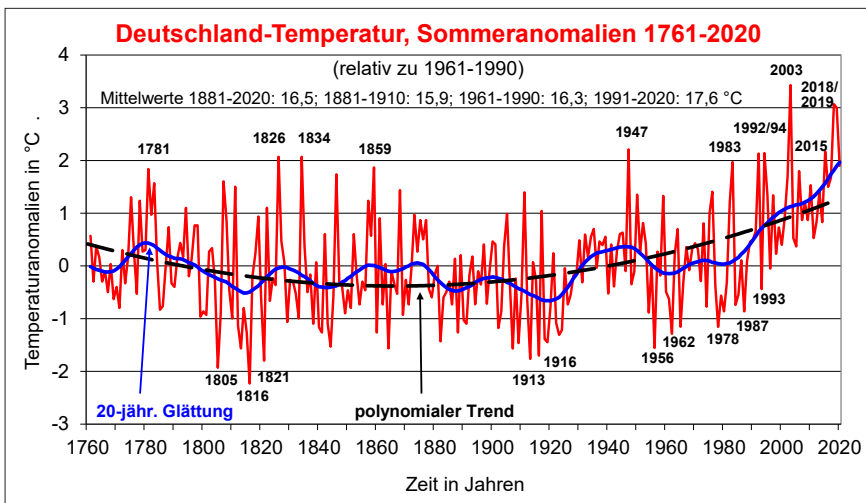


Abbildung 4: Ähnlich wie Abbildung 3, jedoch Sommer (Juni–August).

Figure 4: Similar to Figure 3, but summer (June–August).

Mittelwert von 19,6 °C gegenüber dem Normalwert 1961–1990 von 16,2 °C (bisheriger absoluter Temperaturrekord 42,6 °C am 26.7.2019 in Lingen/Emsland). 2018, knapp gefolgt von 2019, gab es die bisher zweit- bzw. drittwärmsten Sommer in Deutschland (in Abb. 4 nur mühsam unterscheidbar).

Der Niederschlag ist in Deutschland 1881–2020 jährlich um rund 8 % (63 mm) angestiegen (vgl. wiederum Tab. 1), dabei mit über 28 % (49 mm) im Winter weitaus am stärksten, im Sommer dagegen um 4 % (10 mm) zurückgegangen. In den letzten 30 Jahren (1991–2020) hat der Niederschlag in allen Jahreszeiten abgenommen, dabei mit rund 22–24 % (38–45 mm) im Frühling und Herbst am stärksten, jährlich um 13 % (103 mm). Abbildung 5 zeigt die Sommersummen im zeitlichen Ablauf 1881–2020 mit einem schwachen abnehmenden Langfrist-trend, überlagerten relativ geringen Fluktuationen und ausgeprägten Maxima und Minima, wobei Sommer mit viel Niederschlag (1882, 1927, 1954, 1956, 1966, 1980 und 2007) normalerweise kühl und Sommer mit wenig Niederschlag meistens zugleich Hitze- und somit Dürresommer sind (in Abb. 5 besonders 1904, 1911, 1947/49, 1976, 1983, 2003 und 2018); weitere Details zum Klimawandel in Deutschland siehe DWD 2021, RAPP 2000 und SCHÖNWIESE 2020a,b.

Tabelle 1: Beobachtete Klimatrends in Deutschland (Flächenmittel); Datenquelle: DWD (2021)
Table 1: Observed climate trends in Germany (area average); data source: DWD (2021)

Klimaelement	Zeitintervall	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
Temperatur	1881–2020	+1,9 °C	+1,9 °C	+1,9 °C	+2,0 °C	+2,0 °C
	1961–1990	+0,8 °C	+0,4 °C	+0,1 °C	+1,7 °C	+0,7 °C
	1991–2020	+0,8 °C	+1,2 °C	+1,8 °C	+1,5 °C	+1,3 °C
Niederschlag	1881–2020	+8,1 %	-4,0 %	+5,3 %	+28,4 %	+8,2 %
	1961–1990	-6,8 %	-9,1 %	+14,5 %	+21,7 %	+4,2 %
	1991–2020	-22,0 %	-6,6 %	-23,7 %	-0,5 %	-13,0 %

