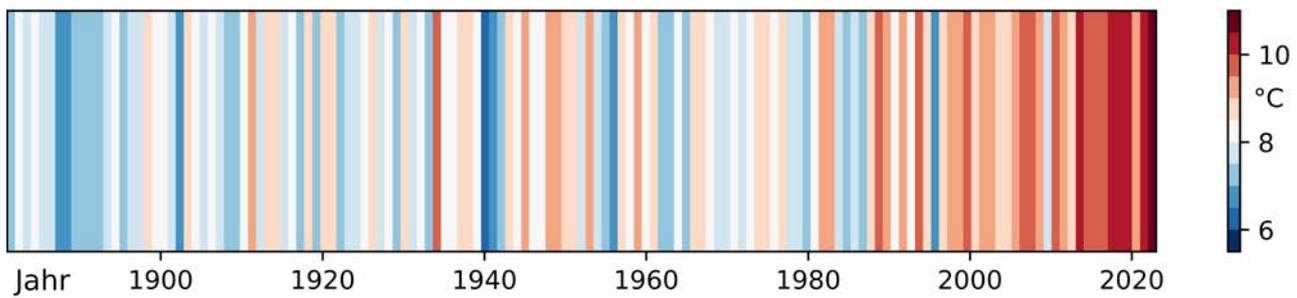




Klimareport Mitteldeutschland

Klima – Gestern, heute und in der Zukunft





„Warming Stripes“

Die farbigen Streifen auf der Titelseite visualisieren die Durchschnittstemperaturen für Mitteldeutschland zwischen 1881 und 2023; jeder Streifen steht für ein Jahr. Die Grafik wurde von Ed Hawkins entwickelt.
(Quelle: <https://climate-lab-book.ac.uk/> Datenquelle: Deutscher Wetterdienst)

Inhalt



Vorwort.....	2
Immer in Bewegung: Wetter und Klima in Deutschland.....	4
Klima, Klimavariabilität und Extrema	6
Klimamodelle.....	8
Klimawandel und Klimaprojektionen	10
Regionale Vielfalt – Das Klima der mitteldeutschen Länder.....	14
Temperatur.....	16
Niederschlag.....	22
Sonnenschein	28
Phänologie	30
Bodenfeuchte	32
Schnee.....	36
Großwetterlagen	38
Extremereignisse	40
Stadtklima	46
ReKIS	48
Projekte	50
Die Förderungen der Länder Mitteldeutschlands	54
Begriffskompass Klima	55
Impressum.....	56

Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen sind in vieler Hinsicht eng miteinander verbunden. Den Herausforderungen des Klimawandels begegnen die mitteldeutschen Länder in enger Zusammenarbeit mit dem DWD seit vielen Jahren oftmals gemeinsam. Dieser gemeinsame „Klimareport Mitteldeutschland“ soll diese Tradition fortführen.

Durch den aktuellen Synthesebericht des Weltklimarates wurde jüngst erneut und eindrücklich der weltweite Klimawandel dokumentiert. Der Bericht belegt auch zweifelsfrei, dass der Mensch die globale Erwärmung eindeutig verursacht hat.

Die weltweiten Folgen der Klimaveränderung sind bereits heute gravierend: Steigende Meeresspiegel, Rückgang des Meereises, schmelzende Gletscher oder aber die Zunahme von Extremereignissen wie Trockenheit, Starkregen, Stürmen und Überschwemmungen. Das sind nur einige Beispiele für das, was bereits heute in vielen Regionen der Erde zu beobachten ist.

Auch in Mitteldeutschland ist der Klimawandel längst spürbar angekommen. Die Auswertungen der Durchschnittstemperatur verdeutlichen, dass Mitteldeutschland im Vergleich zum globalen Durchschnitt besonders stark von der Erwärmung betroffen ist. So war das Jahr 2023 in Mitteldeutschland das wärmste seit Aufzeichnungsbeginn im Jahr 1881.

Beim Niederschlag zeigt sich die Klimaveränderung unter anderem in einer Verschiebung der Regenmengen vom Sommer in den Winter. Die Anzahl aufeinanderfolgender Trockentage hat vor allem im Sommer zugenommen. Dies hat zur Folge, dass sich die Häufigkeit von Trockenphasen erhöht hat.

Dieser Report gibt erstmalig für den mitteldeutschen Raum einen gemeinsamen Einblick in die bisher beobachtete Klimaveränderung in Mitteldeutschland und fasst den aktuellen Erkenntnisstand zusammen.



*Mario Suckert
Präsident des Thüringer
Landesamtes für Umwelt,
Bergbau und Naturschutz*



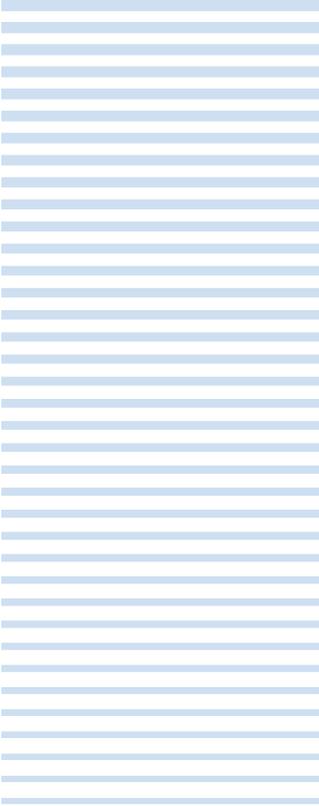
*Dr. Sandra Hagel
Präsidentin des Landesamtes
für Umweltschutz Sachsen-
Anhalt*



*Heinz Bernd Bettig
Präsident des Landesamtes für
Umwelt, Landwirtschaft und
Geologie Sachsen*



*Tobias Fuchs
Mitglied des Vorstands und Leiter des Geschäftsbereiches
Klima und Umwelt des Deutschen Wetterdienstes*



Immer in Bewegung: Wetter und Klima in Deutschland

Das Wetter mit all seinen Erscheinungen prägt unser Leben. Es beeinflusst unsere tägliche Auswahl der Kleidung, aber auch die für Wirtschaft und Gesellschaft notwendige Infrastruktur. Mit der durch den Menschen verursachten Erhöhung der Treibhausgaskonzentrationen und den Änderungen der Landnutzung ändern sich unser Wetter und Klima. Die folgenden Seiten geben einen Überblick über die klimatischen Verhältnisse in der Vergangenheit und über zukünftige Entwicklungen in Deutschland.



Vom kurzfristigen Wechsel zur langfristigen Änderung: Wetter und Klima im Wandel

Deutschland gehört zur warm-gemäßigten Klimazone der mittleren Breiten, im Übergangsbereich zwischen dem maritimen Klima Westeuropas und dem kontinentalen Klima in Osteuropa. Das Klima Mitteleuropas wird geprägt durch den Einfluss feuchter, gemäßigt temperierter atlantischer Luftmassen und trockener, im Sommer heißer, im Winter kalter kontinentaler Luft. Die großräumige Zirkulation bestimmt, welche Luftmasse dominiert. Dementsprechend können die Jahreszeiten in einzelnen Jahren sehr unterschiedlich ausfallen. Daraus resultiert eine große Variabilität der Witterung in Deutschland.

Durch die topografische Struktur des Landes mit seinen Mittelgebirgen, die verschiedene Landschaften

einschließen, wird das Klima stark strukturiert. Für die Temperatur sind die Abhängigkeit von der Geländehöhe und der Abstand zum Meer die dominierenden Einflüsse. Der ozeanische Einfluss, der von Nordwest nach Südost abnimmt, sorgt für relativ milde Winter und mäßig heiße Sommer.

Der Deutsche Wetterdienst beobachtet in Deutschland an vielen Orten das Wetter, teilweise seit mehr als 100 Jahren. Registriert werden Parameter wie Temperatur, Niederschlag, Sonnenschein und vieles mehr. Die Beobachtungswerte variieren von Tag zu Tag und von Jahr zu Jahr. Neben diesen Variationen können durch die Aufzeichnungen der Messsysteme des Deutschen Wetterdienstes auch langfristige Änderungen erkannt werden. So ist es in Deutschland im Mittel seit 1881 um etwa 1,8 °C wärmer geworden.

Die Menge des Niederschlags hat seit 1881 zugenommen. Dieses gilt insbesondere für den Winter und das Frühjahr. In der Jahressumme sind es im Mittel 8 Prozent mehr. Kaum erkennbar hingegen sind Veränderungen der Anzahl der Tage mit mindestens 10 Liter Niederschlag je Quadratmeter.

Erfasst wird des Weiteren die Höhe des Meeresspiegels. Auch hier ist eine Änderung zu beobachten. Der Meeresspiegel ist in den letzten 177 Jahren in der Deutschen Bucht um etwa 42 cm gestiegen.

Hat der Mensch einen Einfluss auf das Klima? Mit dem Ausstoß von Treibhausgasen und der großflächigen Änderung der Landnutzung greift der Mensch in das natürliche Klimasystem der Erde ein. Ein Schwerpunktthema der weltweiten Forschung ist daher die Analyse der Folgen dieser Eingriffe.

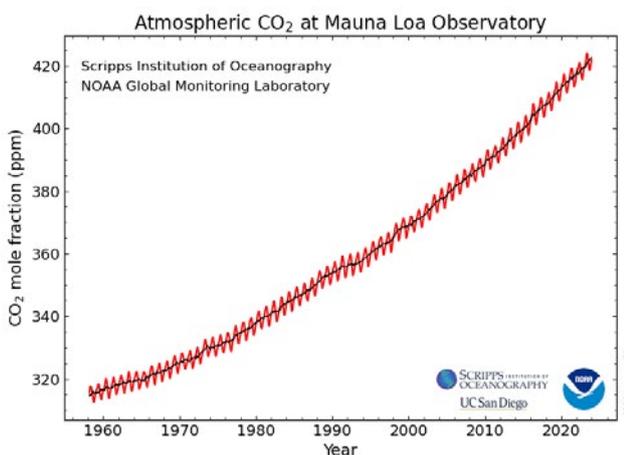
Mit Hilfe von Klimamodellen haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Auswirkungen auf das globale und regionale Klima auf der Basis von Szenarien berechnet. Für Deutschland ergibt sich je nach gewähltem Szenario eine Erhöhung der Jahresmitteltemperatur von mindestens 1 °C bis hin zu mehr als 4 °C in den nächsten 80 Jahren. Eine Änderung von nur 1 °C ist laut den Klimamodellen nur bei deutlicher Reduzierung der Emission von Treibhausgasen möglich. Bei weiterhin hohen oder sogar zunehmenden



Treibhausgasemissionen ist eine Änderung von 3 bis 4 °C zu erwarten. Damit verbunden nimmt die Anzahl der kalten und sehr kalten Tage noch weiter ab, während die Zahl der warmen und sehr warmen Tage deutlich zunimmt.

Verbunden mit der Temperaturzunahme werden sehr wahrscheinlich die jährlichen Niederschlagsmengen weiter zunehmen und damit auch die Anzahl der Tage mit mindestens 10 Liter Niederschlag je Quadratmeter.

Ein Anstieg der Lufttemperatur geht mit einer Erhöhung der Meerwassertemperatur einher. Dadurch dehnt sich das Wasser aus und in der Folge steigt der Meeresspiegel. Dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand nach wird sich der Meeresspiegelanstieg durch verstärkte Schmelzprozesse an den Gletschern deutlich beschleunigen.



◀ Mittlere Konzentration des atmosphärischen CO₂, gemessen am Mauna Loa Observatorium (Hawaii). Die Daten bilden die weltweit längste Zeitreihe direkter Kohlendioxidmessungen ab. Dargestellt sind die Monatswerte (rote Kurve) sowie Jahresmittel (schwarze Kurve). Die Schwankungen innerhalb eines Jahres sind durch die unterschiedlichen Wachstumsperioden der Vegetation bedingt. (Quelle: NOAA)

Klima, Klimavariabilität und Extrema

Wetter, Witterung, Klima: Unter diesen drei Begriffen versteht die Meteorologie und Klimatologie Vorgänge, die in der Atmosphäre in verschiedenen Zeiträumen ablaufen. Das Wetter beschreibt den kurzfristigen Zustand der Atmosphäre, die Witterung eine Phase von Wochen bis mehreren Monaten und das Klima die Zeitspanne von Jahrzehnten bis hin zu geologischen Zeitaltern.

Was ist Klima?

Die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) definiert „Klima“ wissenschaftlich präzise als „Synthese des Wetters über einen Zeitraum, der lang genug ist, um dessen statistische Eigenschaften bestimmen zu können“. „Klima“, vom altgriechischen Wort klíma für „ich neige“ stammend, spielt auf die Konstellation der Erde im Sonnensystem an, auf die Neigung der Erdachse, den variierenden Abstand unseres Planeten zur Sonne und den damit zusammenhängenden

markanten Schwankungen der meteorologischen Bedingungen. Das Klima war in der Vergangenheit nie konstant. Aus der Erdgeschichte sind Eiszeiten und Warmzeiten bekannt.

Das Klima ist auch immer auf einen Ort bezogen. Das Klima von Helgoland ist beispielsweise ein anderes als das von München. Um das Klima einer Region zu beschreiben, werden entsprechend den Vorgaben der WMO Zeiträume von mindestens 30 Jahren analysiert.





▲ Messfeld des Deutschen Wetterdienstes auf dem Brocken.

Klimavariabilität

Das Klima ist als Summe aus Wetter und Witterung etwas Variables. Es ist nicht ausreichend, das Klima alleinig mit einem Mittelwert zu beschreiben. Schon auf der Tagesskala beobachten wir eine hohe Variabilität des Wetters. Diese Variabilität zeigt sich auch bei der Witterung. Gleiches gilt für längere Zeitskalen. So sind im Winter die Temperaturen im Mittel geringer als im Sommer. Aber auch einzelne Jahreszeiten unterscheiden sich. Es gibt milde oder kalte Winter und trockene oder feuchte Sommer.

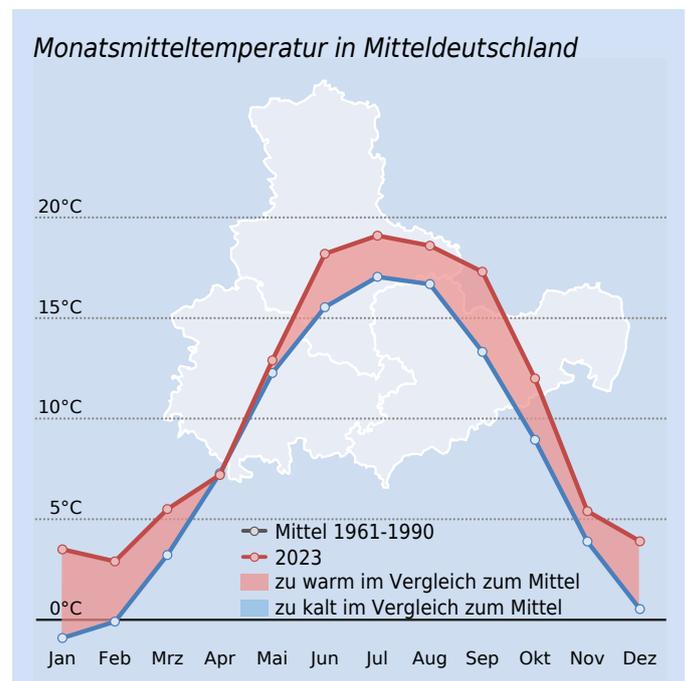
Die beschriebene Variabilität zeigt sich nicht nur bei der Temperatur. Sie gilt für alle meteorologischen Elemente (z. B. Niederschlag und Sonnenscheindauer). Auch ein sich durch den Klimawandel erwärmendes Klima weist diese Variabilität auf: Es wird nicht jedes Jahr etwas wärmer sein als das vorhergehende. Einzelne Jahre können wärmer, aber auch kälter sein als der mittlere Verlauf.

Klimatrend

Von einem Klimatrend sprechen wir, wenn innerhalb einiger Jahrzehnte verstärkt eine Veränderung, z. B. häufiger positive Temperaturabweichungen, festzustellen sind oder vermehrt bisher beobachtete Wertebereiche zunehmend unter- bzw. überschritten werden. Die Änderungsrichtung kann durchaus kurzzeitig unterbrochen oder abgemildert sein. Entscheidend ist, dass die zu beobachtende Änderungsrichtung über einen langen Zeitraum anhält. Solche langfristigen Änderungen können natürliche Ursachen haben, wie z. B. Veränderungen der Erdbahnparameter oder der Sonnenaktivität. Aber auch der Mensch greift mit seinen Aktivitäten in das Klimasystem ein.

Extremereignisse

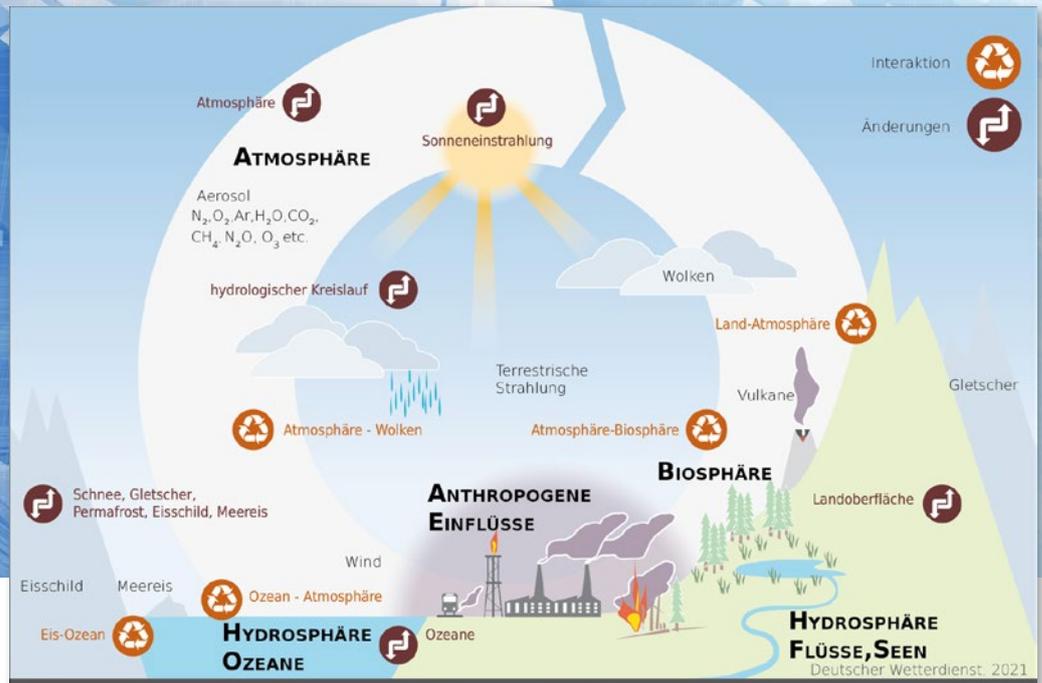
Extremereignisse sind sehr seltene Ereignisse, die stark von den mittleren Bedingungen abweichen. Ein Ereignis kann aus vielfältigen Gründen zu einem Extremereignis werden. Es kann ein auf einen



▲ 2023 war in Mitteldeutschland das wärmste Jahr seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Bis auf den April und Mai wiesen alle Monate zum Teil deutlich höhere Mitteltemperaturen auf als während der international gültigen Klima-Referenzperiode der WMO 1961-1990.

Tag bezogenes Ereignis sein, wie eine Orkanböe, ein längerfristiges Ereignis, wie eine langanhaltende Trockenheit, oder ein für den Zeitpunkt im Jahr sehr untypisches Ereignis. So ist beispielweise eine Temperatur von 25 °C an einem Julitag nicht ungewöhnlich. 25 °C am Neujahrstag wären außergewöhnlich und somit ein Extremereignis.

Extrema gehören zum Wetter und Klima. So wie sie zum Klima der Vergangenheit gehört haben, so werden sie auch zum Klima der Zukunft gehören. Die Analyse der Intensität und der Häufigkeit des Auftretens solcher extremer Wetterereignisse ist ein wesentlicher Schwerpunkt in der aktuellen Klimaforschung.



▲ In einem Klimamodell werden die wesentlichen Prozesse und Wechselwirkungen in der Natur beschrieben. Einige davon sind hier dargestellt. (Quelle: DWD)

Klimamodelle

Die beobachteten Klimaschwankungen und -trends der Vergangenheit einfach in die Zukunft zu extrapolieren, ist im Hinblick auf den Klimawandel nicht sinnvoll. Daher werden Klimamodelle – als computergestützte Werkzeuge zur vereinfachten Beschreibung von in der Natur ablaufenden Erscheinungen – für die Abschätzung der zukünftigen Klimaentwicklungen genutzt.

Die Welt als Gitter

In einem Klimamodell wird eine Vielzahl an (Teil-) Modellen zu einem großen Modell zusammengefasst. Die Teilmodelle sind in der Lage, alle wesentlichen Prozesse der Atmosphäre, Hydrosphäre, Kryosphäre und Biosphäre unseres Planeten Erde zu beschreiben. Eine Eins-zu-Eins-Umsetzung aller in der Realität ablaufenden Prozesse in Klimamodellen ist jedoch nicht möglich. Zum einen sind nicht alle Prozesse in der Natur hinreichend bekannt, zum anderen erfordert dies einen extrem hohen Aufwand an Computerrechenzeit.

Für die Modellierung werden die Atmosphäre und die Ozeane der Erde mit einem dreidimensionalen

Gitternetz überzogen. Die Auflösung (Gitterpunktabstand) globaler Klimamodelle ist sehr grob, damit sie innerhalb einer akzeptablen Rechenzeit über viele Jahre gerechnet werden können. Obwohl diese Modelle die grundlegende großräumige Variabilität des Klimas ausreichend beschreiben, reicht die Auflösung nicht aus, um Unterschiede in den Ausprägungen des Klimawandels einer bestimmten Region der Erde (z. B. Deutschland) detailliert darzustellen. Hierfür werden regionale Klimamodelle eingesetzt, deren Gitterpunkte ein erheblich engmaschigeres Netz bilden als diejenigen der globalen Klimamodelle. Als Antrieb nutzen regionale Klimamodelle die Ergebnisse der globalen Klimamodelle.