Für Hessen sind die Temperatur- und Niederschlagszeitreihen ab 1881 verfügbar; vgl. dazu auch HOY (2017; Temperaturreihe Frankfurt a. M. ab 1758). In Tabelle 2 sind die Trends analog zu Tabelle 1 zusammengestellt. Daraus ist ersichtlich, dass die Erwärmung in Hessen langfristig etwas geringer war als im Flächenmittel Deutschland. Im Fall der erfassten 30-jährigen Zeitabschnitte sind sie jedoch sehr ähnlich. Dazu sind in Abbildung 6 die Sommerwerte zu sehen. Ähnlich wie beim Flächenmittel Deutschland traten Hitzesommer vor allem 1911, 1947, 1976, 1983, 1994, 2003 (Rekord) und 2018 auf, kühle Sommer dagegen vor allem 1913, 1916, 1956 und 1978. Beim Niederschlag sind die Ähnlichkeiten zwischen dem Flächenmittel Deutschland und Hessen (vgl. wiederum Tab. 1 und 2) nicht so deutlich wie bei der Temperatur, aber dennoch vorhanden. So ist in Hessen der Jahresniederschlag 1881–2020 um 10 % (73 mm) angestiegen

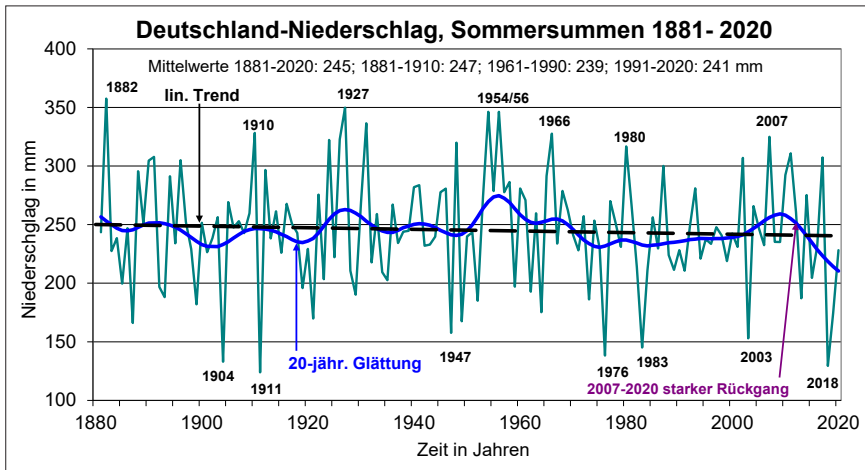


Abbildung 5: Niederschlag 1881–2020 in Deutschland (Flächenmittel), Sommer, mit 20-jährig geglätteten Daten und linearem Trend; Datenquelle: DWD (2021).

Figure 5: Precipitation 1881–2020 in Germany (area average), summer, including 20-year smoothed data and linear trend; data source: DWD (2021).

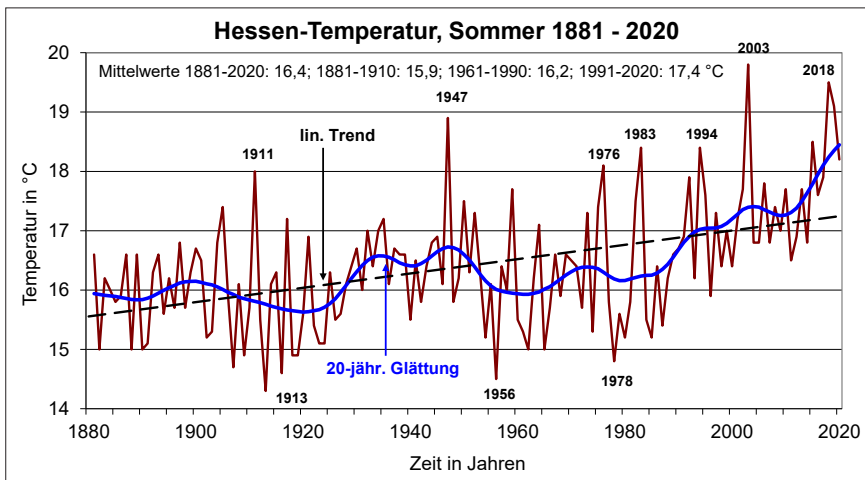


Abbildung 6: Anomalien 1881–2020 (relativ zur Bezugsperiode 1961–1990) der bodennahen Lufttemperatur in Hessen (Flächenmittel), Sommer, mit 20-jährig geglätteten Daten und linearem Trend; Datenquelle: DWD (2021).

Figure 6: Anomalies 1881–2020 (relative to the reference period 1961–1990) of the air temperature near surface in Hesse (area average), summer, including 20-year smoothed data and linear trend; data source: DWD (2021).

Tabelle 2: Beobachtete Klimatrends in Hessen (Flächenmittel); Datenquelle: DWD (2021)

Table 2: Observed climate trends in Hesse (area average); data source: DWD (2021)

Klimaelement	Zeitintervall	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
Temperatur	1881–2020	+1,6 °C	+1,7 °C	+1,5 °C	+1,8 °C	+1,6 °C
	1961–1990	+0,5 °C	+0,4 °C	+0,1 °C	+1,5 °C	+0,6 °C
	1991–2020	+0,8 °C	+1,3 °C	+1,7 °C	+1,4 °C	+1,3 °C
Niederschlag	1881–2020	+17,2 %	-5,5 %	+4,1 %	+27,1 %	+9,7 %
	1961–1990	+7,3 %	-24,5 %	+11,8 %	+28,2 %	+3,2 %
	1991–2020	-9,8 %	+0,1 %	-40,9 %	-8,7 %	-14,0 %

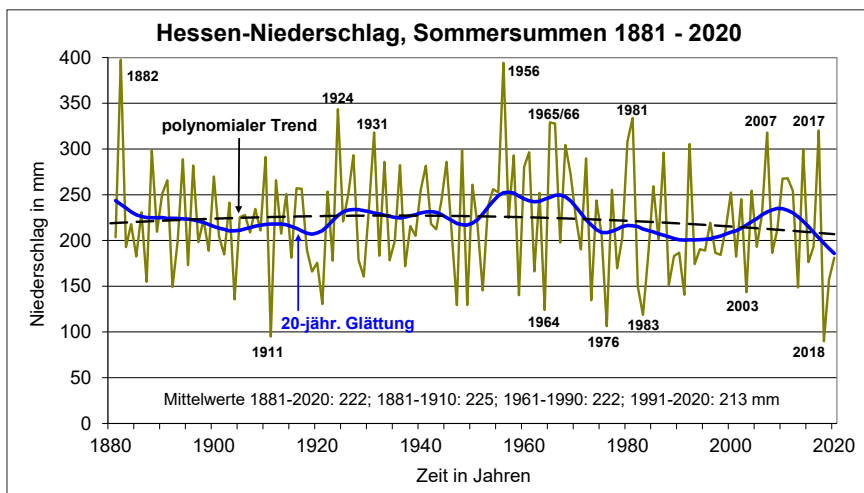


Abbildung 7: Niederschlag 1881–2020 in Hessen (Flächenmittel), Sommer, mit 20-jährig geglätteten Daten und polynomialem Trend; Datenquelle: DWD (2021).

Figure 7: Precipitation 1881–2020 in Hesse (area average), summer, including 20-year smoothed data and polynomial trend; data source: DWD (2021).

(Deutschland 8 %, vgl. oben) und war jahreszeitlich im Winter am stärksten (27%, Deutschland 28 %), während er im Sommer zurückgegangen ist (um 6 %, Deutschland 4 %). Wie in Deutschland ist 1991–2020 der Niederschlag in Hessen fast durchweg zurückgegangen, mit Ausnahme nur des Sommers, wo in Hessen im Gegensatz zu Deutschland praktisch kein Trend erkennbar ist. Wie für Deutschland (Abb. 5) soll auch für Hessen ein näherer Blick auf die Sommerniederschläge der Jahre 1881–2020 geworfen werden (Abb. 7). Sie waren relativ gering u. a. in den Jahren 1911, 1964 und ab 1976 wie in Deutschland, relativ hoch dagegen 1882, 1924, 1931, 1956, 1965/66, 1981, 2007 und 2017. Das Jahr 2018 repräsentiert in Hessen das absolute Sommerminimum, knapp gefolgt von den Jahren 1911 und

1976. Zum Vergleich: Deutschland-weit ist das absolute Sommerminimum 1911 eingetreten, gefolgt ziemlich genau gleichauf mit 2018 und 1904. In Deutschland bzw. in Hessen konnte das Niederschlagsdefizit des Dürresommers 2018 (heiß und trocken) in den Folgejahren (2019/2020) wegen weiterhin geringer Niederschläge nicht ausgeglichen werden; zu den Folgen siehe Kap. 7.

5 Ursachendiskussion

Die Frage nach den Ursachen des Klimawandels im Industriezeitalter ist hinsichtlich der global gemittelten jährlichen Temperaturvariationen, vgl. Abbildung 1, am übersichtlichsten und relativ gesehen am einfachsten zu beantworten. Zu diskutieren sind dabei anthropogen vor allem

- Konzentrationsanstieg atmosphärischer Spurengase,
- Konzentrationsvariationen bodennahe atmosphärischer Partikel (Aerosole),
- Landnutzungseffekte durch Waldrodungen, Landwirtschaft und Baumaßnahmen,
- Bildung atmosphärischer Kondensstreifen durch den Flugverkehr und als natürliche Einflüsse insbesondere
- Vulkanausbrüche (größeren Ausmaßes und explosiv),
- Sonnenaktivität,
- El Niño- und La Niña-Ereignisse.