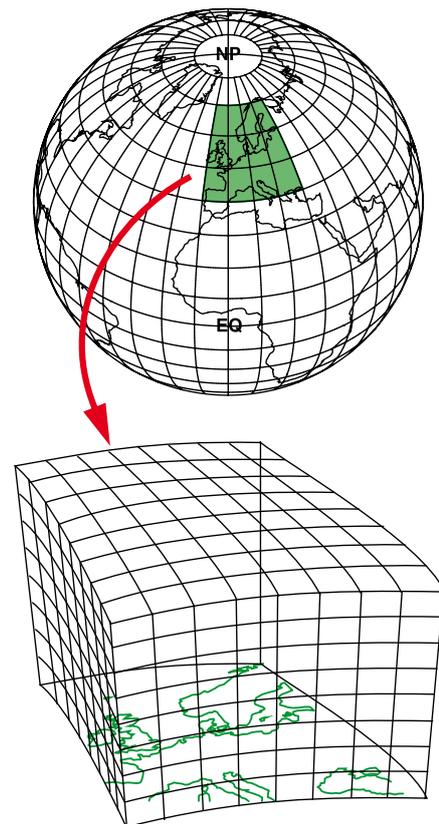
Für Deutschland liegen aktuell Simulationen mit einer räumlichen Gitterweite von 12,5 km und 3 km vor. Das bedeutet zum Beispiel, dass die simulierte Temperatur nur alle 12,5 km bzw. 3 km einen anderen Wert annehmen kann.

Eine belastbare Aussage ist für eine einzelne Gitterzelle nicht möglich. Es müssen immer mehrere Gitterzellen zusammengefasst werden. Üblicherweise wird dafür eine Matrix von drei mal drei Gitterzellen genutzt. Bei einer Modellauflösung von beispielsweise 12,5 km sind deshalb nur Aussagen für eine Region von 37,5 km x 37,5 km möglich.

Viele Modelle, viele Ergebnisse

Weltweit werden von einer Vielzahl von Forschungsgruppen Klimamodelle mehr oder weniger unabhängig voneinander entwickelt. Einzelne Modellkomponenten werden dadurch unterschiedlich beschrieben, was wiederum zu unterschiedlichen Ergebnissen führen kann. Ursache hierfür sind die für die Entwicklung eines Modells notwendigen vereinfachten Grundannahmen über die in der Natur ablaufenden Prozesse.

Die vorhandene Bandbreite des Ensembles (= Gruppe von Klimaprojektionen) ist ein wichtiger Hinweis auf die Güte des Verständnisses der natürlichen Prozesse. Je größer die Bandbreite ist, desto vorsichtiger sollten Aussagen zum Beispiel über beschriebene Änderungssignale formuliert werden.



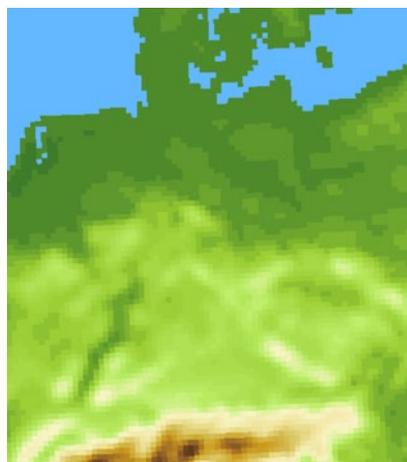
 Max-Planck-Institut für Meteorologie

▲ Beispielhafte Darstellung von Modellgitterzellen. Sie unterteilen die Atmosphäre nicht nur in der Horizontalen, sondern bilden auch in der Vertikalen eine Reihe von Schichten. (Quelle: Max-Planck-Institut für Meteorologie)

Je engmaschiger, desto genauer - hier am Beispiel des Höhenreliefs von Deutschland in unterschiedlichen Modellgitterauflösungen. Die Auswirkungen der Beschreibung einer Region auf Basis eines wesentlich dichteren Gitternetzes sind deutlich erkennbar. ▼



Globales Klimamodell (sehr grob)
1,875° (ca. 90 km)



Regionales Klimamodell (grob)
0,11° (ca. 12,5 km)



Regionales Klimamodell (fein)
0,0275° (ca. 3 km)



Klimawandel und Klimaprojektionen

Der Begriff Klimawandel beschreibt eine Änderung der vorhandenen klimatischen Verhältnisse an einem Ort oder auf der gesamten Erde. Hinsichtlich der Temperatur kann diese Änderung grundsätzlich eine Erwärmung oder eine Abkühlung sein. Der viel diskutierte Klimawandel wird nicht durch natürliche Einflüsse (Erdbahnparameter oder Variationen der Solarstrahlung) hervorgerufen. Die Aktivitäten des Menschen haben einen signifikanten Einfluss auf das globale und regionale Klima.

Klimafaktor Mensch

Der Mensch wirkt auf vielfältige Weise auf das Klima ein. Wesentlich sind zwei Bereiche:

1. Durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen entstehen unter anderem große Mengen an Kohlendioxid, das direkt in die Atmosphäre entweicht.
2. Durch Abholzung, Aufforstung und Versiegelung verändert der Mensch die Landnutzung auf der regionalen und globalen Skala.

Nur unter der gemeinsamen Berücksichtigung der natürlichen Einflüsse sowie derjenigen, die auf den Menschen zurückzuführen sind, können die beobachteten Änderungen des globalen Klimas erklärt werden.

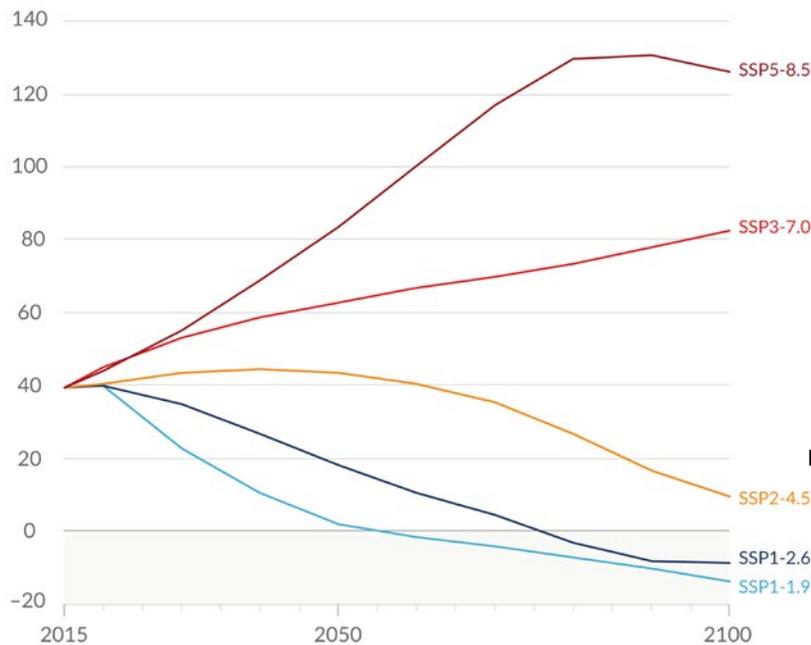
Es ist nicht möglich, den Einfluss des Menschen auf das Klima der nächsten Jahre und Jahrzehnte genau zu beschreiben. Möglich sind aber Annahmen über den wahrscheinlichen Verlauf der Einflussnahme. Diese Annahmen werden in der Wissenschaft Szenarien genannt. In den letzten Jahren wurde eine Vielzahl denkbarer Szenarien entwickelt, die einen mehr oder minder starken Einfluss des Menschen auf das Klima beschreiben. In Vorbereitung auf den 5. Sachstandsbericht des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) wurden vier repräsentative Szenarien oder „Konzentrationspfade“ (engl. Representative Concentration Pathways - RCPs) ausgewählt. Hierbei handelt es sich um Szenarien, die den Verlauf von Treibhausgaskonzentrationen und den Einfluss von Aerosolen (kleinen Partikeln in der Atmosphäre wie z. B. Rußflocken) gemeinsam als Strahlungsantrieb beschreiben. Der Begriff Strahlungsantrieb ist vereinfacht als „zusätzliche/erhöhte“ Energiezufuhr für die Erde zu verstehen.

Die Szenarien werden RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 und RCP8.5 genannt. Hierbei steht die jeweilige Zahl (z. B. 8.5) für die „zusätzliche“ der Erde zur Verfügung stehende Energie von $8,5 \text{ W/m}^2$ im Jahr 2100 gegenüber der solaren Einstrahlung in den Jahren 1861–1880. Dieser Zeitraum repräsentiert den Zustand des Klimas, bevor der Mensch wesentlichen Einfluss auf die Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre genommen hat (im Weiteren vorindustrielles Niveau genannt).

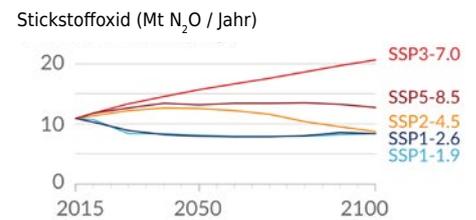
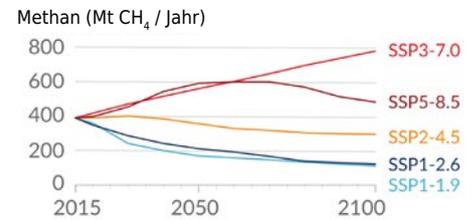
Das **Szenario-mit-konsequentem-globalen-Klimaschutz (RCP2.6)** basiert auf Annahmen, die der 2-Grad-Obergrenze entsprechen. Ziel ist eine Welt, in der im Jahr 2100 die globale Erwärmung nicht mehr als 2 °C im Vergleich zum vorindustriellen Niveau beträgt. Dafür wird ein Szenarien-Verlauf angenommen, der mit einer sehr starken und sehr schnellen Reduktion der Emission von Treibhausgasen gegenüber dem heutigen Zustand verbunden ist. Der Höchstwert des Strahlungsantriebes wird vor dem Jahr 2050 ($3,0 \text{ W/m}^2$) erreicht. Von da an



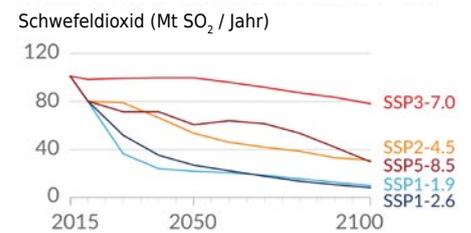
Kohlendioxid (Gt CO₂ / Jahr)



Ausgewählte Beiträge von Nicht-CO₂-Treibhausgasen



Ein Luftschadstoff- und Aerosolbeitrag



▲ Jährliche Emissionen über den Zeitraum 2015-2100. Dargestellt sind die Emissionsverläufe für Kohlendioxid (CO₂, Gt CO₂ pro Jahr, linkes Diagramm), sowie für Methan (CH₄, Mt CH₄ pro Jahr, rechts oberes Diagramm), Stickoxide (N₂O, Mt N₂O pro Jahr, rechts mittleres Diagramm), und Schwefeldioxid (SO₂, Mt SO₂ rechts unteres Diagramm) (IPCC AR6 Technical Summary, 2021, Fig. TS.4).

sinkt er kontinuierlich auf den Wert 2,6 W/m² im Jahr 2100. Hierzu ist ein Wandel hin zu einer Welt notwendig, deren Energieversorgung nicht mehr auf der Verbrennung von fossilen Kohlenstoffvorräten basiert. Das Maximum weltweiter Emissionen von Treibhausgasen muss dafür vor dem Jahr 2020 liegen. Noch vor dem Jahr 2080 dürfen keine wesentlichen Emissionen von Treibhausgasen mehr vorhanden sein (Null-Emission).

Das **Szenario-mit-moderaten-globalen-Klimaschutz (RCP4.5)** beschreibt einen Weg zwischen einer Welt mit konsequentem Klimaschutz und einer Welt, die im Wesentlichen fossile Energieträger nutzt. Es zeigt eine Zukunft, bei der nach 2040 die Treibhausgasemissionen reduziert werden und diese bis 2080 bei unter der Hälfte des heutigen Niveaus liegen.

Das **Szenario-ohne-globalen-Klimaschutz (RCP8.5)** beschreibt eine Welt, in der die Energieversorgung im Wesentlichen auf der Verbrennung fossiler Kohlenstoffvorräte beruht. Der Ausstoß von Treibhausgasen wird sich gegenüber heute mit einem stetigen Anstieg des Strahlungsantriebes bis hin zum Jahr 2100 erhöhen. Der Titel **Szenario-ohne-globalen-Klimaschutz** bezieht sich dabei auf die Annahme, dass jeder Zugewinn an Lebensqualität und Lebensstandard durch die Nutzung fossiler Energiequellen erfolgt.

Für den 6. Sachstandbericht wurden die vorhandenen Szenarien weiterentwickelt. Die möglichen ökonomi-



schen und gesellschaftlichen Entwicklungspfade (Englisch: Shared Socioeconomic Pathways – SSP), die zu den unterschiedlichen RCP-Pfaden führen könnten, werden mit sogenannten Narrativen beschrieben. Diese Narrative beinhalten die sozioökonomischen, demographischen, technologischen, politischen, institutionellen und Lebensstil-Trends. Es werden fünf Entwicklungspfade (SSP1 bis SSP5) genutzt.

Diese SSPs beschreiben einen nachhaltigen (SSP1) und mittleren (SSP2) Weg sowie einen Weg regionaler Rivalitäten (SSP3) und fossiler Entwicklung (SSP5). Die beiden Szenarienprojekte wurden so konzipiert, dass sie sich gegenseitig ergänzen. Die RCPs legen Pfade für die Treibhausgaskonzentrationen fest und damit auch das Ausmaß der Erwärmung, die bis zum Ende des Jahrhunderts eintreten könnte. Die SSPs hingegen geben die Bühne vor, auf der Emissionsreduzierungen erreicht – oder eben nicht erreicht – werden. Ein Klimaszenario ist daher immer eine Kombination aus einem RCP und einem SSP. Beispiele für diese Kombinationen sind SSP1-1.9 oder SSP5-8.5. Dabei kann meist mehr als ein SSP zu einer Entwicklung eines RCP führen.

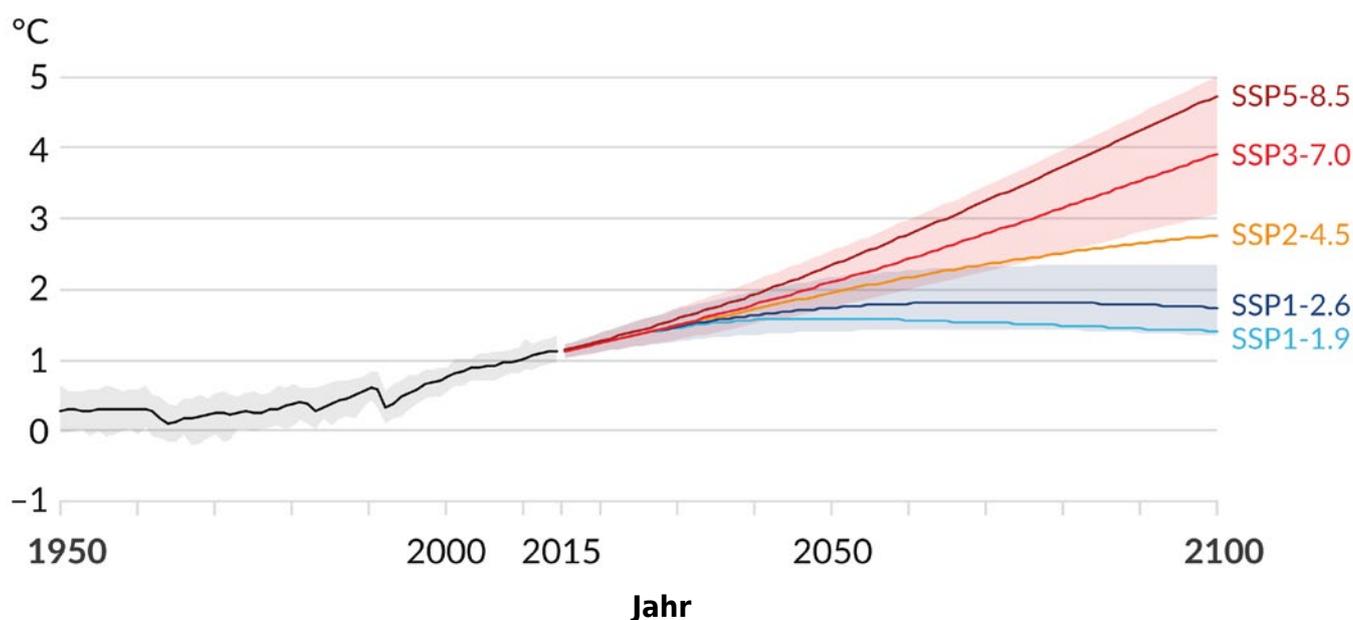
In Kombination mit den RCPs werden im 6. Sachstandsbericht des Weltklimarats fünf dieser Szenarien mit höherer Priorität betrachtet: SSP1-1.9 und SSP1-2.6 sind Szenarien, welche einen Pfad wählen, der die

globale Erwärmung entsprechend des Pariser Klimaabkommens bis zum Jahr 2100 auf unter 1,5 °C bzw. 2 °C über dem vorindustriellen Niveau begrenzt. Die Szenarien SSP2-4.5 und SSP3-7.0 beschreiben unterschiedliche, moderate Emissionswege. Die stärkste Beeinflussung durch den Menschen wird durch das SSP5-8.5 Szenario beschrieben. Hier wird davon ausgegangen, dass jeder weitere Gewinn an Lebensstandard durch die Nutzung fossiler Energieträger erreicht wird.

Was wäre wenn? - Klimaprojektionen

Wird ein globales Klimamodell dazu genutzt, den möglichen Klimawandel auf der Basis eines Szenarios zu berechnen, so erfolgt dies im Rahmen einer Klimaprojektion. Eine Klimaprojektion darf nicht mit einer Vorhersage verwechselt werden. Sie ist eine „was wäre wenn“-Rechnung auf der Basis des gewählten Szenarios. Die Klimaprojektionen für die verschiedenen Szenarien helfen, die zu erwartenden Klimaveränderungen in eine Bandbreite einzuordnen. Zum Beispiel, wird untersucht, welche die minimal oder maximal zu erwartenden Änderungen sind.

Letztendlich werden die realen Veränderungen wahrscheinlich innerhalb dieser Bandbreite liegen. Alle Klimaprojektionen in der Bandbreite sind nach heutigem Wissensstand gleich wahrscheinlich.



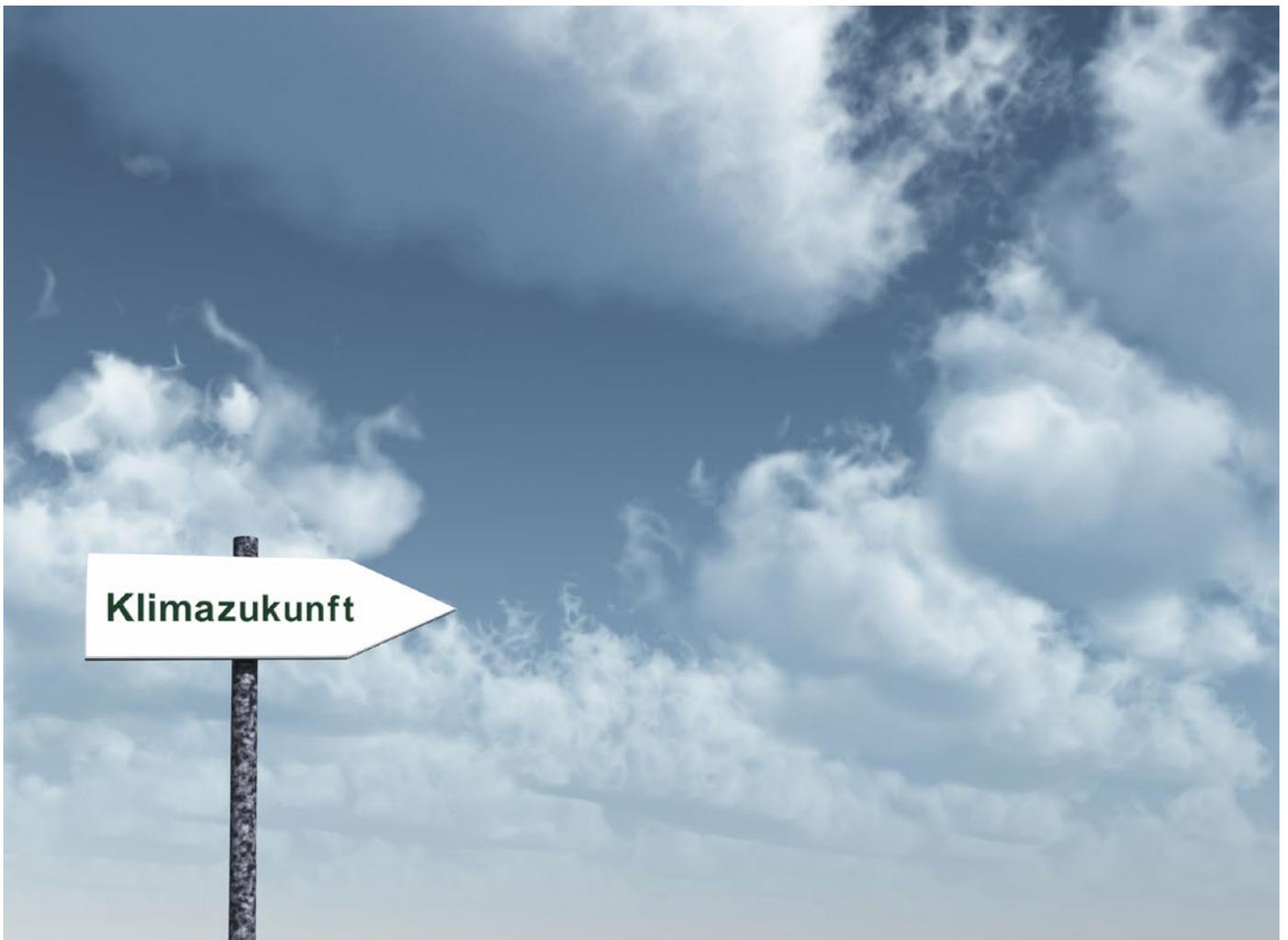
▲ Änderungen der globalen Oberflächentemperatur in °C im Vergleich zu 1850-1900. Diese Änderungen wurden ermittelt durch Kombination von CMIP6-Modellsimulationen mit Beobachtungen, die auf der simulierten Erwärmung in der Vergangenheit beruhen. Änderungen im Vergleich zu 1850-1900 werden auf der Grundlage von 20-jährigen Mittelungszeiträumen berechnet. Hier sind es 0,85 °C des beobachteten Anstieges der globalen Oberflächentemperatur von 1850-1900 bis 1995-2014 und den simulierten Veränderungen im Vergleich zu 1995-2014. Die Bandbreiten werden gezeigt für SSP1-2.6 und SSP3-7.0. (Quelle: IPCC AR6 WGI SPM.8)

Für diesen Bericht werden Datensätze des Mitteldeutschen Kernensembles genutzt. Diese umfassen je Szenario 7 Modellläufe, die den Zeitraum 1961 bis 2100 abdecken.

Regionale Datensätze für die SSP-Szenarien liegen aktuell noch zu wenige vor. Daher werden in diesem Bericht die regionalen Ergebnisse auf der Basis der RCPs vorgestellt.

Um den Unterschied zwischen dem heutigen und einem zukünftigen Zustand zu berechnen, werden jeweils zwei 30-Jahres-Zeiträume genutzt. Für jeden Zeitraum wird ein mittlerer Zustand berechnet. Als Bezugszeitraum für das beobachtete Klima dienen die Jahre 1961 bis 1990 aus den Modellen. Für die Temperatur wird weiterhin ein Bezug zum frühindustriellen Zeitraum 1881-1910 dargestellt. Für die Zukunft werden zwei Zeiträume analysiert, sie werden im Weiteren kurzfristiger und langfristiger Planungs-

horizont genannt. Der kurzfristige Planungshorizont beschreibt den mittleren Zustand der Jahre 2021 bis 2050. Die Jahre 2071 bis 2100 werden als Grundlage für den langfristigen Planungshorizont genutzt. Die zukünftigen Änderungen werden als ein mittlerer Wert und als Bandbreite angegeben. Beschrieben wird die Bandbreite über den geringsten und höchsten Änderungswert aus den vorhandenen Datensätzen.



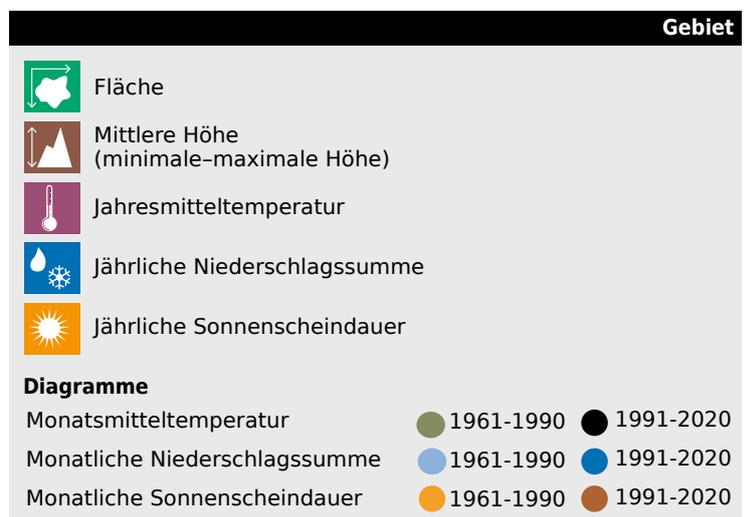
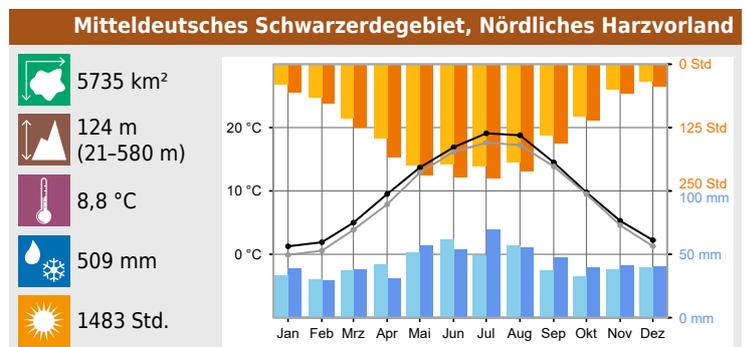
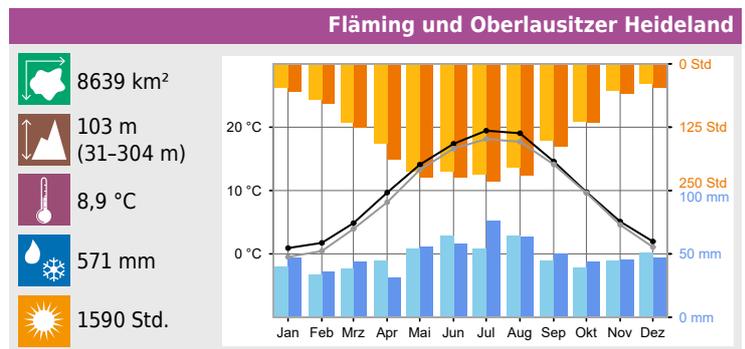
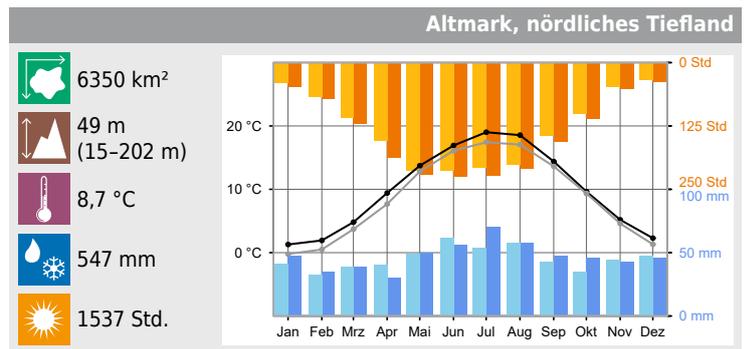
Regionale Vielfalt – Das Klima der mittel- deutschen Länder

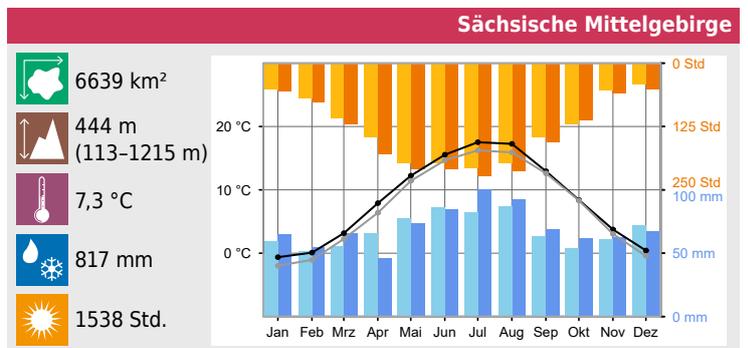
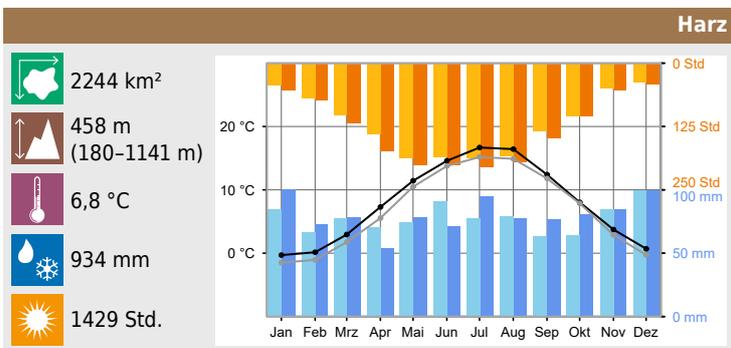
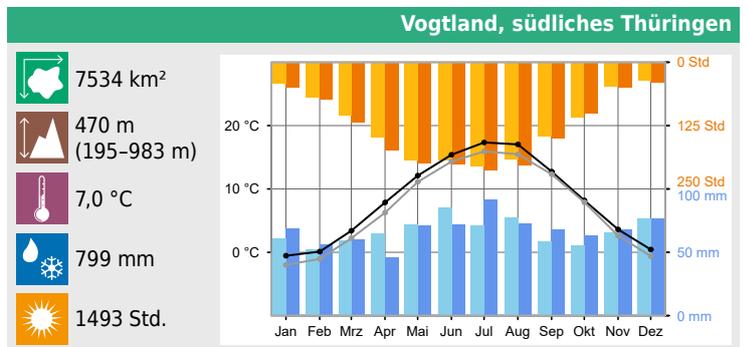
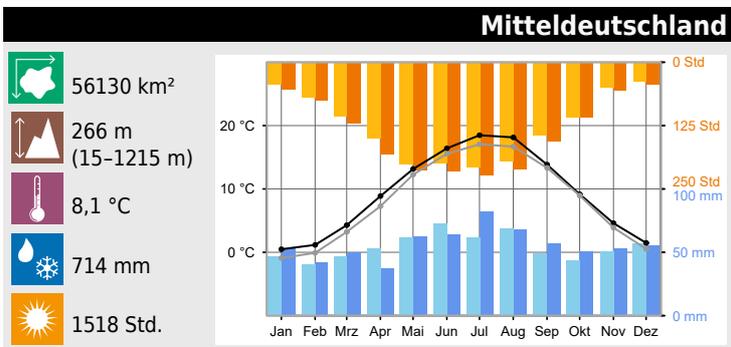
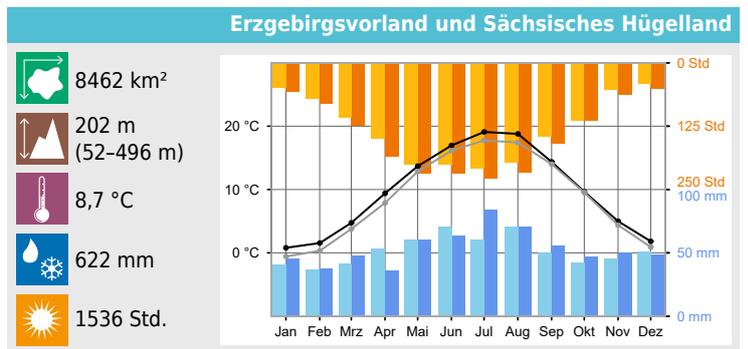
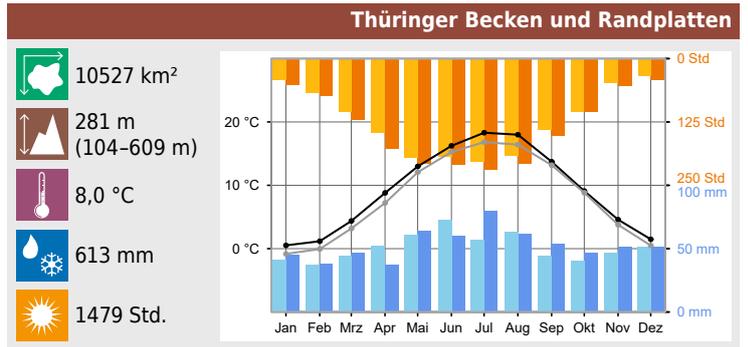
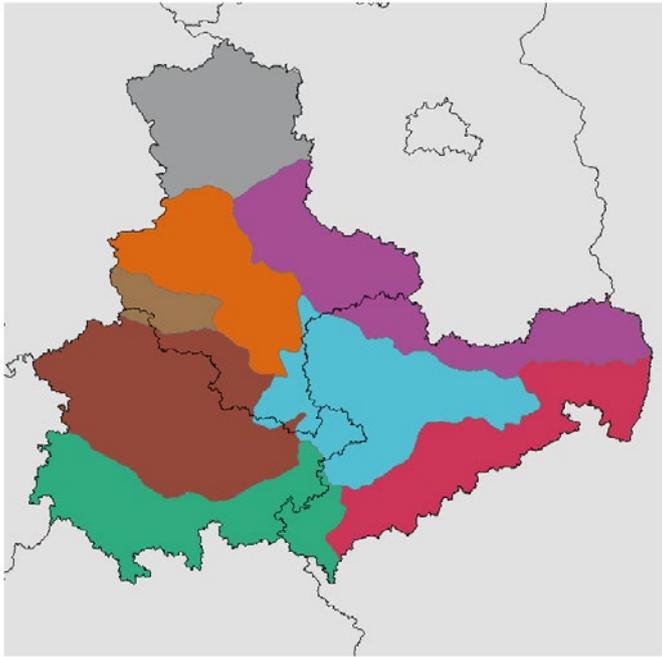
Eine Beschreibung des Klimas der mitteldeutschen Länder (Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen) mit Hilfe von Flächenmitteln für das Gesamtgebiet ist nicht immer sinnvoll. Oft lässt sich die entsprechende Situation kleinräumig/regional besser beschreiben. Je nach Ereignis oder Thema kann die dafür notwendige regionale Einteilung sich deutlich unterscheiden und teilweise räumlich sehr eng begrenzt sein. Während für einzelne Wetterphänomene eine sehr feine Aufteilung nötig wäre, ist es auf der klimatischen Zeitskala möglich, größere Regionen zu definieren.

Die hier verwendete Einteilung fasst vorhandene naturräumliche und landschaftliche Abgrenzungen zu acht Regionen zusammen. Die Regionen sollen den Übergang vom maritimen zum kontinentalen Einfluss einerseits und die durch das Relief vorhandenen Strukturen andererseits differenzieren.

In der Karte ist diese regionale Aufteilung dargestellt. Die zugehörigen Klimadiagramme zeigen die Mittelwerte von Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer der international gültigen Klima-Referenzperiode der WMO 1961–1990 und der aktuellen Klimanormalperiode für die jüngere Vergangenheit 1991–2020. Die Zahlenwerte links neben jeder Abbildung beziehen sich auf 1961–1990. Auch für das gesamte mitteldeutsche Gebiet sind die entsprechenden Daten abgebildet.

Auf den nachfolgenden Seiten werden die Veränderungen des Klimas in der Vergangenheit und die möglichen Entwicklungen in der Zukunft für Mitteldeutschland aufgezeigt. Unterscheiden sich eine oder mehrere Regionen deutlich, so werden diese explizit angegeben.







Temperatur

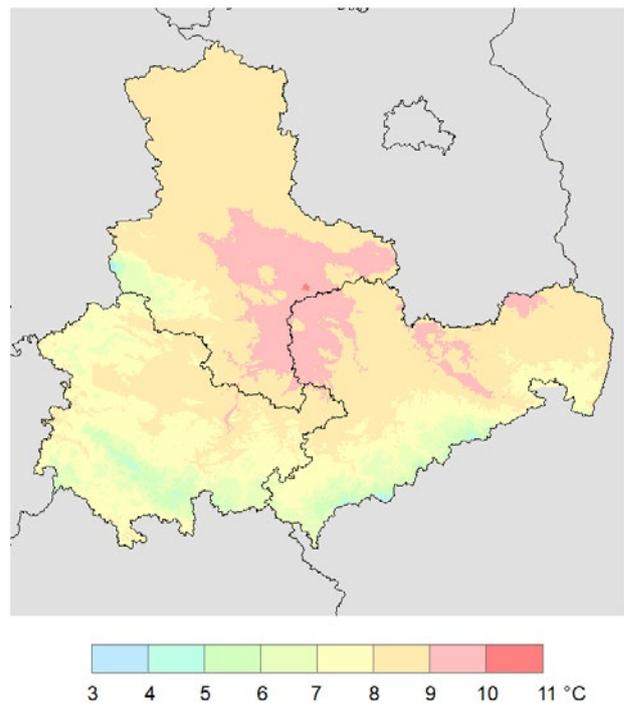
Temperatur

Die Jahresdurchschnittstemperatur in Mitteldeutschland beträgt für die Klima-Referenzperiode der WMO 1961–1990 8,1 °C. Dies liegt nur geringfügig unter dem vieljährigen Mittelwert von 8,2 °C für Deutschland. Das Bundesland Thüringen hat die geringste Mitteltemperatur von 7,6 °C, gefolgt von Sachsen mit 8,1 °C und Sachsen-Anhalt mit 8,7 °C. Bei den Regionen ist der Harz mit 6,8 °C die kühlsste. Die Region Fläming-Oberlausitzer Heideand ist mit 8,9 °C die wärmste Region. Die Temperaturverteilung entspricht in etwa der mittleren Höhe der Region, aber auch die geografische Lage hat einen Einfluss.

Veränderungen der Lufttemperatur seit 1881

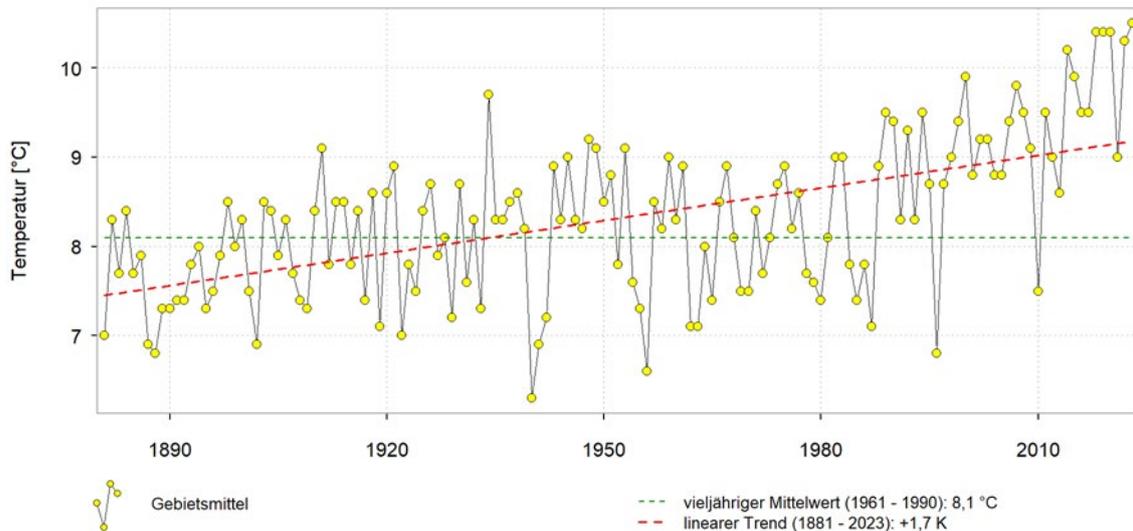
Von 1881 bis 2023 ist das Jahresmittel der Lufttemperatur für Deutschland um 1,8 °C angestiegen. Der lineare Trend für Mitteldeutschland ist mit 1,7 °C etwas geringer. Allerdings sind weitere regionale Unterschiede zu erkennen. Während sich die Region Altmark, nördliches Tiefland um etwa 1,5 °C erwärmt hat, liegt der Trend für die Region Thüringer Becken und Randplatten bei 1,9 °C. Diese beiden Regionen und die Region Vogtland, südliches Thüringen verzeichnen mit durchschnittlich 1,1 °C den höchsten Anstieg zwischen den vieljährigen Mittelwerten der Klima-Referenzperiode der WMO 1961–1990 und der aktuellen Klimanormalperiode 1991–2020. In der Region Fläming und Oberlausitzer Heideand und in den Sächsische Mittelgebirge beträgt die Differenz zwischen den beiden Referenzperioden 0,9 °C. Das Jahr 2023 war in allen Regionen das bisher wärmste Jahr. Das Jahr 1940 war in allen Regionen das bisher kälteste Jahr. Eine Häufung von besonders warmen Jahren ist in den letzten zehn Jahren zu beobachten. 2014 lag die Mitteltemperatur das erste Mal über 10 °C. Mittlerweile haben weitere 5 Jahre diesen Wert überschritten (2018, 2019, 2020, 2022, 2023). In Mitteldeutschland liegen 14 der 19 wärmsten Jahre im 21. Jahrhundert.

Die bisher höchste Temperatur in Mitteldeutschland wurde am 20. Juli 2022 an der Station Huy-Pabstorf in Sachsen-Anhalt mit 40 °C beobachtet. Dies ist auch das erste und einzige Mal, dass hier die 40 °C-Marke



▲ Jahresmitteltemperaturen in Mitteldeutschland im Referenzzeitraum 1961–1990 als Flächendarstellung der Rasterwerte (1 km x 1 km).

Temperatur



▲ Es ist wärmer geworden in Mitteldeutschland: Jahresmittel der Temperatur (Mittelwerte der Rasterfelder von Mitteldeutschland aus Stationsmessungen in 2 m Höhe) von 1881-2023.

erreicht bzw. überschritten wurde. Die tiefste Temperatur wurde am 1. Februar 1956 auf dem Brocken mit $-24,2\text{ °C}$ registriert. Auf dem Fichtelberg lag die Mitteltemperatur im Februar 1956 bei $-14,2\text{ °C}$. Dies ist das kälteste Monatsmittel aller Stationen Mitteldeutschlands. Mit $24,5\text{ °C}$ hat die Station Bad Lauchstädt im Juli 2006 das bisher höchste Monatsmittel erreicht.