Diese Klimafaktoren lassen sich am besten anhand der Strahlungsantriebe in einem ersten Schritt quantitativ kennzeichnen. Sie sind als die Strahlungsbilanz in der unteren Atmosphäre (Troposphäre) definiert, wie sie durch die verschiedenen Strahlungsprozesse zustande kommen. Ist diese Bilanz positiv, resultiert Erwärmung, ist sie negativ, Abkühlung. Als einfachstes Beispiel sei die Sonneneinstrahlung genannt: In der Nacht fehlt sie und die dann allein wirksame terrestrische Ausstrahlung führt zu einer negativen Strahlungsbilanz und folglich Abkühlung. Geht die Sonne auf, wird die Strahlungsbilanz allmählich positiv und die Erde erwärmt sich. Allerdings werden die Strahlungsantriebe durch Rückkopplungseffekte modifiziert und können im Detail sehr kompliziert sein. Da es sich bei den El Niño- und La Niña-Ereignissen um atmosphärisch-ozeanische Wechselwirkungen ohne Beteiligung von Strahlungsprozessen handelt, lässt sich dabei kein Strahlungsantrieb zuordnen. In diesen Fällen erwärmen sich die tropischen Ozeane (El Niño), insbesondere der tropische Ostpazifik, für einige Monate bzw. kühlen sich ebenso lange ab (La Niña). Das geschieht in einem Zyklus von 3–7 Jahren und so großräumig, dass es sich auch im globalen Mittel der atmosphärischen Temperatur zeigt.

Es gilt als gesichert (zahlreiche Literatur, u. a. IPCC 2014; SCHÖNWIESE 2020a,b), dass der langfristige globale Erwärmungstrend, vgl. Abbildung 1, fast vollständig

durch den anthropogenen atmosphärischen Konzentrationsanstieg klimawirksamer Spurengase erklärt werden kann. Diese Gase sind in der Atmosphäre gut durchmischt und verweilen dort nach ihrer Emission viele Jahre. Ihre Klimawirksamkeit besteht darin, dass sie einen großen Teil der Sonneneinstrahlung zur Erdoberfläche hindurch lassen, aber in bestimmten Spektralbereichen die Wärmeabstrahlung der Erdoberfläche absorbieren. Dadurch erwärmen sie sich und ihre Umgebung (anthropogene Verstärkung des natürlichen „Treibhauseffekts“, positiver Strahlungsantrieb). Wesentlich komplizierter ist die Wirkung von Partikeln, da sie wegen ihrer relativ kurzen atmosphärischen Verweilzeit regional sehr unterschiedlich verteilt sind. Ihr klimawirksamer Anteil, die aus Schwefeldioxid stammenden Sulfataerosole, sind in der unteren Atmosphäre in ihrer Konzentration erst langsam, dann aber ca. 1945–1975 stark angestiegen, um anschließend dank Luftreinhaltungsmaßnahmen mittlerweile kaum mehr eine Rolle zu spielen (außer in Südostasien). Sie haben eine kühlende Wirkung (negativer Strahlungsantrieb) und werden, siehe wiederum Abbildung 1, für die vorübergehende Abkühlung in der Zeit ihres stärksten Anstiegs (1945 bis ca. 1976) verantwortlich gemacht. Die Landnutzungseffekte und insbesondere die Kondensstreifen des Flugverkehrs sind demgegenüber im Industriezeitalter von sehr untergeordneter Bedeutung. In Tabelle 3 sind die Strahlungsantriebe dieser anthropogenen Klimafaktoren und der wichtigsten natürlichen Einflüsse auf das Klima aufgelistet und daher miteinander verglichen.

Tabelle 3: Strahlungsantriebe (bodennahe Atmosphäre) aufgrund **anthropogener** und **natürlicher** Klimafaktoren im Industriezeitalter (ca. 1800–2010) mit Unsicherheitsbereichen (in Klammern); nach IPCC (2014), ergänzt nach SCHÖNWIESE (2020a)

Table 3: Radiative forcing (atmosphere near surface) due to **anthropogenic** and **natural** climate factors within industrial time (approx. 1800–2010) including uncertainty ranges (in parantheses); from IPCC (2014), supplemented by SCHÖNWIESE (2020a)

Klimafaktor	Strahlungsantrieb in Wm^{-2}	zeitliche Struktur
klimawirksame Spurengase	+3,3 (2,4 bis 4,3)	progressiver Trend
Partikel (insbes. Sulfataerosole)	-0,9 (-0,1 bis -1,9)	variabler Trend
Kombiniert (nicht-linear)	+2,3 (1,1 bis 3,4)	variabler Trend
Landnutzung (insbes. Waldrodung)	-0,15 (-0,05 bis -0,25)	allmählicher Trend
Flugverkehr (Kondensstreifen)	-0,01 (somit äußerst gering)	allmählicher Trend
Vulkanausbrüche (explosive)	maximal ca. -1 bis -3 [*]	episodisch (1–3 J.)
Sonnenaktivität	$\pm 0,1$ (0 bis $\pm 0,2$)	fluktuativ
El Niño / La Niña	entfällt ^{**}	episodisch (< 1 J.)