Der auch global zu beobachtende Trend der Erwärmung der Atmosphäre ist überlagert durch die natürliche Variabilität des Klimasystems, durch die es auch immer wieder Zeiträume gibt, in denen der Temperaturanstieg stagniert, oder sogar Phasen, in denen die Temperatur kurzfristig zurückgegangen ist. Bei den Rückgängen handelt es sich um die Folge periodischer

Schwankungen, die eng an die Zirkulation der Ozeane gekoppelt sind. Die periodischen Schwankungen überlagern den Einfluss der externen Klimaantriebe, zu denen neben den natürlichen Faktoren wie Sonneneinstrahlung und Vulkanaktivität auch die vom Menschen verursachten Änderungen der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre zum Beispiel durch Landnutzungsänderungen und Luftverschmutzungen zählen.

Der Zeitraum 1910 bis 1950 und insbesondere der Zeitraum seit der zweiten Hälfte der 1980er-Jahre sind geprägt von einer ansteigenden Temperatur, während diese dazwischen weitestgehend auf demselben Niveau verharret. Auch zum Ende des 19. Jahrhunderts blieb die Temperatur im Wesentlichen konstant.



Die zehn wärmsten Jahre in Mitteldeutschland seit 1881

2023	10,5 °C
2018	10,4 °C
2019	10,4 °C
2020	10,4 °C
2022	10,3 °C
2014	10,2 °C
2000	9,9 °C
2015	9,9 °C
2007	9,8 °C
1934	9,7 °C

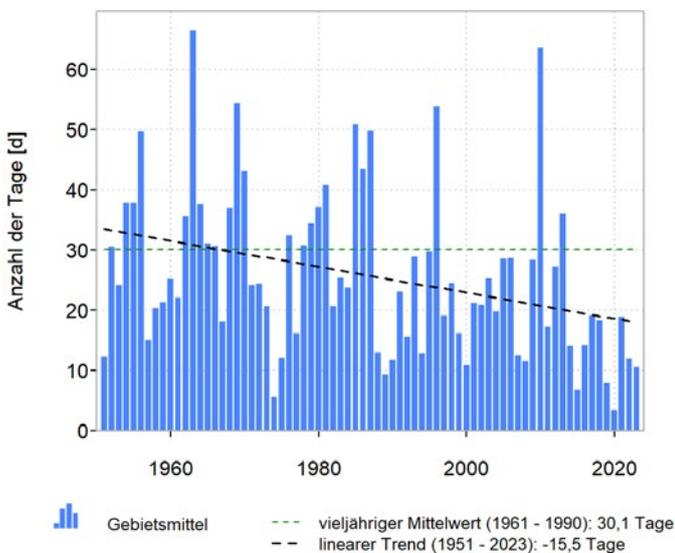
Jahreszeitliche Unterschiede

Der vieljährige Mittelwert der Lufttemperatur für die Wintermonate (Dezember, Januar, Februar - 1961-1990) liegt mit $-0,1\text{ °C}$ für Mitteldeutschland knapp unter dem Gefrierpunkt. Während in den Sächsischen Mittelgebirgen die Mitteltemperatur bei $-1,1\text{ °C}$ liegt, erreichte sie im Mitteldeutschen Schwarzerdegebiet, Nördliches Harzvorland $0,6\text{ °C}$. Während der aktuellen Klimanormalperiode 1991-2020 ist die Region Altmark, nördliches Tiefland mit $1,8\text{ °C}$ die wärmste. Die Region Fläming und Oberlausitzer Heideland ist mit $17,5\text{ °C}$ die wärmste Region in den Sommermonaten (Juni, Juli, August; Referenzzeitraum 1961-1990). Der Harz erreichte eine Mitteltemperatur von $14,6\text{ °C}$, während der Sommer in Mitteldeutschland bei durchschnittlich $16,4\text{ °C}$ lag.

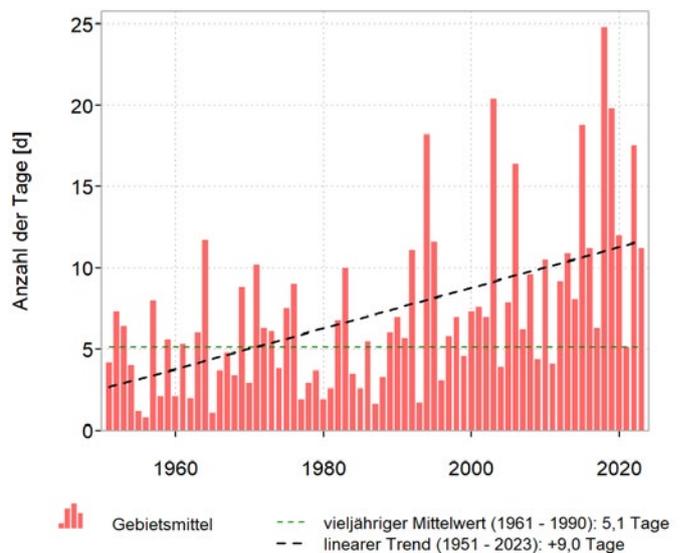
Veränderung von Kenntagen

Die Anzahl Heiße Tage (Tagesmaximum der Lufttemperatur $\geq 30\text{ °C}$) ist, über Mitteldeutschland gemittelt, seit den 1950er-Jahren von etwa drei Tagen im Jahr auf derzeit durchschnittlich zwölf Tage im Jahr angestiegen. Die mittlere Anzahl der Eistage (Tagesmaximum der Lufttemperatur $< 0\text{ °C}$) hat im gleichen Zeitraum von 34 Tagen auf 19 Tage abgenommen. In den wärmsten Regionen Mitteldeutschlands finden sich auch die meisten Hitzesituationen. Im Zeitraum 1961-1990 lag die mittlere Anzahl von heißen Tagen im Fläming und Oberlausitzer Heideland bei sieben Tagen im Jahr. 1991-2020 sind diese Ereignisse inzwischen auf durchschnittlich 13 Tage pro Jahr angestiegen. Auch in der Region Harz ist mittlerweile mit fünf Heißen Tagen zu rechnen. Dies entspricht einer Verdreifachung der Anzahl der Heißen Tage gegen-

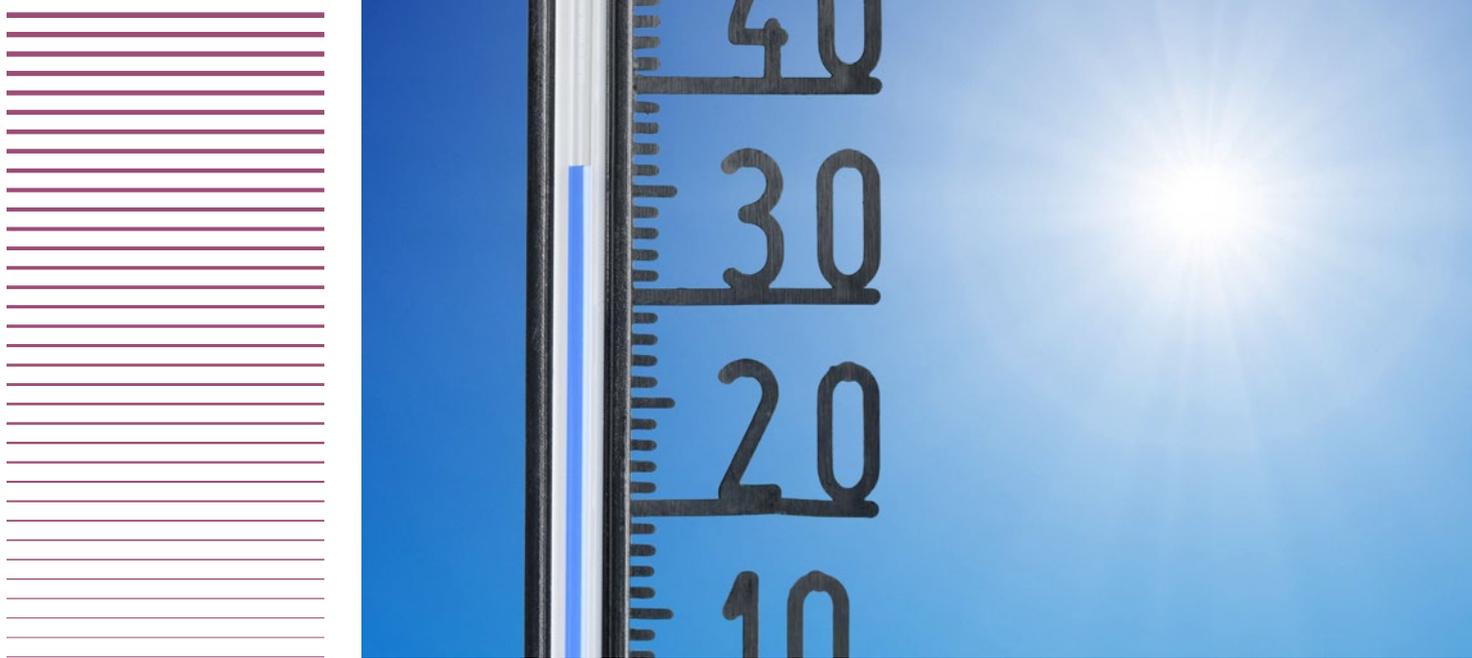
Eistage



Heiße Tage



▲ Die Zahl der Eistage nimmt in Mitteldeutschland ab, Heiße Tage treten häufiger auf. Die Darstellung zeigt die Jahreswerte für Mitteldeutschland von 1951-2023 sowie den entsprechenden linearen Trend.



über dem Zeitraum 1961-1990. Die höchste Anzahl an Eistagen ist im Südosten von Mitteldeutschland zu erwarten. Hier klettert im Mittel an 41 Tagen pro Jahr die Temperatur nicht über die Nullgradgrenze (Klima-Referenzperiode der WMO 1961-1990). Relativ mild ist es wiederum im Norden mit im Mittel weniger als 24 Eistagen pro Jahr (Mitteldeutsches Schwarzerdegebiet, Nördliches Harzvorland; Altmark, nördliches Tiefland). Beim Vergleich der Mittelwerte für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2020 ergeben sich die geringsten Veränderungen für die Region Sächsische Mittelgebirge mit einem Minus von etwa 20 Prozent. Die größten Veränderungen sind in der Altmark, nördliches Tiefland zu beobachten, in der sich die Anzahl der Eistage um 33 Prozent verringert hat.

Zukunft

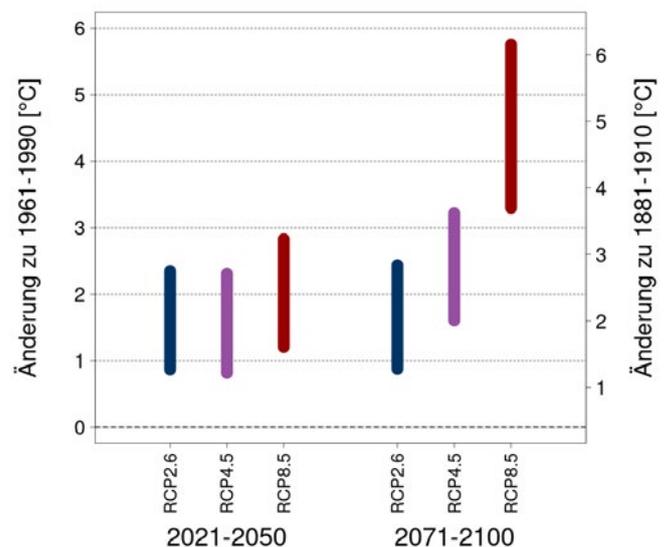
Im Rahmen der Pariser Klimaschutzkonferenz COP21 wurde im Aktionsplan das Ziel definiert, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2 °C, möglichst auf 1,5 °C zu begrenzen. Die Zahl bezieht sich auf einen vorindustriellen Zustand. In Deutschland gibt es flächendeckende Aufzeichnungen seit 1881. Daher wurde ein frühindustrieller Zeitraum 1881 bis 1910 definiert.

Alle nachfolgenden Angaben beziehen sich auf den Bezugszeitraum 1961 bis 1990. Die Temperaturänderung zwischen dem frühindustriellen Zeitraum und dem Bezugszeitraum 1961 bis 1990 beträgt 0,4 °C. Um einen Bezug zum Pariser Klimaabkommen auf der lokalen Skala zu erhalten, muss zu den Änderungswerten der Jahreswerte 0,4 °C addiert werden.

Ein weiterer Anstieg der Temperatur in Mitteldeutschland ist zu erwarten. Für den kurzfristigen Planungshorizont (2021-2050) beträgt dieser Anstieg etwa 1,6 bzw. 1,9 °C im Mittel (Median der Ensemble der beiden Szenarien). Der Unterschied zwischen den durch die Klimaprojektionen (**Szenario-mit-konsequenten-globalen-Klimaschutz** und **Szenario-ohne-globa-**

len-Klimaschutz) projizierten Änderungen ist gering. Die Bandbreite der Ergebnisse liegt zwischen 0,82 und 2,8 °C.

Die Temperaturentwicklung für den langfristigen Planungshorizont wird stark vom gewählten Szenario bestimmt. Basierend auf dem **Szenario-mit-konse-**



▲ Darstellung der Bandbreite der vorhandenen Klimaprojektionen für die Jahresmitteltemperatur von Mitteldeutschland. Dargestellt sind die vorliegenden Änderungssignale für den kurzfristigen (2021-2050) und langfristigen (2071-2100) Planungshorizont, jeweils als Änderungssignal zum Bezugszeitraum 1961-1990 (linke Achse) und zum frühindustriellen Zeitraum 1881-1910 (rechte Achse). Es werden je Planungshorizont die Ergebnisse für das Szenario-mit-konsequenten-globalen-Klimaschutz (RCP2.6, blau) denen moderaten Klimaschutzes (RCP4.5, violett) und des Szenario-ohne-globalen-Klimaschutz (RCP8.5, rot) gegenübergestellt. Die dargestellten Balken zeigen die Spannbreite zwischen dem kleinsten und größten Änderungssignal innerhalb des betrachteten Szenarios. Die Bandbreite wird aus dem Mitteldeutschen Kernensemble ermittelt (je 7 Klimaprojektionen für RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5)

Datenquelle: Mitteldeutsches Kernensemble (MDK)

Jahreszeitliche Mittelwerte der Temperatur und erwartete Änderungen in Mitteldeutschland gegenüber 1961-1990



	1961-1990	1991-2020	2021-2050 (RCP2.6)	2021-2050 (RCP4.5)	2021-2050 (RCP8.5)	2071-2100 (RCP2.6)	2071-2100 (RCP4.5)	2071-2100 (RCP8.5)
Frühjahr	7,6 °C	8,8 °C	+1,1 °C	+1,3 °C	+1,7 °C	+1,4 °C	+2,3 °C	+3,8 °C
Sommer	16,4 °C	17,7 °C	+2,0 °C	+1,6 °C	+2,1 °C	+1,9 °C	+2,6 °C	+4,8 °C
Herbst	8,7 °C	9,2 °C	+1,6 °C	+1,6 °C	+1,9 °C	+1,7 °C	+2,0 °C	+4,4 °C
Winter	-0,1 °C	1,0 °C	+1,8 °C	+1,4 °C	+2,1 °C	+2,0 °C	+2,1 °C	+4,3 °C
Jahr	8,1 °C	9,2 °C	+1,6 °C	+1,5 °C	+1,9 °C	+1,7 °C	+2,2 °C	+4,3 °C

quenten-globalen-Klimaschutz ist eine Erhöhung um 1,7 °C zu erwarten. Erreicht wird die Stabilisierung auf dem Niveau des kurzfristigen Planungshorizontes durch die sehr starke Reduktion der Treibhausgasemissionen innerhalb der Szenariendefinition. Die Änderung im Vergleich zum frühindustriellen Zustand beträgt 2,1 °C. Bezogen auf die untersuchten Regionen sind regionale Unterschiede kaum vorhanden. Unter den Bedingungen des **Szenario-ohne-globalen-Klimaschutz** beträgt die Erwärmung etwa 4,3 °C im Mittel. Die Bandbreite der Ergebnisse liegt zwischen 3,3 und 5,8 °C.

Jahreszeitliche Unterschiede

Die Erwärmung ist im Herbst und Winter ähnlich zum Jahrestrend. Der Temperaturtrend im Frühjahr ist geringer, während der Sommer sich stärker erwärmt. Dieses gilt für alle Szenarien. Mit der Temperaturzunahme geht eine markante Zunahme der Temperaturextreme einher. Mit tiefen Temperaturen verbundene Extreme nehmen stark ab und mit Wärme verbundene Extreme nehmen stark zu. Dadurch steigt die Häufigkeit von Hitzewellen.

KURZ NOTIERT

Beobachtung

- Ungebrochener Trend der Erwärmung in Mitteldeutschland
- Anstieg der Jahresmitteltemperatur um 1,7 °C seit 1881
- Änderung der Extreme: Mehr Heiße Tage, weniger Eistage

Kurzfristiger Planungshorizont

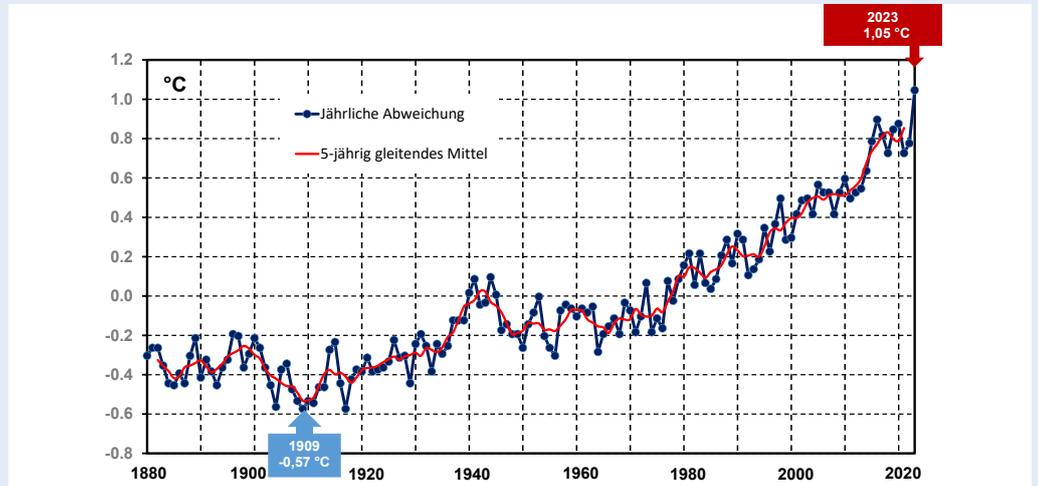
- Mitteldeutschlandweite mittlere Erwärmung um im Mittel 1,6 bis 1,9 °C

Langfristiger Planungshorizont

- Beim **Szenario-mit-konsequentem-globalen-Klimaschutz** Stabilisierung auf eine Erwärmung von 1,7 °C
- Beim **Szenario-ohne-globalen-Klimaschutz** mittlere Erwärmung um im Mittel 4,3 °C

Globale Temperaturentwicklung

2023 war das global wärmste Jahr seit Beginn der Aufzeichnungen. Die vergangenen Jahre folgen damit dem langfristigen Trend der globalen Erwärmung. 18 der 19 wärmsten Jahre seit Beginn der Aufzeichnungen sind seit 2001 gemessen worden. Die globale Mitteltemperatur des Jahres 2023 lag 1,42 °C (das entspricht 1,05 °C oberhalb des Zeitraumes 1961 bis 1990) über der mittleren Temperatur der vorindustriellen Zeit.

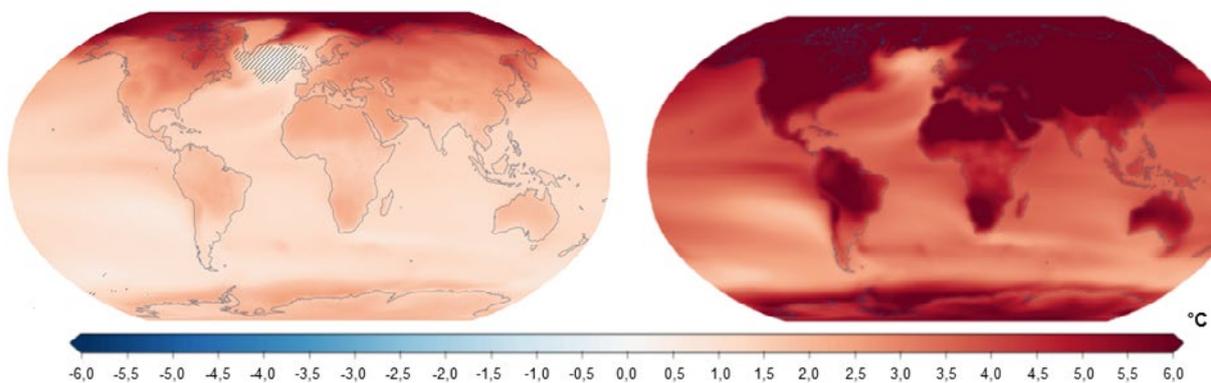


▲ Verlauf der globalen Jahresmitteltemperatur für den Zeitraum 1880 bis 2023. Dargestellt ist der Unterschied zum Referenzzeitraum 1961–1990. (Quelle der Daten: National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA)

Die beobachtete Erwärmung der letzten Jahrzehnte war über den Landmassen höher als über den Ozeanen.

Die Ergebnisse der Klimaprojektionen zeigen einen weiteren Anstieg der globalen Mitteltemperatur. Auf der Basis des **SSP1-2.6-Szenarios** wird zum Ende des 21. Jahrhunderts eine Erwärmung von 2 °C gegenüber dem Zeitraum vorindustriellen Zeitraum (1850-1890)

berechnet. Für das **SSP5-8.5** ergibt sich eine mittlere Erwärmung von 4,8 °C. Die Erwärmung ist regional sehr unterschiedlich. Die höchsten Erwärmungsraten treten über den Kontinenten und an den beiden Polkappen auf. Ein Verlauf entsprechend dem Szenario SSP1-2.6 hält das COP21-Ziel ein. Dagegen verfehlt ein Verlauf entsprechend dem SSP5-8.5 die COP21-Ziele deutlich.



▲ Mittlere Temperaturänderung für den Zeitraum 2081-2100 auf der Basis des SSP1-2.6 (links) und des SSP5-8.5 (rechts) Szenarios. Dargestellt ist der Unterschied zum Zeitraum 1961-1990. Die Schraffur zeigt Regionen, in denen der Änderungswert kleiner ist als die natürliche Klimavariabilität. (Quelle: <https://interactive-atlas.ipcc.ch>)





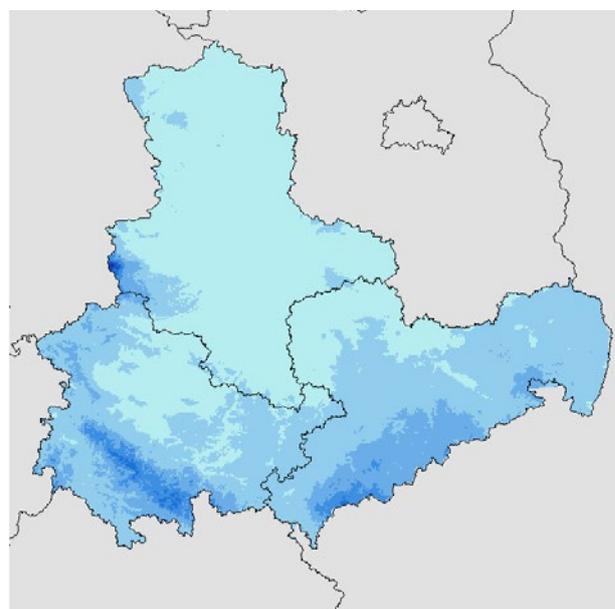
Niederschlag

Das Niederschlagsverhalten in Mitteldeutschland wird bestimmt durch den Wechsel maritim und kontinental geprägter Luftmassen. Die Verteilung ist dabei deutlich modifiziert durch die Mittelgebirge Harz, Erzgebirge und Thüringer Wald. Dabei treten im Mittel im Harz am Brocken die höchsten Niederschläge auf und die niedrigsten nordöstlich des Harzes.

Das Niederschlagsaufkommen in Mitteldeutschland

In Mitteldeutschland fallen im Durchschnitt (Klima-Referenzperiode der WMO 1961-1990) 652 mm (entspricht Liter/m²) Niederschlag pro Jahr, was deutlich unter dem mittleren Wert für ganz Deutschland von 789 mm liegt. Dabei ist der Mittelwert in den drei Bundesländern mit unter 550 mm in Sachsen-Anhalt am niedrigsten und in Thüringen und Sachsen mit ca. 700 mm sehr ähnlich. Diese Unterschiede entstehen insbesondere durch die orografischen Gegebenheiten (wie z. B. die Lage und Ausrichtung der Höhenzüge). Bei den Regionen ist der Harz mit 934 mm am nassen und der Bereich Schwarzerdegebiet, Nördliches Harzvorland mit 509 mm am trockensten. Diese Niederschlagsmengen sind im aktuellsten 30-jährigen Zeitraum leicht angestiegen. Die räumliche Verteilung hat sich jedoch kaum verändert.

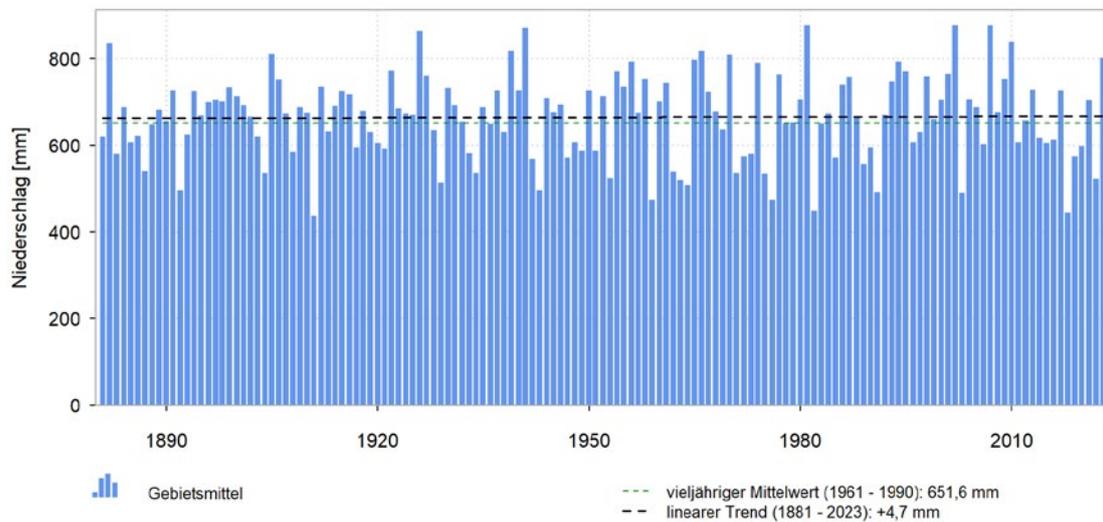
In Einzeljahren und kleinräumig kann die Niederschlagshöhe deutlich niedriger oder auch deutlich reichlicher ausfallen. So wurde mit 209 mm im Jahr 1911 (Aseleben, Sachsen-Anhalt) die niedrigste Jahressumme seit Beginn der Aufzeichnungen an einer Station in Deutschland gemessen. In Mitteldeutschland lag dagegen der höchste Jahreswert im Jahr 2007 bei 2725 mm am Brocken (Sachsen-Anhalt). Der jemals seit Beginn der Aufzeichnungen in Deutschland gemessene höchste 24stündige Niederschlagswert wurde in Zinnwald/Georgenfeld (Sachsen mit 354 mm am 13. August 2002 (03:20 UTC) aufgezeichnet.



400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 mm

▲ Jährliche Niederschlagshöhe in Mitteldeutschland im Referenzzeitraum 1961-1990 als Flächendarstellung der Rasterwerte (1 km x 1 km).

Niederschlagssumme



▲ Zeitreihe der Jahresniederschlagshöhen in Mitteldeutschland (Flächenmittel aus Stationsmessungen) von 1881 bis 2023.

Veränderungen in der Jahresniederschlagshöhe seit 1881

Der Niederschlag ist eine sehr veränderliche Größe in Raum und Zeit. Das über ganz Mitteldeutschland gemittelt nasseste Jahr seit 1881 war das Jahr 2002 mit einer Niederschlagshöhe von 877 mm, das Jahr 1911 war mit 437 mm das trockenste. Unter teils starken Schwankungen von Jahr zu Jahr oder von Jahrzehnt zu Jahrzehnt verändert sich aber die jährliche Niederschlagshöhe in Mitteldeutschland seit 1881 nicht wesentlich. Nasse und trockene Jahre wechseln sich mehr oder weniger gleichmäßig ab.

Jahreszeitliche Unterschiede

Im Mittel sind seit 1881 über alle Beobachtungsjahre die hydrologischen Sommerhalbjahre (Mai bis Oktober) in Mitteldeutschland etwas niederschlagsreicher als die Winterhalbjahre. Etwa 55 % des Jahresnieder-

schlags fällt im Sommerhalbjahr, etwa 45 % im Winterhalbjahr. Nur im Harz verteilen sich die Jahresniederschläge über die hydrologischen Halbjahre etwas anders mit dem Schwerpunkt im Winterhalbjahr (52 %, Sommerhalbjahr 48 %). Betrachtet man nur die drei Sommermonate Juni, Juli und August, so steht dem trockensten Sommer mit 86 mm im Jahr 2018 der nasseste Sommer mit 368 mm im Jahr 1926 gegenüber. Normal sind 203 mm (Mittel 1961-1990). Von 1881 bis heute hat der sommerliche Niederschlag leicht um 16 mm bzw. -8 % relativ zu 1961-1990 abgenommen. In den Übergangsjahreszeiten Frühling und Herbst zeichnen sich im gleichen Zeitraum nur geringe Veränderungen ab. Bei genauerer Analyse zeigt sich jedoch insbesondere im Frühjahr, dass 11 der letzten 12 Jahre unterdurchschnittlich viel Niederschlag aufweisen.



Einzig in den Wintermonaten (Dezember, Januar, Februar) zeigt sich eine etwas deutlichere Veränderung. Die Winterniederschläge haben seit dem Winter 1881/82 bis heute um 27 mm bzw. +19 % relativ zu 1961–1990 zugenommen. Ungeachtet dieses winterlichen Gesamttrends treten auch zu dieser Jahreszeit deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Jahren auf. Dem niederschlagsärmsten Winter mit 65 mm im Jahr 1963/64 steht der niederschlagsreichste Winter mit 264 mm im Jahr 1947/48 gegenüber. Normal sind 145 mm (Mittel 1961–1990).

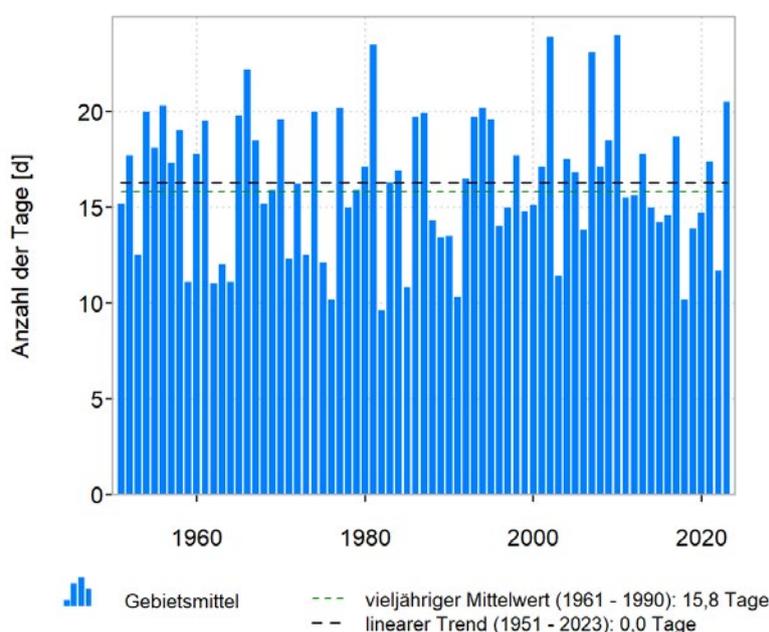
In den Regionen zeigen sich Unterschiede bei der Betrachtung der Verteilung von nass und trocken. Der Harz ist in allen Jahreszeiten außer im Sommer die nasseste Region. Der Sommer ist im Sächsischen Mittelgebirge am nassesten und erreicht mit gut 250 mm den gleichen Wert wie der Harz im Winter. Bei den trockensten Regionen zeigt sich eine ähnliche Zweiteilung: Das Schwarzerdegebiet, Nördliches Harzvorland ist außer im Frühling am trockensten. Im Frühling erweist sich die Altmark, nördliches Tiefland mit 129 mm als das Gebiet mit den geringsten Niederschlägen. Der stärkste Jahrestrend relativ zu 1961–1990 findet sich im Vogtland, südliches Thüringen und Harz mit +6 %, wobei der Hauptanstieg wie schon im Gesamtgebiet mit +24 % bzw. +27 % im Winter zu finden ist. Für die jahreszeitlichen Unterschiede lassen sich mit dem neuen vieljährigen Mittel 1991–2020 keine wesentlichen Veränderungen beobachten.

Veränderung von Kenntagen

In Bezug auf besondere Niederschlagsereignisse gibt es zwei zu betrachtende Seiten: ein Zuviel und ein Zuwenig. Wird die Anzahl der Tage von mindestens 10 mm Niederschlag für Mitteldeutschland ausgezählt, erhält man im Mittel (1961–1990) 16 Tage, wobei die Anzahl große jährliche Schwankungen aufweist. Die 30jährigen Mittel haben sich jedoch zwischen 1951 und 2020 kaum verändert. Es sind jedoch klare regionale Unterschiede zu beobachten, wobei der Harz mit im Mittel (1961–1990) 28 Tagen die mit Abstand meisten Ereignisse zeigt und die wenigsten mit elf bis zwölf Tagen im Norden Sachsen-Anhalts (Mitteldeutsches Schwarzerdegebiet, Nördliches Harzvorland sowie Altmark, nördliches Tiefland) zu finden sind. Für Niederschlagsmengen von mehr als 20 mm pro Tag ist ebenfalls keine Änderung der Anzahl seit den 1950er-Jahren festzustellen. Die Variabilität der Anzahl der Niederschlagsereignisse von mehr als 20 mm pro Tag ist von Jahr zu Jahr sehr hoch und insgesamt ist die Anzahl der Ereignisse mit drei Tagen pro Jahr gemittelt über ganz Mitteldeutschland relativ selten. Auch hier finden sich im Harz mit sechs Tagen die größte Häufigkeit.

Neben der Frage nach der Veränderung der Häufigkeit dieser Ereignisse ist insbesondere im Sommer von großer Bedeutung, inwieweit die Erwärmung mit einer zusätzlichen Austrocknung einhergeht. Eine extreme Austrocknung kann massive ökonomische

Tage mit Niederschlag ≥ 10 mm



◀ Mittlere Anzahl der Tage mit 10 mm und mehr Niederschlag (Flächenmittel aus Stationsmessungen) von 1951 bis 2023 in Mitteldeutschland.

Folgen haben, z. B. für die Binnenschifffahrt und die Landwirtschaft. Zur Erfassung von Trockenperioden wird z. B. die Häufigkeit von Episoden mit mindestens zehn aufeinanderfolgenden Tagen ohne Niederschlag betrachtet. Aber wie schon bei den Niederschlagsereignissen von mehr als 20 mm pro Tag, ist auch hier aufgrund der Seltenheit der Ereignisse keine statistisch gesicherte Veränderung seit den 1950er-Jahren zu beobachten. Hinzu kommen ausgeprägte natürliche Schwankungen mit abwechselnden Phasen stärkerer und geringerer Trockenheit, wie sie in ähnlicher Form auch bei den Niederschlagsereignissen zu finden sind. Bei den beschriebenen Niederschlags- und Trockenheitsereignissen sind aufgrund der hohen Variabilität und deren Seltenheit keine Veränderungen zwischen den vieljährigen Mitteln 1961-1990 und 1991-2020 zu erkennen.

Zukunft

Eine deutliche Änderung der mittleren Jahressumme des Niederschlags im kurzfristigen Planungshorizont (2021-2050) ist für Mitteldeutschland nicht zu erwarten. Berechnet wird eine Zunahme des mittleren Jahresniederschlags im Mittel um 4 %. Der Unterschied zwischen den Szenarien ist gering. Die Bandbreite der Ergebnisse liegt zwischen -9 % und +21 % Änderung. Sie ist in allen Teilen des Gebietes in etwa gleich stark

ausgeprägt. Grundsätzlich muss angemerkt werden, dass eine modellierte Änderung unterhalb von 10 % nicht von der natürlichen Klimavariabilität unterschieden werden kann. Diese Schwelle gilt auch für alle nachfolgenden Werte.

Regionale Unterschiede

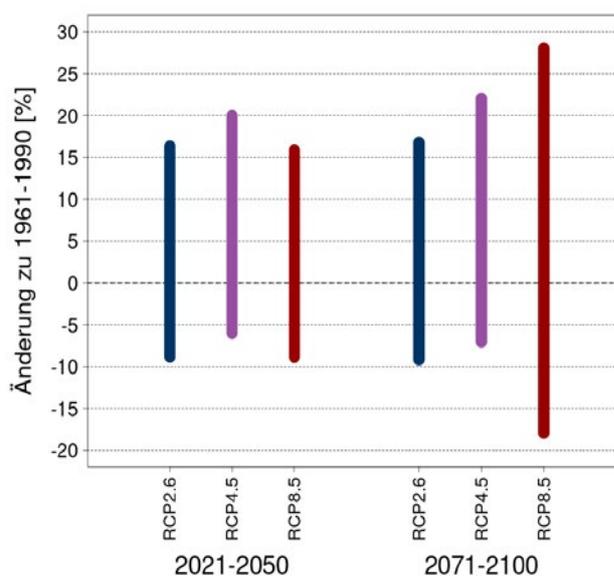
Für den langfristigen Planungshorizont (2071-2100) ist für Mitteldeutschland beim Szenario-ohne-globalen-Klimaschutz mit einer Zunahme des Jahresniederschlags um +4 % zu rechnen. Die Bandbreite der Ergebnisse liegt zwischen -18 % und +28 %. Die Änderung wird in allen Teilen des Gebietes in etwa gleich stark ausgeprägt sein.

Bezüglich der Änderung der Anzahl der Tage mit Niederschlag von mindestens 20 mm pro Tag ist für alle Regionen sowohl für den kurzfristigen Planungshorizont als auch für den langfristigen Planungshorizont mit einer Zunahme zu rechnen.

Jedoch ist bei Starkniederschlägen die Spannbreite innerhalb des Ensembles teilweise sehr groß, so dass die Resultate nur wenig belastbar sind. Regionale Unterschiede bezüglich der Änderung der mittleren Jahressumme der Niederschlagshöhe sind wenig ausgeprägt.

Darstellung der Bandbreite der vorhandenen Klimaprojektionen für die Jahresniederschlagsmengen von Mitteldeutschland. Dargestellt sind die vorliegenden Änderungssignale für den kurzfristigen (2021-2050) und langfristigen (2071-2100) Planungshorizont, jeweils als Änderungssignal zum Bezugszeitraum 1961-1990. Es werden je Planungshorizont die Ergebnisse für das Szenario-mit-konsequenten-globalen-Klimaschutz (RCP2.6, blau) denen moderaten Klimaschutzes (RCP4.5, violett) und des Szenario-ohne-globalen-Klimaschutz (RCP8.5, rot) gegenübergestellt. Die dargestellten Balken zeigen die Spannbreite zwischen dem kleinsten und größten Änderungssignal innerhalb des betrachteten Szenarios. Die Bandbreite wird aus den Mitteldeutschen Kernensemble ermittelt (je 7 Klimaprojektionen für RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5)

Datenquelle: Mitteldeutsches Kernensemble (MDK)



Jahreszeitliche Mittelwerte der Niederschlagshöhe und erwartete Änderungen in Mitteldeutschland gegenüber 1961-1990

	1961-1990	1991-2020	2021-2050 (RCP2.6)	2021-2050 (RCP4.5)	2021-2050 (RCP8.5)	2071-2100 (RCP2.6)	2071-2100 (RCP4.5)	2071-2100 (RCP8.5)
Frühjahr	161 mm	150 mm	+9 %	+10 %	+13 %	+8 %	+18 %	+17 %
Sommer	203 mm	214 mm	-8 %	-5 %	-7 %	-3 %	-6 %	-25 %
Herbst	144 mm	161 mm	+3 %	+5 %	+5 %	+2 %	+6 %	+1 %
Winter	144 mm	150 mm	+9 %	+8 %	+6 %	+6 %	+14 %	+22 %
Jahr	652 mm	675 mm	+3 %	+4 %	+4 %	+3 %	+8 %	+4 %

Jahreszeitliche Unterschiede

Für den kurzfristigen Planungshorizont 2021-2050 werden unter Verwendung der genannten RCP-Szenarien für den Winter mittlere Zunahmen der Niederschlagsmenge um +6 bis 9 % berechnet. Für den Sommer gibt es eine Tendenz zur Abnahme. Die Spannweite der Ergebnisse für den Sommer liegt im Bereich von geringen Zunahmen bis hin zu einem starken Rückgang. In den Übergangsjahreszeiten zeigen sich für diesen Planungshorizont Zunahmen der mittleren Niederschlagssumme von +3 % (Herbst) bzw. +13 % (Frühjahr).

Im Frühjahr und im Herbst kann die Änderung für den langfristigen Planungshorizont (2071-2100) +1 bis +18 % betragen, wohingegen die Änderung im Winter bis zu +22 % betragen kann. Für den Sommer werden in diesem Planungshorizont Abnahmen zwischen -3 % im **Szenario-mit-konsequenten-globalen-Klimaschutz** bis hin zu einer deutlichen Abnahme der Niederschlagshöhe im **Szenario-ohne-globalen-Klimaschutz** (-25 %) berechnet. Die Spannweite für den Sommer liegt im **Szenario-ohne-globalen-Klimaschutz** zwischen einer Zunahme um +4 % und einer Abnahme um -34 %. In den einzelnen Regionen ist ebenso der Sommer mit großen Spannweiten in den Ergebnissen gekennzeichnet, so dass hier die Ergebnisse nur wenig belastbar erscheinen.