*) Maximum seit 1850: -3,2 Wm^{-2} im Jahr 1992, ein Jahr nach der Pinatubo-Eruption (Philippinen)

**) atmosphärisch-ozeanische Wechselwirkung, Strahlungsantrieb kann nicht zugeordnet werden

Der wichtigste natürliche Einfluss auf die globale (und auch regionale) Temperatur tritt bei größeren explosiven Vulkanausbrüchen auf, die wegen ihres negativen Strahlungsantriebs den langfristigen Erwärmungstrend für 1–2, maximal 3 Jahre durch Abkühlung unterbrechen. Ab 1950 war das vor allem in den Jahren 1956, 1963/64 (Agung, Indonesien), 1976, 1982 (El Chichón, Mexiko), 1991/92 (Pinatubo, Philippinen), 2008 und 2011 der Fall. Der mit Abstand stärkste Abkühlungseffekt der letzten Jahrhunderte wird dem Tambora-Ausbruch (Indonesien) 1815 zugeschrieben, dem das sog. „Jahr ohne Sommer“ folgte. In Abbildung 4 zeigt sich dementsprechend 1816 das tiefste Sommertemperaturminimum seit 1761 (weitere Details siehe SCHÖNWIESE 2020a). Während die Sonnenaktivität im Industriezeitalter, im Gegensatz zur Zeit davor, bisher sehr wenig wirksam gewesen ist, verstärken El-Niño-Ereignisse vorübergehend (i. a. für einige Monate, maximal für ungefähr 1 Jahr) die Erwärmung, während ihren Gegenspielern, den La-Niña-Ereignissen, entsprechende Abkühlungseffekte zukommen, wie bereits oben erwähnt.

Da langfristig gesehen die klimawirksamen Spurengase die dominante Ursache für die globale Erwärmung im Industriezeitalter sind, sollen die wichtigsten davon in ihren bodennahen atmosphärischen Konzentrationen 2020 (Messwerte vom Mauna Loa, Hawaii) gegenüber den vorindustriellen Werten, d. h. ca. 1750–1800, dies in Klammern, zusammengestellt sein, ergänzt durch ihre prozentualen Anteile am Strahlungsantrieb StA, der nach Tabelle 3 insgesamt bei $3,3 \text{ Wm}^{-2}$ liegt (IPCC 2014).

- Kohlendioxid (CO_2) 414 ppm (ca. 280 ppm); StA-Anteil 57,7 %
- Methan (CH_4) 1,9 ppm (ca. 0,7 ppm); StA-Anteil 22,0 %
- Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), dabei F12 0,5 ppb (0 ppb); insgesamt StA-Anteil 6,2 %
- Distickstoffoxid (N_2O , auch Lachgas genannt) 0,33 ppm (0,27 ppm); StA-Anteil 5,8 %
- Rest, darunter das im Gegensatz zu den anderen genannten Gasen kurzlebige Ozon (O_3), StA-Anteil 8,2 %

mit ppm = parts per million und ppb = parts per billion, d.h. millionstel bzw. milliardstel Volumenanteile.

Ähnlich den toxischen Substanzen sind diese Spurengase trotz ihrer geringen Konzentrationen sehr wirksam. Mit Hilfe aufwändiger Klimamodelle lässt sich sogar zeigen, dass ohne sie der beobachtete langfristige Temperaturanstieg im Industriezeitalter nicht erklärbar ist (IPCC 2014; SCHÖNWIESE 2020a,b). Die wichtigsten für die beobachteten Konzentrations- und somit Temperaturanstiege verantwortlichen anthropogenen Emissionsquellen sind: bei CO_2 fossile Energieträger (74 %), Waldrodungen und Zementproduktion; bei CH_4 fossile Energieträger (27 %), Viehhaltung (23 %), Reisanbau (17 %), Abfälle (16 %) und Biomasse-Verbrennung; bei N_2O Landwirtschaft, insbesondere Überdüngung (ca. 25–50 %) sowie chemische Industrie und fossile Energieträger. Eine Sonderrolle spielen die

FCKW, die größtenteils dank Schutzmaßnahmen (dies allerdings hauptsächlich wegen ihrer negativen Wirkung auf die stratosphärische Ozon-Schutzschicht) in ihren Konzentrationen mittlerweile abnehmen.

Was die Klimamodelle betrifft (AOGCM), die außer den Strahlungsantrieben auch Rückkopplungen berücksichtigen, so können sie den global gemittelten Temperaturanstieg sehr gut, die regionalen Strukturen dazu noch relativ gut, aber ziemlich schlecht die Niederschlagsvariationen erklären. Das gilt insbesondere auch für die Extremereignisse. Ähnlich ist das bei den Szenarien-gestützten Zukunftsprojektionen (die wie gesagt Wenn-Dann-Aussagen und keine echten Vorhersagen wie beim Wetter sind). Unter den alternativen Zukunftsszenarien menschlichen Verhaltens folgen wir zur Zeit leider immer noch dem obersten, das gegenüber dem vorindustriellen Niveau bis zum Jahr 2100 einen global gemittelten Temperaturanstieg von 2,6–4, 8 °C erwarten lässt (IPCC 2014). Selbst bei den derzeit verwirklichten bzw. geplanten Klimaschutzmaßnahmen sind es nach Climate Action Tracker (Stand Mai 2021) immer noch 2,1–3, 9 °C bzw. 2,1–3,3 °C. Selbstverständlich werden dabei wie bisher die regionalen Temperaturänderungsstrukturen sehr unterschiedlich und mit ebenfalls regional sehr unterschiedlichen Niederschlagsänderungen verbunden sein.

6 Extremereignisse

Die Problematik der Extremereignisse, so wichtig sie ist, kann hier nur ganz kurz erwähnt werden. Es handelt sich dabei vor allem um Stürme, Dürren bzw. Überschwemmungen als Folge von Starkniederschlagsereignissen und weitere thermische Effekte. Bei den Stürmen ist am auffälligsten, dass die tropischen Wirbelstürme auf die steigenden Ozeantemperaturen reagieren und dabei häufiger und vor allem intensiver werden. In Mitteleuropa bzw. Deutschland ist keine signifikante Häufigkeitszunahme der Stürme erkennbar, obwohl – wie auch weltweit – die Häufigkeit von Tornados zunehmen könnte (wäre sogar plausibel). Anders ist das bei den schon erwähnten Dürren, die Deutschland und die Welt in Zukunft sogar noch mehr belasten könnten als bisher. Hand in Hand damit gehen Waldbrände, die zum Teil schon jetzt ein dramatisches Ausmaß erreicht haben. In weltweiter Erfassung ist auch die Häufigkeit von Überschwemmungen angestiegen und wird es wohl auch weiterhin tun. Bei den weiteren thermischen Effekten sind besonders das Auftauen des Dauerfrostbodens (Permafrost) und der Rückgang der Gebirgsgletscher von Bedeutung. In Verbindung damit kommt es u. a. zu vermehrten Instabilitäten, die im Gebirge häufigere Murenabgänge und Felsstürze zur Folge haben. Die Münchener Rückversicherungsgesellschaft (MüRück 2021 u. a.) gibt für 1980–2020 bei der Häufigkeit sog. großer Naturkatastrophen einen Anstieg von jeweils gerundet 200 auf 800 und beim Ausmaß der dadurch eingetretenen wirtschaftlichen Schäden von, ebenfalls gerundet, 50 auf 200 Mrd.

US\$ an, mit Spitzenwerten von 300–350 Mrd. US\$ in den Jahren 2005, 2011 und 2017. Es ist sehr wahrscheinlich, dass dies alles mit dem globalen Klimawandel zusammenhängt.

7 Auswirkungen

Auch hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels sollen hier nur einige wenige Hinweise genügen. Dabei sind die wichtigsten Problemkreise:

- Ozean
- Meer- und Landeis
- Ökosysteme
- Landwirtschaft
- Wirtschaft
- Gesundheit

Auf die globale Erwärmung reagiert der Ozean mit einem Meeresspiegelanstieg. Er liegt seit 1880 (bis 2020) bei rund 25 cm und scheint sich seit ungefähr 1990/2000 zu beschleunigen. Nach IPCC (2014) trägt dazu hauptsächlich die thermische Expansion des Ozeanwassers bei, vor allem im oberen Bereich (1993–2010: ca. 39 %), gefolgt vom Abschmelzen der Gebirgsgletscher (ca. 27 %) sowie der Inlandeis Grönlands (ca. 15 %) und der Westantarktis (ca. 10 %). Bis zum Jahr 2100 könnten es nach dem oberen Szenario weitere rund 50–90 cm gegenüber 1986–2005 sein (IPCC, 2019; es gibt aber auch deutlich höhere Abschätzungen). Dadurch sind flache Inseln und generell Küstenstädte gefährdet. Außerdem führt die CO₂-Aufnahme des Ozeans zur Versauerung, was zusammen mit der Erwärmung kalkbildende Organismen wie z. B. die Korallen schädigt.