KURZ NOTIERT

Beobachtung

- Keine wesentliche Änderung der Jahresniederschlagshöhe seit 1881
- Niederschlagsanstieg im Frühling, Herbst und Winter, aber nicht im Sommer

Kurzfristiger Planungshorizont

- Keine deutliche Änderung der mittleren Jahressumme des Niederschlags (in etwa 4 %)

Langfristiger Planungshorizont

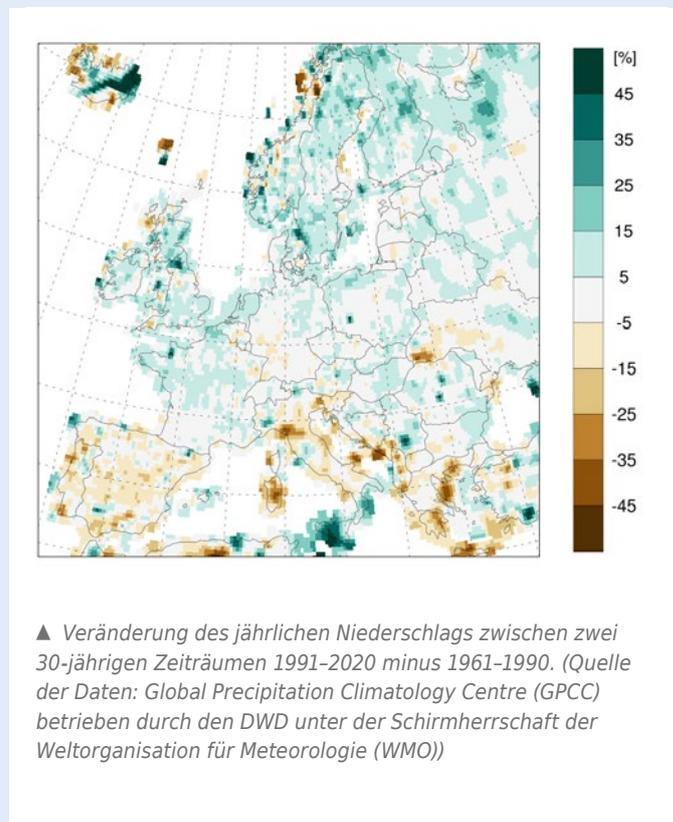
- Keine wesentliche Änderung für Mitteldeutschland Zunahme des Niederschlags (+3 bis 8 %)
- Für beide Planungshorizonte werden jeweils für die Wintermonate Zunahmen der Niederschlagsmenge und für den Sommer eine Spanne von keiner Änderung hin zu deutlichen Abnahmen im langfristigen Planungshorizont simuliert.

Globale Niederschlagsentwicklung

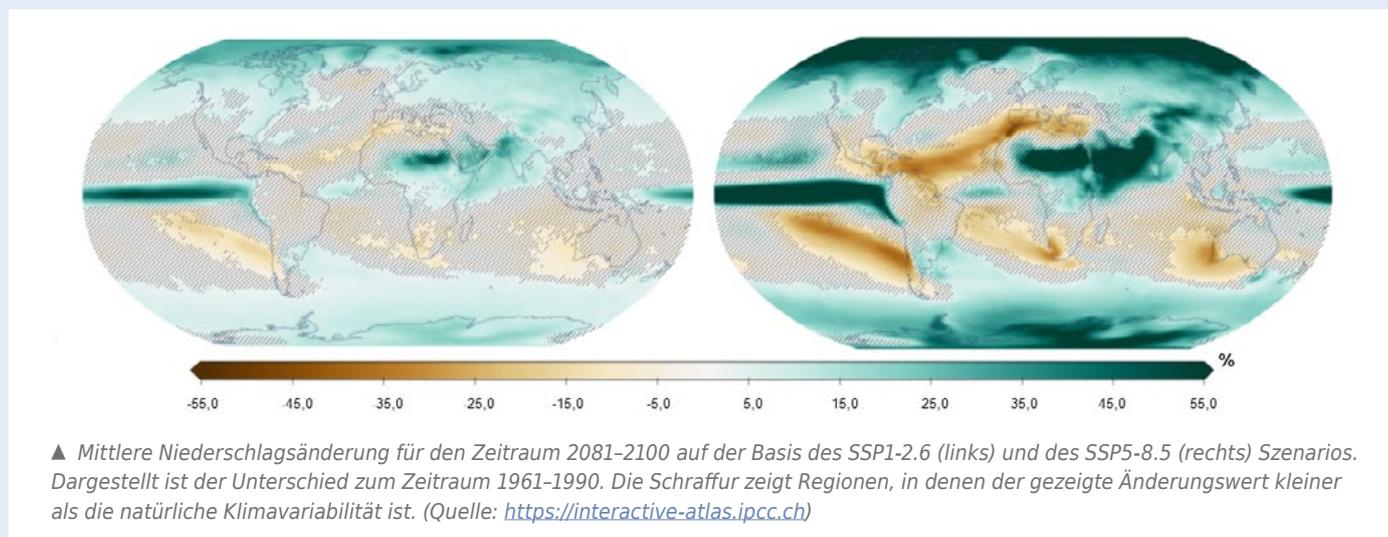
Der globale Niederschlag hat eine sehr große räumliche und zeitliche Variabilität, die durch viele natürliche Schwankungen, z. B. durch Zirkulationsmuster wie ENSO und die Nordatlantische Oszillation, geprägt ist.

Die Niederschläge über Europa haben im letzten Jahrhundert um 6–8 % zugenommen, dabei findet sich eine deutliche Zweiteilung. Die Zunahme zeigt sich mit 10–40 % hauptsächlich in Nordeuropa, während die Niederschläge im Mittelmeerraum und in Teilen Südosteuropas um bis zu 30 % abgenommen haben. Wie schon in Deutschland treten regional unterschiedliche Trends auf. Nord- und Westeuropa ist durch ein Ansteigen der Niederschlagsmengen, vor allem in den Wintermonaten (20–40 %), geprägt. In Südeuropa zeigt sich hingegen ganzjährig eine Abnahme der Niederschläge. Deutliche Niederschlagsabnahmen werden im Sommer aber auch in Mitteleuropa beobachtet.

Die Ergebnisse der Klimaprojektionen zeigen, dass die Änderung der Niederschläge weitgehend nach dem Muster verlaufen, dass es in trockeneren Regionen trockener und in feuchteren Regionen feuchter wird. Die zu erwartenden Veränderungen auf Basis des **SSP1-2.6 Szenarios** werden zum Ende des 21. Jahrhunderts im Vergleich zum Zeitraum 1961–1990 jedoch nur sehr moderat ausfallen, insbesondere über Europa. Im **SSP5-8.5 Szenario** werden die Signale deutlicher,



wobei sich, wie bei den Beobachtungen, bei den Jahreswerten wieder ein deutliches Nord-Süd-Gefälle über Europa zeigt. Im Sommer ist hingegen für ganz Europa eine Abnahme der Niederschläge wahrscheinlich.





Sonnenschein

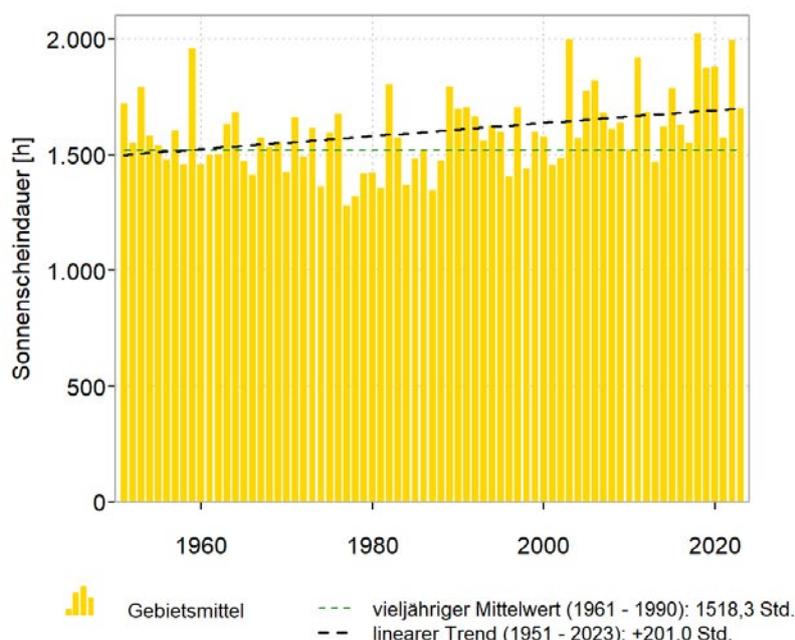
In den Mitteldeutschen Ländern scheint im Durchschnitt 249 Minuten pro Tag die Sonne, das entspricht 1518 Stunden im Jahr. Am meisten scheint die Sonne in der Region Fläming und Oberlausitzer Heide- und Hainland mit bis zu 261 Minuten am Tag. Im Harz ist die Tagessonnenscheindauer am geringsten, hier werden im vieljährigen Mittel nur 235 Minuten pro Tag gemessen.

Vergangenheit und Gegenwart

Aus der Darstellung der Jahressummen bis 2023 lassen sich grob drei Zeitabschnitte unterschiedlicher Sonnenscheindauer identifizieren: Von 1951 bis 1976 eine Phase höherer Jahreswerte, anschließend bis etwa zum Ende der 1980er-Jahre vermehrt geringere Jahressummen und dann wieder zunehmend.

Zwischen etwa 1950 und 1980 gab es weltweit eine Phase zurückgehender Sonneneinstrahlung, die u. a. einer verstärkten Luftverschmutzung zugeschrieben wird. Verbunden mit den Erfolgen der Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft nahm danach die den Boden erreichende Sonneneinstrahlung wieder zu.

Sonnenscheindauer



▲ Jahressummen der Sonnenscheindauer (Flächenmittel aus Stationsmessungen) in Mitteldeutschland von 1951-2023.



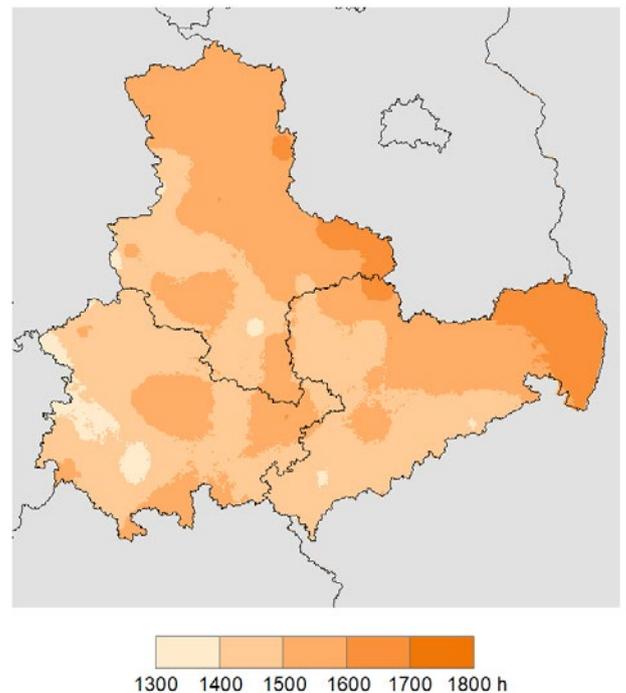
Entwicklung des Sonnenscheins seit 1951

Im Zeitraum von 1951 bis 2023 ist die mittlere Tagessonnenscheindauer leicht gestiegen. Dies resultiert zum größeren Teil aus mehr Sonnenschein in den Frühlings- und Sommermonaten.

Zukunft

Die Sonnenscheindauer wird in den Klimamodellen nicht direkt berechnet, sondern indirekt aus der kurzwelligen Strahlung abgeleitet. Die Strahlung ist verbunden mit den Bewölkungsverhältnissen, eine der großen Herausforderungen der Klimamodellierung. Die Bandbreite der modellierten Werte ist daher zwischen den Modellen sehr groß. Dieses führt dazu, dass die Ergebnisse weniger aussagekräftig sind als beispielsweise die Ergebnisse der Temperaturänderungen und deswegen hier nicht weiter besprochen werden.

▼ Sonnenscheinautograph nach Campbell-Stokes.



▲ Jährliche Sonnenscheindauer in Mitteldeutschland im Referenzzeitraum 1961–1990 als Flächendarstellung der Rasterwerte (1 km x 1 km).

KURZ NOTIERT

Beobachtung

- Durchschnittlich 249 Minuten Sonnenschein pro Tag
- Leichter Anstieg der Sonnenscheindauer in Mitteldeutschland seit 1951



Phänologie

Phänologie

Die Phänologie beschreibt im Jahresverlauf periodisch wiederkehrende Erscheinungen in der Natur: das Aufblühen einer Pflanze, Fruchtreife, den Brutbeginn von Vögeln und so weiter. Gerade Pflanzen eignen sich gut als sensibler Bioindikator für Klima- und Umweltveränderungen, da ihre Entwicklung direkt von sich verändernden Umweltbedingungen beeinflusst wird.

Der Kreislauf der Natur als Klimaindikator

Die Pflanzen der gemäßigten Breiten sind in ihrer Vegetationsrhythmik – Wachstumsperiode im Frühling und Sommer und Ruheperiode im Winter – an den jahreszeitlichen Wechsel ihrer Umweltbedingungen angepasst. Durch die Klimaveränderungen, wie z. B. höhere Temperaturen im Frühjahr, verändern sich die Eintrittszeiten der phänologischen Jahreszeiten.

Phänologische Jahreszeiten

Der Phänologische Kalender unterteilt sich in zehn physiologisch-biologisch begründete Jahreszeiten. Jeder phänologischen Jahreszeit werden bestimmte Zeigerpflanzen mit entsprechenden Entwicklungsphasen zugeordnet. So beginnt das phänologische Jahr mit dem Vorfrühling, dessen Beginn von der Blüte der Gemeinen Hasel (*corylus avellana*) eingeleitet wird. In den Jahren 1991–2020 waren die Eintrittszeiten des Vorfrühlings 18 Tage früher als in der Referenzperiode 1961–1990. Der Vorfrühling endet mit dem Beginn der Forsythienblüte (*forsythia x intermedia*), die den Erstfrühling einläutet. Hier wird eine Verfrühung der Eintrittszeit von zwölf Tagen beobachtet.

Dem Erstfrühling folgt der Vollfrühling, welcher mit dem Erblühen der ersten Apfelbäume (*malus domestica*) beginnt. Hier tritt die Blüte in den Jahren 1991–2020 um elf Tage früher ein als in der Vergleichsperiode. Mit der Blüte des Schwarzen Holunders (*sambucus nigra*) setzt der Frühsommer ein, dessen Eintrittszeit sich im Untersuchungszeitraum 1991–2020 ebenso um elf Tage nach vorne verschoben hat.

Der Hochsommer, welcher sich durch erste blühende Sommerlinden (*tilia platyphyllos*) bemerkbar macht, weist eine Verfrühung von etwa neun Tagen auf. Nachdem das Erblühen der Leitpflanzen bisher als Indikator diente, rücken nun erste reife Früchte in den Fokus der Beobachtung. Die ersten frühreifenden Äpfel können zu Beginn des Spätsommers gepflückt werden. Diese phänologische Phase ist um acht Tage verfrüht.

Beim Übergang zum Frühherbst wird nochmals der Schwarze Holunder als Leitpflanze herangezogen. Seine ersten reifen Früchte zeigen sich im Zeitraum 1991–2020 durchschnittlich etwa zwei Wochen früher. Der Vollherbst beginnt mit den ersten reifen Früchten der Stieleiche (*quercus robur*) und zeigt eine um acht Tage verfrühte Fruchtreife. Beginnt die Blattverfärbung der Stieleiche, bricht der Spätherbst an. Diese Entwicklungsphase, genau wie der phänologische Winterbeginn, der durch den Blattfall der Stieleiche gekennzeichnet wird, treten in Mitteleuropa mit drei Tagen geringfügig später ein als im Mittel der Jahre 1961 bis 1990. Der Grund hierfür ist, dass eine höhere Temperatur im Herbst den Chlorophyllabbau im Blatt verlangsamt und damit zu einer späteren Blattverfärbung führen kann.

Die Eintrittstermine der Frühjahrsphasen zeigen die stärksten Änderungen. Dies beruht im Wesentlichen auf der höheren mittleren Lufttemperatur im Frühjahr, welche mit einer Verfrühung dieser Phasen einhergeht, während in späteren Phasen neben der Temperatur insbesondere auch Wasserhaushaltsgrößen

eine zunehmende Rolle spielen, die im Laufe der Vegetationszeit sowohl beschleunigend – beispielsweise bei trockenheitsbedingter Notreife – als auch verlangsamend bei ausreichender Wasserversorgung wirken können. Im letzteren Fall kann die jeweils betrachtete Pflanze eine optimalere Entwicklung nehmen.

Regionale Unterschiede

Die oben beschriebenen Entwicklungen beziehen sich auf die mittleren Werte für ganz Mitteldeutschland. Da die phänologischen Jahreszeiten im engen Zusammenhang mit meteorologischen Größen wie der mittleren bodennahen Lufttemperatur und der Wasser- und Lichtverfügbarkeit stehen, können regional zum Teil beachtliche Unterschiede beobachtet werden, die hauptsächlich aufgrund der Höhenlage entstehen. In den oberen Gebirgslagen stellen sich die phänologischen Entwicklungsstadien des Frühjahrs und Sommers zwei bis drei Wochen später ein als in den hier dargestellten Mittelwerten und die Herbstphasen sind dort ein bis zwei Wochen früher zu erwarten.

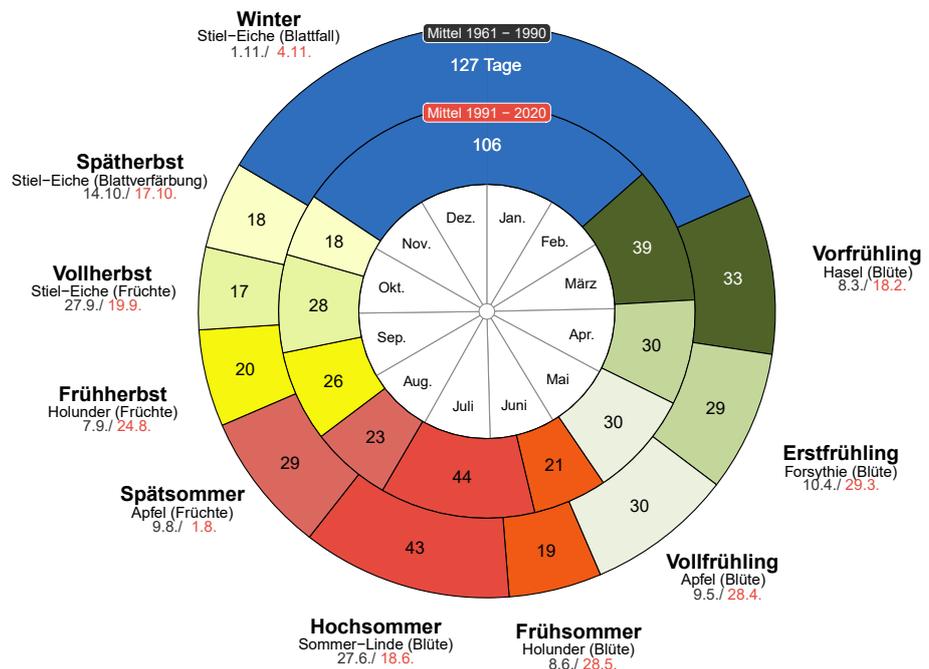
Phänologische Vegetationsperiode

Die Dauer der Vegetationsperiode wird in Anlehnung an einen Teil des Indikators „Klimawandel und Vegetationsentwicklung“ der Länderinitiative Kernindikatoren aus der zeitlichen Differenz zwischen dem Erblü-



hen der Salweide (Gelbfärbung der Weidenkätzchen) und des Beginns der Blattverfärbung der Stieleiche berechnet. Insgesamt zeigt sich eine Verlängerung der phänologischen Vegetationsperiode in Mitteldeutschland seit 1961 um 17 Tage. Dabei werden die ersten blühenden Salweiden derzeit etwa zwei Wochen früher und die einsetzende Blattverfärbung der Stieleiche drei Tage später als im Zeitraum 1961–1990 beobachtet.

Phänologische Jahreszeiten Mitteldeutschland



Phänologische Doppeluhr zur Veranschaulichung der Eintrittszeitpunkte der zehn phänologischen Jahreszeiten im Vergleich zwischen den Referenzzeiträumen 1961-1990 (äußerer Ring) und 1991-2020 (innerer Ring).



Bodenfeuchte

Bodenfeuchte

Die Bodenfeuchte integriert Klimatelemente und bodenphysikalische Kennwerte in einem Wert und ermöglicht eine Beurteilung der Wasserversorgungssituation in Gartenbau sowie Land- und Forstwirtschaft.

Zur Entwicklung des Bodenwasserhaushaltes

Zur Beschreibung des Bodenwasserhaushalts müssen der Niederschlag, die reale oder aktuelle Verdunstung, der oberflächliche Abfluss und die Versickerung betrachtet werden. Aus dieser Zusammenschau kann dann auf den Bodenwassergehalt, die Bodenfeuchte geschlossen werden. Da die Messung einiger dieser Größen komplex ist, gibt es nur wenige Messstellen, die den Bodenwasserhaushalt in all seinen Komponenten messtechnisch erfassen können. Aus diesem Grund werden bei flächendeckenden Betrachtungen in der Regel Wasserhaushaltsmodelle eingesetzt, die mit den meteorologischen Messwerten von Lufttemperatur, Strahlung, Niederschlag und ggf. auch Wind und Luftfeuchte gespeist werden und bei Kenntnis der pedologischen Standorteigenschaften und der beschriebenen Landnutzung die Bodenwasserhaushaltsgrößen berechnen. In der vorliegenden Auswertung kommt dabei das im Deutschen Wetterdienst entwickelte Modell AMBAV zur Anwendung. Im open-data-Angebot des DWD befindet sich eine Beschreibung des Modells AMBAV.

Flächenhafte Bodenfeuchtedarstellungen

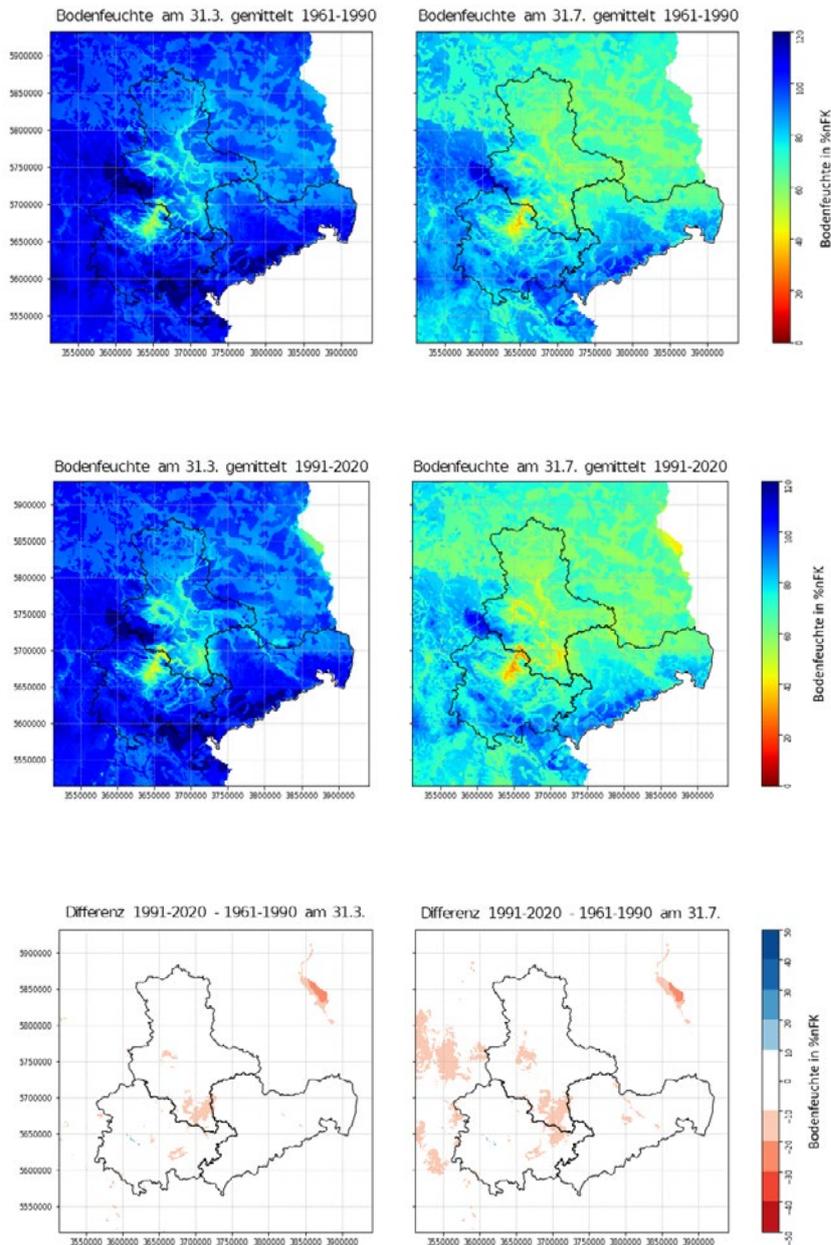
Als Einblick in die Veränderungen die im Bodenwasserhaushalt festzustellen sind, werden hier Bodenfeuchtwerte flächenhaft dargestellt. Dies erfolgt einmal am 31.03. des Jahres und dann nochmals am 31.07. Für diese beiden Daten wurde die Bodenfeuchte unter Gras bis zu einer Tiefe von 2 m gemittelt und es werden die beiden 30-Jahres-Perioden 1961 bis 1990 und 1991 bis 2020 gegenübergestellt. Die Bodenfeuchte wird dabei in Prozent der nutzbaren Feldkapazität gezeigt. Dies ist der relative Anteil der Füllung des pflanzenverfügbaren Bodenwassergehaltes, der bodenspezifisch zwischen der maximalen Wasserhalte-

fähigkeit des Bodens (Feldkapazität) und dem Welkepunkt bestimmt wird.

Am Welkepunkt hat der Boden noch immer eine gewisse Wassermenge, aber die Pflanze kann sich diese Menge nicht mehr erschließen. Der 31.03. steht dabei für den letzten Tag des Winterhalbjahres. Im Winterhalbjahr erfolgt in der Regel die Füllung der Bodenwasservorräte und im März steht dabei oft ein Maximum an Bodenwasser im Jahresgang zur Verfügung. In vielen Teilen Mitteldeutschlands kommt es aufgrund der genannten meteorologischen aber auch gerade pedologischen Verhältnisse nur in einer Minderheit der Jahre zu einer völligen Auffüllung der Bodenwasservorräte im Winterhalbjahr. Mit der im Frühjahr einsetzenden Erwärmung und der damit verbundenen Entwicklungsaktivität der Pflanzenwelt übersteigt die Verdunstung den Niederschlag und bis zum Ende des Monats Juli sinkt im Normalfall der Bodenwassergehalt ab. Dieser natürliche Effekt ist sowohl in den beiden Karten für 1961–1990 als auch 1991 bis 2020 zu erkennen. In der Karte, die die Differenzen zwischen den beiden 30-Jahres-Perioden darstellt, zeigt sich, dass in vielen Regionen Mitteldeutschlands in der Gesamtschicht bis 2 m Tiefe der Boden mit seiner Wasserspeicherefähigkeit trotz der Veränderungen der anderen meteorologischen Größen eine drastische Verringerung der Bodenwasservorräte im Mittel bisher verhindert hat, aber gerade die letzten Jahre zeigen, dass bei mehreren deutlich zu warmen Jahren selbst bei normaler Jahresniederschlagsmenge es zu einer Anspannung der Bodenwasservorräte kommt. In der Karte ist diese Veränderung, die wir an einer Veränderung der mittleren Bodenfeuchte um mindestens 10 % der nutzbaren Feldkapazität beschreiben, dargestellt. Die Karten zeigen

sowohl am 31.03. als auch noch deutlicher am 31.07., dass die größten Veränderungen in den ohnehin von vergleichsweise trockenen Bedingungen geprägten

Landstrichen des mitteldeutschen Trockengebietes im Regenschatten von Harz und Thüringer Wald aber auch in Teilen Sachsens auftreten.



▲ Vergleich der flächenhaften Bodenfeuchte am 31.03. und 31.07. unter Gras, gemittelt über die Zeiträume 1961-1990 (oben) und 1991-2020 (mitte) sowie die Differenz (unten).

Punktuelle Bodenfeuchtedarstellungen

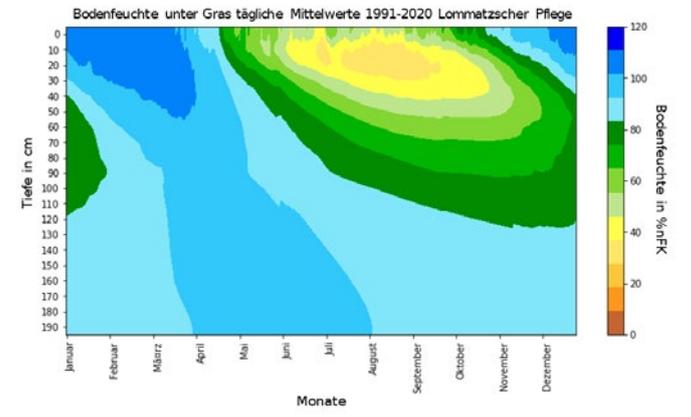
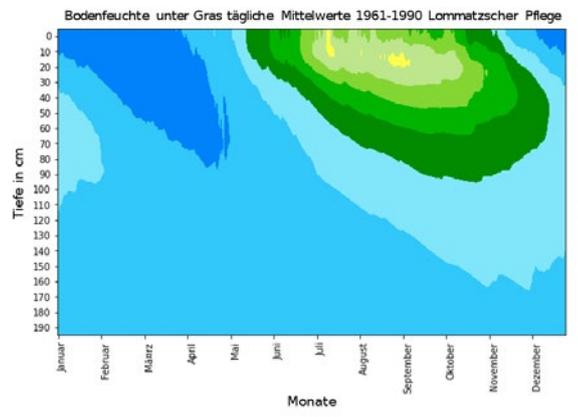
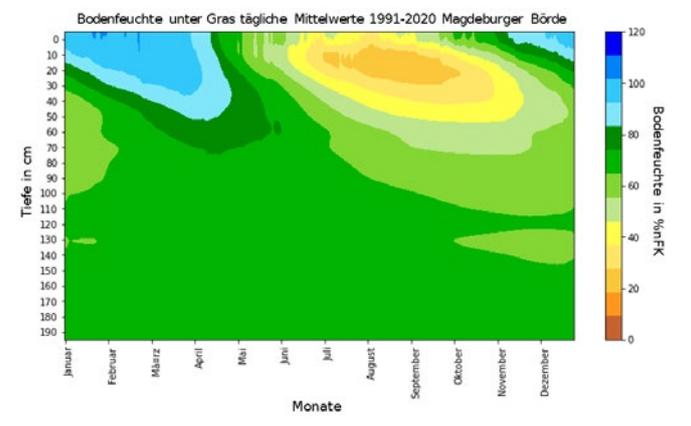
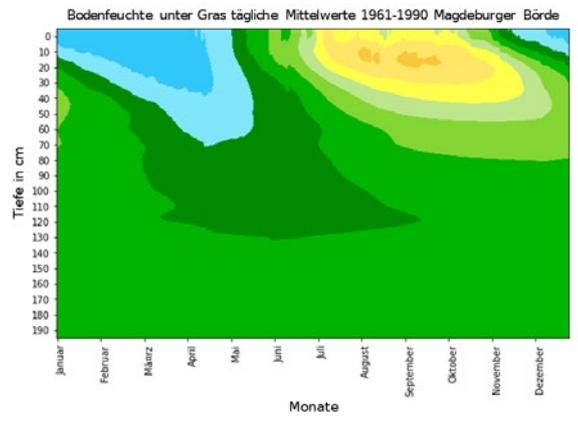
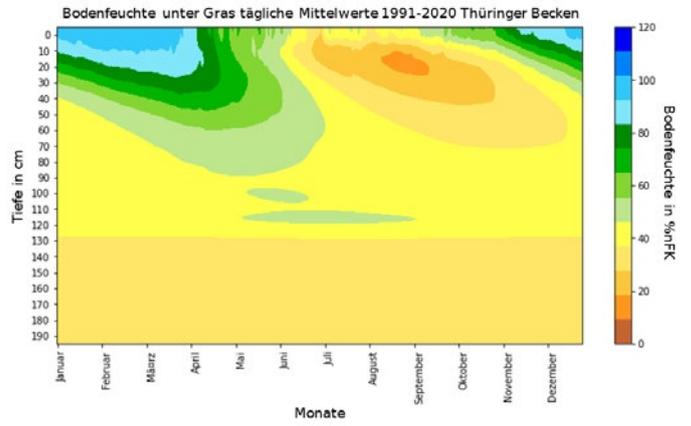
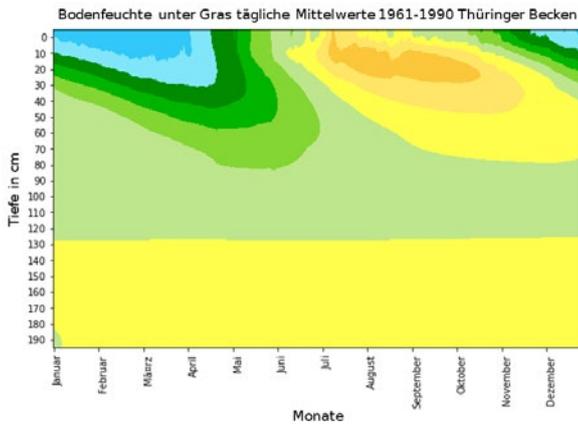
Für jedes der mitteldeutschen Bundesländer wurde ein exemplarischer Standort in einer typischen Ackerbauregion ausgewählt, um die Bodenfeuchteveränderungen im Jahresgang und in den einzelnen Bodenschichten bis 2 m Tiefe zu dokumentieren. In den Jahresgängen ist das Maximum der Bodenwassergehalte zu Beginn der Vegetationszeit im März erkennbar. Es folgt eine Zeitspanne der Bodenwasserausschöpfung, die einen Rückgang der Bodenwassergehalte beschreibt, der bis mindestens Ende Juli, teilweise bis in den September reicht. Danach beginnt allmählich wieder eine Bodenwasserzunahme, die sich von der Erdoberfläche allmählich in tiefere Schichten vorarbeitet. Insbesondere im Thüringer Becken ist erkennbar, dass bei dem hier dargestellten Standort nahe des Kyffhäusergebirges ein ganzjährig niedriger Bodenwassergehalt in tieferen Bodenschichten typisch ist. Beim Vergleich der beiden 30-Jahres-Zeiträume zeigt sich an allen drei Standorten eine Tendenz zu geringeren Bodenwassergehalten im gesamten Jahr und insbesondere in den trockeneren Sommerabschnitten, wobei sich die geringeren Werte sowohl zeitlich als auch in der Tiefenerstreckung weiter ausdehnen.

▼ *Winderosion bei einem oberflächlich ausgetrockneten Boden.*



▲ *DWD-Messsonde für Bodenfeuchte mittels Detektion solarer Neutronen am Standort Brandis der Staatlichen Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft Sachsen.*





▲ Vergleich der Bodenfeuchte unter Gras bis 2 m Tiefe an drei ackerbaulich wichtigen Standorten in Mitteldeutschland in den Zeiträumen 1961-1990 und 1991-2020.



Schnee Schnee

Im Winter auftretender Niederschlag tritt, bei entsprechender Temperatur, in fester Form als Schnee auf. Erlauben es die Rahmenbedingungen, d. h. ist es entsprechend kalt, bleibt dieser als Schneedecke liegen. Diese Schneedecke erfüllt in der Natur unterschiedliche Aufgaben und wird auch vom Menschen, zum Beispiel für den Wintersport genutzt.

Je nach Höhenlage ist die Anzahl der Tage mit Rahmenbedingungen, bei denen Schnee fallen kann, anders. In höheren Lagen ist es durchschnittlich kälter. Daher fällt hier der Niederschlag öfter als Schnee. Der beobachtete Klimawandel und die damit verbundene Erwärmung verändert die Anzahl an Tagen an denen der Niederschlag als Schnee fallen kann. Sie nimmt ab. Verbunden mit der Erwärmung, verändert sich auch die Anzahl an Tagen an denen es kalt genug ist, so dass keine Schneeschmelze auftritt. Auch hier ist eine Reduktion zu beobachten. Somit bleiben Schneedecken weniger lange erhalten.

Für die Höhenlagen (ab 750 m ü.NN) von Erzgebirge, Harz und Thüringer Wald mit dem Vogtland wurde eine Auswertung der Tage mit 20 cm oder mehr Schnee durchgeführt. Dann wurde ausgezählt bei welchem Anteil der Region diese Schneedecke im Winter an mindestens 30 Tagen vorlag.

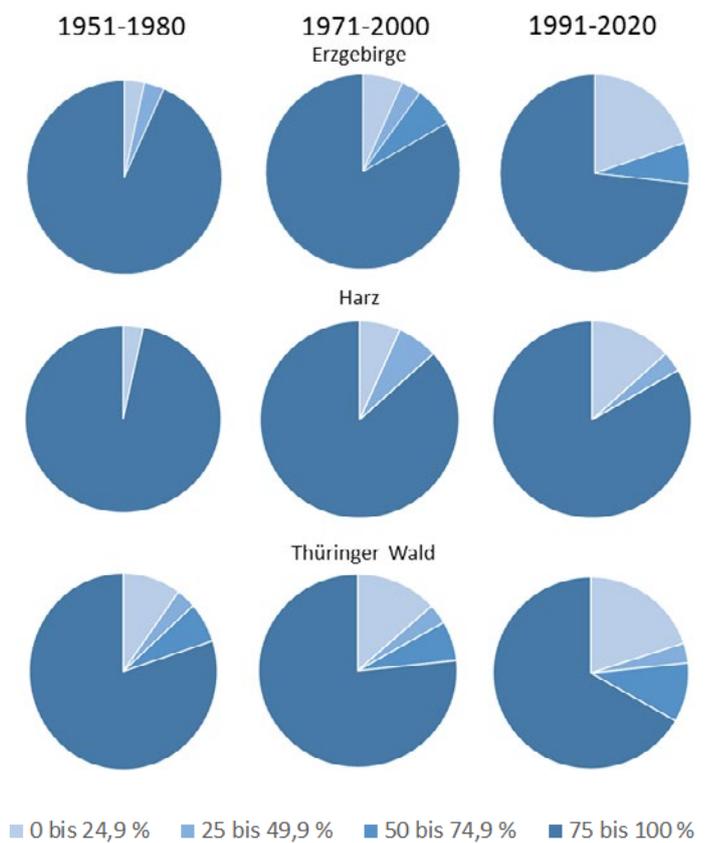
Hier ist eine deutliche Veränderung seit 1950 erkennbar. Früher traten in fast jedem Jahr, in allen Teilen der Höhenlagen mindestens 30 Tage mit einer Schneedecke von mindestens 20 cm auf. In den letzten Jahren sind vermehrt Winter vorgekommen bei denen nur Teile der Höhenlagen 30 Tage mit der Schneedecke von 20 cm hatten. Es sind auch vermehrt Jahre aufgetreten, bei denen es nirgendwo in den Höhenlagen diese 30 Tage gab.

Mit einer weitergehenden Erwärmung sinkt die Anzahl der Tage an denen Schnee fallen kann. Gleiches gilt für die Anzahl an Tagen an denen keine Schneeschmelze erfolgt.

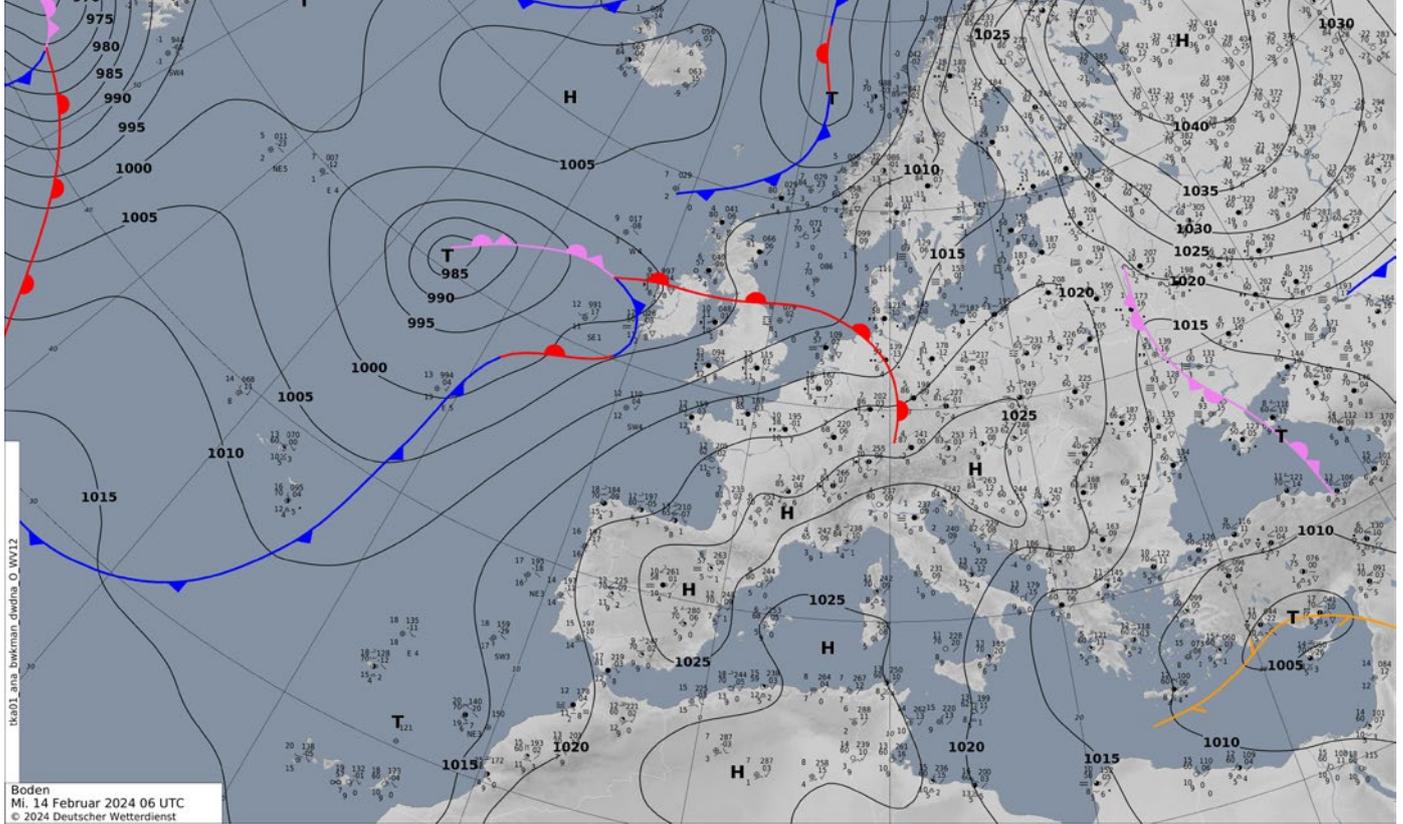




Erzgebirge			
Prozent	1951-1980	1971-2000	1991-2020
25	3	7	20
50	3	3	0
75	0	7	7
100	93	83	73
Harz			
Prozent	1951-1980	1971-2000	1991-2020
25	3	7	13
50	0	7	3
75	0	0	0
100	97	87	83
Thüringer Wald			
Prozent	1951-1980	1971-2000	1991-2020
25	10	13	20
50	3	3	3
75	7	7	10
100	80	77	67



▲ Auswertung der Tage mit mehr als 20 cm Schnee in den Höhenlagen (ab 750 m ü. NN) von Erzgebirge, Harz und Thüringer Wald mit Vogtland. Ausgezählt wurde bei welchem Anteil der Region diese Schneedecke im Winter an mindestens 30 Tagen vorlag. Die Auswertung erfolgte für 30-jährige Zeiträume (1951-1980, 1971-2000 und 1991-2020).



Großwetterlagen

Die jeweilige Großwetterlage ist für den wesentlichen Charakter der Witterung in Mitteleuropa verantwortlich. Für die Verteilung von Hoch- und Tiefdruckgebieten über Europa und Teilen des Nordatlantiks sind verschiedene Großwetterlagen definiert, je nachdem, wie sich die Verteilung des Luftdrucks darstellt.