Das Meereis steht im Schwimmgleichgewicht mit dem Ozean und spielt somit beim Meeresspiegelanstieg keine Rolle, wohl aber u. a. als Rückkopplungsfaktor bei Klimaprozessen. Sein Abschmelzen hat in der Arktis dramatische Ausmaße angenommen, wo der sommerliche Rückgang seit 1980 bei rund 44 % liegt (u. a. mit negativen Auswirkungen auf die Eisbärenpopulation, aber auch mit wirtschaftlichen Vorteilen). In der Antarktis ist die Zunahme 1980–2015 um rund 21 % inzwischen auch in einen Rückgang übergegangen. Das grönländische Festlandeis nimmt seit 2006 um rund 280 Mrd. Tonnen pro Jahr ab, das westantarktische um ca. 155 Mrd. Tonnen pro Jahr (IPCC 2019). Ein totales Abschmelzen würde in Grönland aber mindestens einige Jahrhunderte dauern (mit dem Effekt eines zusätzlichen Meeresspiegelanstiegs von rund 7 m) und in der Antarktis führt bisher noch die Eiszunahme in der Ostantarktis zu einer Überkompensation. Dramatisch ist jedoch der Rückgang der Gebirgsgletscher, die weitweit seit 2006 rund 220 Mrd. Tonnen Eis pro Jahr verlieren (IPCC 2019). Bis ungefähr 2050 wird des-

halb ein fast totales Verschwinden befürchtet, was die Wasserversorgung z. B. im alpinen Raum und auch die Hangstabilitäten beeinträchtigt.

Ökosysteme und Landwirtschaft sind vor allem durch Trockenheit gefährdet, insbesondere wenn sie in Kombination mit Hitze auftritt (Dürre). So ist der letzten Waldzustandserhebung für Deutschland zu entnehmen, dass 2020 in Deutschland nur noch 11 % der Buchen, 20 % der Kiefern und Eichen sowie 21 % der Fichten ohne Schäden waren (BMEL 2021). Als Hauptursache werden die Dürrejahre 2018–2020 genannt, wobei Dürren zusätzlich die Abwehrkräfte der Bäume gegen Borkenkäferbefall stark reduzieren. Die Folgen sind in vielen deutschen Wäldern deutlich zu sehen. Weltweit führt Dürre auch zu häufigeren und ausgedehnteren Waldbränden, die immer wieder auch Siedlungen in Mitleidenschaft ziehen. Im Gegensatz zum Wald besteht bei der Landwirtschaft jedoch die Möglichkeit der künstlichen Bewässerung (allerdings nicht in beliebigem Umfang) und relativ kurzfristigen Änderung der Anbausorten. Bei der Wirtschaft sind vor allem Schäden durch Extremereignisse von Bedeutung (vgl. Kap. 6). Beim Tourismus mag es einige Gewinner des Klimawandels geben (in Deutschland z. B. an Nord- und Ostsee), aber sicherlich auch Verlierer (z. B. Wintertourismus in den Alpen). Bei der Gesundheit sind neben Extremereignissen mit direkter Todesfolge (z. B. durch Stürme und Überschwemmungen, folglich auch Hangrutsche u. ä.) vor allem die oft unterschätzten Todesraten in Hitzesommern zu nennen. In Europa hält der Hitzesommer 2003 mit rund 70000 zusätzlichen Todesfällen (d. h. oberhalb der „normalen“ Todesrate; wirtschaftliche Schäden ca. 13 Mrd. US\$) den traurigen Rekord (ROBIN et al. 2008).

8 Schlussfolgerungen

Der Klimawandel, der oft als „global“ bezeichnet wird, ist regional sehr unterschiedlich. Während nämlich der Trend der global gemittelten bodennahen Lufttemperatur (Landgebiete und Ozeane) seit 1880 bei 1,1 bis 1,2 °C liegt, reichen die entsprechenden Trends regional von leichter Abkühlung bis über 4 °C Erwärmung. Und selbst im globalen Mittel ist der langfristige Anstieg von deutlichen Fluktuationen und Jahresanomalien überlagert. Doch ursächlich ist dieser Anstieg zweifellos vorwiegend anthropogen. Dabei dominiert die Wirkung klimawirksamer Spurengase (CO₂ usw.). Die Erklärung der regionalen Charakteristika ist schwieriger, wobei aber u. a. in der subpolaren Zone der Nordhalbkugel Rückkopplungseffekte den Temperaturanstieg erheblich verstärken.

Die Niederschlagsumverteilungen sind sicherlich mit dem Klimawandel verknüpft, zeigen jedoch besonders ausgeprägte regionale Besonderheiten, für die es ursächlich nur partiell Erklärungen gibt. In Deutschland bzw. Hessen sind langfristig eine Zunahme im Winter und – weniger ausgeprägt – eine Abnahme im Sommer belegt. Kürzerfristig sind sowohl jahreszeitliche als auch regionale

Unterschiede deutlich. Das gilt generell für Extremereignisse, obwohl weltweit ihre ganz erhebliche Häufigkeits- und zum Teil auch Intensitätszunahme enorm ist. Ein Zusammenhang mit dem Klimawandel ist dabei sehr naheliegend, insbesondere was sommerliche Hitze- bzw. Dürreperioden sowie die Intensität tropischer Wirbelstürme betrifft. Ganz klar ist ein solcher Zusammenhang beim Meeresspiegelanstieg und der Eisschmelze an Land sowie in polaren Meeresbereichen.

Realisiert man die Auswirkungen des Klimawandels, die zum weitaus größten Teil negativ sind, so erscheinen ehrgeizige Klimaschutzmaßnahmen dringend notwendig. Angesichts der vielen Weltprobleme, die größtenteils relativ kurzfristig über uns hereinbrechen, darf das Langfristproblem anthropogener Klimawandel nicht aus den Augen verloren gehen.

9 Literaturverzeichnis

- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), Referat 515 (2021): Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2020. – 71 S., Bonn.
- CAT (Climate Action Tracker, 2021): www.climateactiontracker.org (Abschätzungen des global gemittelten Temperaturanstiegs bei Klimaschutzmaßnahmen, Abruf Mai 2021).
- CRU (Climate Research Unit, 2021, University of East Anglia, Norwich, UK): <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature> (globale Temperaturdaten, Abruf Mai 2021).
- CRUTZEN, P.J. (2002): Geology of mankind: the anthropocene. – *Nature*, **415**: 23.
- DWD (Deut. Wetterdienst, 2021): www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen/
- GISS (Goddard Institute for Space Studies, 2021, NASA, USA): https://data.giss.gov/gistemp/taledata_v4/ (globale Temperaturdaten, Abruf Mai 2021).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, SOLOMON, S., QIN, D., MANNING, M., MARQUIS, M., AVERYT, K., TIGNOR, M.M.B., LEROY MILLER, H. jun. & CHEN, Z. (eds.) 2007: *Climate Change 2007. The Physical Science Basis (Assessment Report 4, WG I)*. – 996 pp.; Cambridge (Cambridge Univ. Press).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, STOCKER, T.F., QIN, D., PLATTNER, G.-K., TIGNOR, M.M.B., ALLEN, S.K., BOSCHUNG, J., NAUELS, A., XIA, Y., BEX, V. & MIDGLEY, P.M. (eds.) 2014): *Climate Change 2013. The Physical Science Basis (Assessment Report 5, WG I)*. – 1535 pp.; Cambridge (Cambridge Univ. Press).
- IPCC (PÖRTNER, H.-O., ROBERTS, D.C., MASSON-DELMOTTE, V., ZHAI, P., TIGNOR, M., POLOCZASKA, E., MINTENBECK, K., ALEGRÍA, A., NICOLAI, M., OKEM, A., PETZOLD, J., RAMA, B. & WEYER, N.M. (eds.) 2019): *Special Report. The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (SROCC)*. www.ippcc.ch/reports/srocc/
- HOY, A. (2016): Klimaänderungen in Frankfurt/Main seit 1758. – *Jb. nass.V er. Naturkde.*, **137**: 63-84.
- LIESCHER, H.-J. (2002): Wasserbilanz. – In: *Lexikon der Geowissenschaften*. – S. 380-382; Heidelberg, Berlin (Spektrum Akademischer Verlag).
- MüRück (Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, 2021 und frühere Jahre): *Diverse Schadensberichte*. – München (Selbstverlag und Internet).
- OSCHMANN, W. (2018): *Evolution der Erde*, 2. Aufl. – 383 S.; Bern (Haupt/UTB).
- RAPP, J. (2000): *Konzeption, Problematik und Ergebnisse klimatologischer Trendanalysen für Europa und Deutschland*. – 145 S.; Offenbach (Deut. Wetterdienst, Bericht Nr. 212).
- SCHÖNWIESE, C.-D. (2020a): *Klimatologie*. 5. Aufl. – 492 S.; Stuttgart (Ulmer/UTB).

- SCHÖNWIESE, C.-D. (2020b): Klimawandel kompakt, 3. Aufl. – 132 S.; Stuttgart (Borntraeger).
- STEFFEN, W., CRUTZEN, P.J. & MCNEILL, J.R. (2007): The anthropocene: Are humans now overwhelming the great forces of nature? – *Ambio*, **36**: 614-621.

PROF. DR. CHRISTIAN-D. SCHÖNWIESE
Goethe-Universität
Institut für Atmosphäre und Umwelt
Postfach 111932
D-60054 Frankfurt a. M.
Tel.: 069/798-23578/40261
E-Mail: schoenwiese@meteor.uni-frankfurt.de

Manuskripteingang: 12. Juli 2021

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahrbücher des Nassauischen Vereins für Naturkunde](#)

Jahr/Year: 2021

Band/Volume: [142](#)

Autor(en)/Author(s): Schönwiese Christian-Dietrich

Artikel/Article: [Klimawandel im Industriezeitalter: global, Deutschland, Hessen 113-130](#)