Großwetterlagen in Europa lassen sich in Unterformen einteilen, die sogenannten Großwettertypen. Diese beschreiben aus welcher Richtung die vorherrschenden Luftmassen in einer bestimmten Zeit hauptsächlich herangetragen (advehiert) werden. Dadurch ist einschätzbar, ob eine für die mittleren Breiten typische Westwetterlage herrscht oder der Wind aus Osten kontinentale Luftmassen heranzführt. Die Großwettertypen lassen sich noch in hochdruck- oder tiefdruckdominiert unterteilen. In den folgenden Auswertungen wird sich ausschließlich auf die Großwettertypen konzentriert. Untersucht werden Veränderungen der jeweiligen Großwettertypenhäufigkeit in den letzten 140 Jahren.

Die tägliche Einordnung der Großwettertypen erfolgt durch den Deutschen Wetterdienst. Hierbei ordnet ein Mitarbeitender die tägliche Druckverteilung über Europa und dem Nordatlantik einem Großwettertyp und einer Großwetterlage zu. Daher ist die Einordnung des jeweiligen Mitarbeitenden von einer gewissen Subjektivität geprägt.

Die Großwettertypen unterscheiden zwischen den Windrichtungen West, Südwest, Süd, Ost, Nord, Nordwest, und ob sich das Hochdruckgebiet oder Tiefdruckgebiet direkt über Mitteleuropa befindet. Die Bestimmung der Großwettertypen erfolgte täglich im Zeitraum von 1881 bis 2022. Aus den Tagesangaben wurden 30-jährige gleitende Mittelwerte berechnet. Das erste gleitende Mittel ist entsprechend der Zeitraum von 1881 bis 1910 und das letzte gleitende Mittel der Zeitraum von 1993 bis 2022.

Die Abbildung zeigt den Anteil der einzelnen Großwettertypen für den jeweiligen 30-jährigen Zeitraum zwischen 1881-1910 und 1993-2022. Die unterschiedlichen Farben sind den jeweiligen Großwettertypen (siehe Legende) zugeordnet. Erwartungsgemäß dominiert der West-Typus deutlich, schließlich befindet sich Mitteleuropa klimatisch im Bereich der Westwindzone der nördlichen gemäßigten Breiten unseres Planeten. Die Typen Ost, Nord und Hochdruckgebiet über Mitteleuropa treten mit jeweils etwa 15 % weniger häufig auf als der Typus

West. Ein Tief über Mitteleuropa ist der seltenste Großwettertyp. Seit den 1920er Jahren hat die Häufigkeit von den Großwettertypen Süd und insbesondere Südwest zugenommen. Im gleichen Zeitraum hat die Häufigkeit des Typus Nordwest zunächst leicht abgenommen und im Laufe der 1960er Jahre auf niedrigerem Niveau stabilisiert. Die Häufigkeit der Großwettertypen Süd und Südwest nimmt bis heute weiter zu.

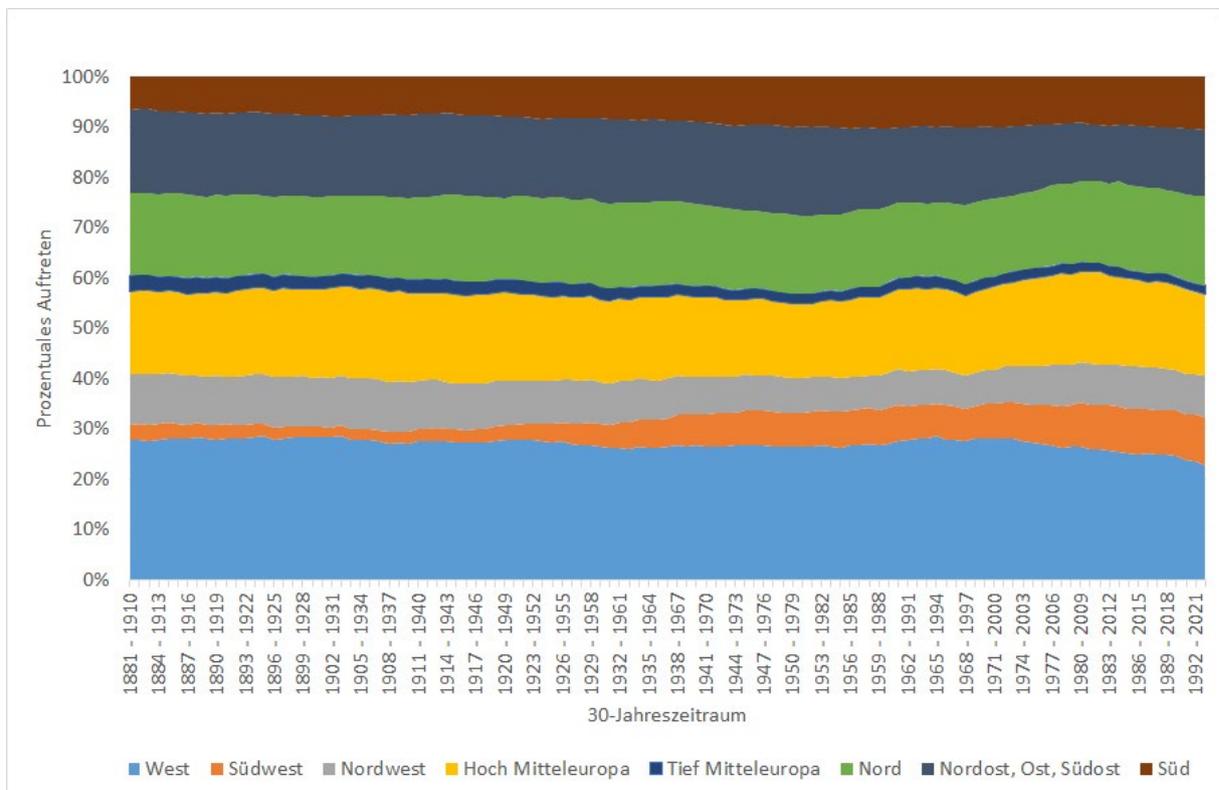
Wetterlagenklassifikation		
Zirkulationsform	Großwettertyp (GWT)	Großwetterlage
zonal	West	WA, WZ, WS, WW
gemischt	Südwest	SWA, SWZ
	Nordwest	NWA, NWZ
	Hoch Mitteleuropa	HM, BM
	Tief Mitteleuropa	TM
meridional	Nord	NA, NZ, HNA, HNZ, HB, TRM
	Ost	NEA, NEZ, HFA, HFZ, HNFA, HNFZ, SEA, SEZ
	Süd	SA, SZ, TB, TRW

Die Kürzel werden unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Großwetterlage> erklärt

Dies geschieht seit Mitte des 20. Jahrhunderts auf Kosten der Großwettertypen West und Ost. Bei allen anderen Großwettertypen hat sich über den gesamten Zeitraum keine Tendenz zu einer Zu- oder Abnahme der Häufigkeit ergeben.

Eine Zunahme von Südwest- und Süd-Großwettertypen bei gleichzeitiger Abnahme von West und Nordwest Typen bedeutet auch, dass häufiger aus

südlichen Breiten mildere Luftmassen im Winter bzw. warme Luftmassen im Sommer herangeführt werden. Gleichzeitig nimmt der Anteil von West- und Nordwestwinden ab, die gerade im Sommerhalbjahr kühlere Luftmassen heranzuführen. Diese Änderungen können bereits eine Folge der globalen Klimaerwärmung sein.



▲ Anteil der einzelnen Großwetterlagen im Zeitraum 1881 bis 2022.



Extremereignisse

Jeder erinnert sich daran. Ein verheerendes Sturmereignis, extreme Hitze oder ein katastrophales Hochwasser. Extremereignisse verursachen oft menschliches Leid und richten große Zerstörungen an. Wie hat sich die Häufigkeit von Extrema in der Vergangenheit entwickelt und welche Veränderungen sind in Zukunft zu erwarten?

Extrem = selten

Extremereignisse sind sehr selten auftretende Ereignisse. Sie sind gekennzeichnet durch stark vom üblichen Zustand abweichende Verhältnisse. Es gab sie in der Vergangenheit und es wird sie auch in der Zukunft geben. Bekannte Beispiele aus der entfernten Vergangenheit sind das Magdalenen-Hochwasser im Jahr 1342, das zahlreiche Flüsse in Mitteleuropa betraf, oder 1816, das Jahr ohne Sommer nach dem Ausbruch des Vulkans Tambora.

Auch in der nahen Vergangenheit haben wir Extremereignisse beobachten können. Das waren beispielsweise die Hochwasser in den Jahren 2002, 2013 und 2021, alle drei ausgelöst durch sehr hohe Niederschlagsmengen, das Hitzeereignis im August 2003 oder die Stürme Lothar (1999) und Kyrill (2007).

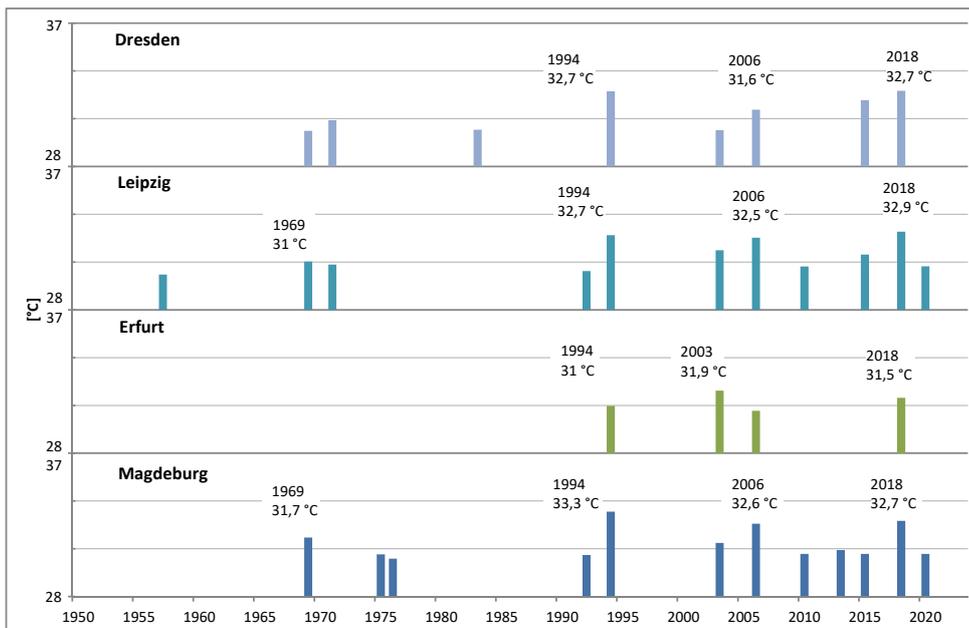
Damit steht berechtigterweise eine Frage im Raum: *Was kommt mit dem Klimawandel noch alles?* Da Extrema definitionsgemäß sehr seltene Ereignisse sind, sind statistische Analysen weniger belastbar. Häufig wird ein Wiederkehrzeitraum von einmal in 100 Jahren betrachtet (das Jahrhundertereignis). Die vorhandenen Messreihen sind kaum länger. Somit ist die statistische Erfassung eines Ereignisses auf dieser Skala nicht einfach.

Temperatur

Die mittlere Temperatur hat in den letzten Jahrzehnten stark zugenommen. In der Folge sind auch mehr Tage mit sehr hoher Temperatur und Hitzeperioden aufgetreten. Zum Beispiel hatte der Sommer 2019 zwei starke Hitzewellen. Während der Juli-Hitzewelle haben 13 Stationen den bisherigen Hitzerekord aus dem Jahr 2015 (40,3 °C Kitzingen) übertroffen.

Um extreme Temperaturereignisse wie z. B. den Hitzesommer 2019 klimatologisch richtig zu bewerten ist es sinnvoll, solche Ereignisse in möglichst langen Zeitreihen statistisch einzuordnen. Hierfür werden klimatologische Kennwerte verwendet, mit denen die Andauer, Intensität und Häufigkeit von Extremereignissen beschrieben werden können.

Für vier Städte der mitteldeutschen Länder wurde die Häufigkeit einer mindestens einmal jährlich auftretenden 14-tägigen Hitzeperiode mit einem mittleren Tagesmaximum der Lufttemperatur von mindestens 30 °C für den Zeitraum 1950–2023 analysiert. Die mittleren Temperaturmaxima dieser Perioden sind ein Maß für die Intensität der jeweiligen Hitzewellen. Es ist zu erkennen, dass solche extremen Hitzewellen seit den 1990er-Jahren häufiger auftreten; in Erfurt fanden sich zum Beispiel im Zeitraum 1950–1993 nie



◀ Darstellung des Mittelwertes der wärmsten 14-tägigen Periode je Jahr. Ausgewertet wurden die Tagesmaxima der Temperatur. Erreicht der Wert mindestens 30 °C, so wird ein Balken gezeichnet. Die Höhe des Balkens gibt den berechneten 14-Tages-Mittelwert an.

solche Ereignisse, seit 1994 gab es inzwischen vier extreme Hitzewellen. Wie Attributionsanalysen zeigen, liegt die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Hitzewelle wie der des Jahres 2019 je nach Lage der betroffenen Region zwischen zehn und 30 Jahren. Ohne Klimawandel läge die Eintrittswahrscheinlichkeit für eine vergleichbare Hitzewelle in Deutschland bei einmal in einigen Dutzend Jahren bis hin zu wenigen Jahrhunderten. Eine vergleichbare Hitzewelle wäre ohne Klimawandel 1,5 bis 3,0 °C kühler verlaufen.

Niederschlag

Von extremen Niederschlagsereignissen spricht man, wenn große Niederschlagsmengen pro Zeiteinheit fallen. Starkregenereignisse sind intensive Niederschläge, meist nur von kurzer Dauer, die insbesondere durch lokale konvektive Ereignisse ausgelöst werden. Vor Starkregen warnt der Deutsche Wetterdienst, wenn mehr als 15 mm in einer Stunde oder mehr als 20 mm in sechs Stunden zu erwarten sind. Dauert ein Ereignis mit großen Niederschlagsmengen mehrere Stunden oder Tage an, spricht man auch von Dauerregen.

Extreme Niederschlagsmengen in Mitteldeutschland bzw. Deutschland		
	Deutschland	Mitteldeutschland
2 h	245 mm Münster (LANUV) am 28.07.2014	111 mm Marienberg 05.07.1999
24 h	353 mm Zinnwald-Georgenfeld am 12.08.2002	353 mm Zinnwald-Georgenfeld am 12.08.2002
Monat	779 mm Aschau-Stein Juli 1954	546 mm Schönheide Juli 1954

Für die Planung und Dimensionierung wasserwirtschaftlicher Bauwerke werden statistische Auswertungen zu extremen Niederschlagsereignissen genutzt. Hier wird allgemein von Starkniederschlag gesprochen, wenn die Niederschlagshöhe einer bestimmten Zeiteinheit im statistischen Mittel am betrachteten Ort nur einmal im Jahr oder seltener auftritt. Einen regionalen Überblick über vieljährige statistische Starkniederschlagshöhen in Deutschland gibt KOSTRA-DWD. Dieser stationsbasierte Datensatz gilt für jede Dauerstufe (ausgewählter Zeitabschnitt mit Niederschlag einschließlich Unterbrechungen, unabhängig von Beginn und Ende der natürlichen Niederschlagsereignisse) zwischen D = 5 Minuten und D = 72 Stunden und referenziert derzeit den Zeitraum 1951 bis 2010. So können die Starkniederschlagshöhen laut KOSTRA-DWD-2020 in Abhängigkeit vom Wiederkehrintervall (von T = 1 a bis T = 100 a) ermittelt werden. Dabei ist das Wiederkehrintervall die mittlere Zeitspanne (in Jahren), in der die Niederschlagsmenge einmal erreicht oder überschritten wird.

Wiederkehrintervalle von Niederschlagsmengen								
D	5	15	30	1	3	6	24	72
	Min.	Min.	Min.	Std.	Std.	Std.	Std.	Std.
T = 1 a	7	11	13	16	20	24	33	42
T = 10 a	13	20	25	30	39	46	63	81
T = 100 a	21	33	40	48	63	74	102	131

▲ Auflistung von durchschnittlichen Starkniederschlagshöhen (in mm) je Dauerstufe (D), die nach KOSTRA-DWD-2020 im statistischen Mittel einmal in 1, 10 und 100 Jahren in der Region Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen auftreten (Wiederkehrintervall T).

◀ Beispiele für in Mitteldeutschland bzw. Deutschland erfasste, sehr extreme Niederschlagsmengen. Die genannten Niederschlagshöhen treten seltener als einmal in 100 Jahren auf. Die für Deutschland gezeigten Werte sind teilweise deutlich höher als die für Mitteldeutschland. Das ist aber rein zufällig. Vergleichbare Werte können auch in Mitteldeutschland auftreten.

Erkenntnisse über die Veränderung von Starkniederschlägen in der Vergangenheit in den mitteldeutschen Ländern basieren bisher vor allem auf Tagesmessungen. Eine nähere Differenzierung des Niederschlagsgeschehens im Verlaufe eines Tages (z. B. kurzes kräftiges Gewitter oder anhaltender Regen) ist damit jedoch nicht möglich. In der Regel beginnen die Auswertungen mit dem Jahr 1951. Seitdem verlief die Starkniederschlagsentwicklung regional und je nach Jahreszeit unterschiedlich. Während die Häufigkeit hoher täglicher Regenmengen vor allem im Winterhalbjahr (November bis April) eher anstieg, ist im Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober) keine genaue Tendenz zu erkennen. Außerdem scheinen sich auch die einzelnen Anteile am Gesamtniederschlag zunehmend auf nur wenige niederschlagsreiche Tage zu konzentrieren.

Die Datenbasis für die Analyse von Niederschlägen mit Andauern unterhalb von 24 Stunden ist deutlich eingeschränkter, da nur wenige lange und zeitlich hochaufgelöste Messreihen für die mitteldeutschen Länder zur Verfügung stehen. Radarbasierte Niederschlagsdaten liegen flächendeckend für Deutschland erst seit Mitte des Jahres 2000 vor. Aufgrund der geringen Länge der Zeitreihen lassen sich aktuell noch keine aussagekräftigen Ergebnisse zu potenziellen

Klimatrends ermitteln, da diese durch kurz- und mittelfristige Variationen bedingt sein können.

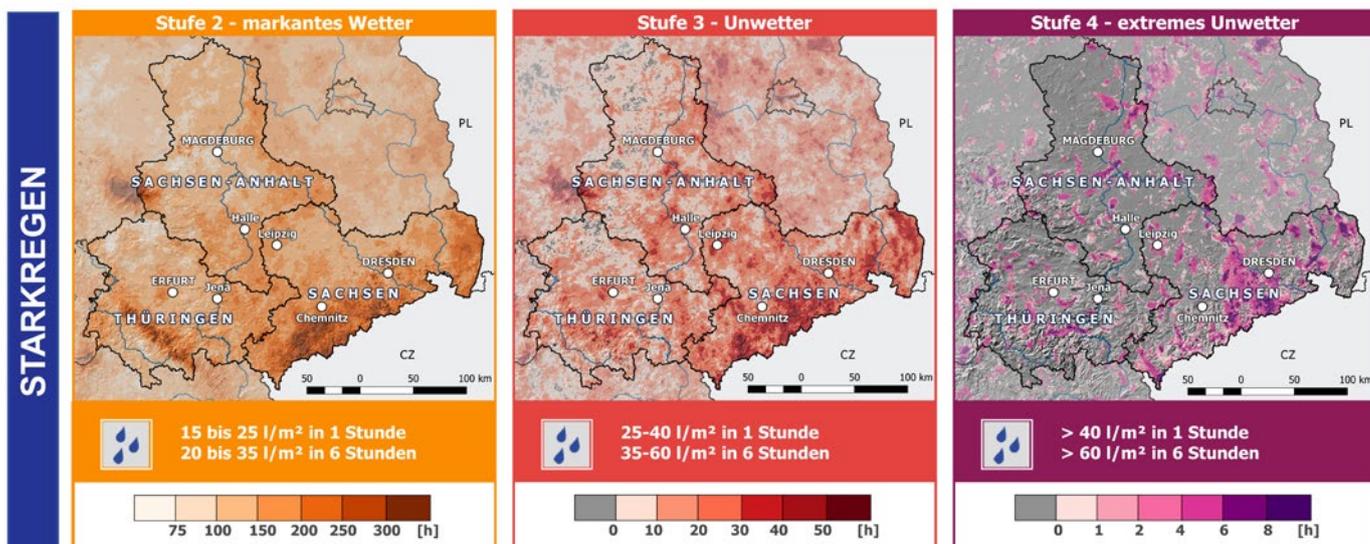
Nichtsdestotrotz ist die radarbasierte Niederschlagsklimatologie gerade in Bezug auf die Untersuchung lokal begrenzt auftretender Starkniederschlagsereignisse von großem Wert, da die Repräsentativität ortsgebundener Stationsdaten vor allem bei Andauern unterhalb 24 h sehr variabel und somit unsicher sein kann. Erst die radarbasierte Niederschlagsklimatologie ermöglicht nicht nur die Beobachtung der Niederschlagsintensität, sondern darüber hinaus die Analyse charakteristischer Eigenschaften wie der Größe und Andauer eines Extremereignisses.

Die radarbasierte Niederschlagsklimatologie zeigt u. a. eine Verteilung markanter Starkniederschläge, die größtenteils die Orografie widerspiegelt (Warnstufe 2). Demgegenüber treten die selteneren Starkniederschläge kurzer Andauern (konvektive Ereignisse) im Unwetterbereich gleichverteilt über die Region der mitteldeutschen Länder auf, so dass auch hier von einer bestehenden Starkregengefährdung auszugehen ist (Warnstufen 3 und 4).

Jährliche Statistiken des Zeitraums 2001 bis 2022 zeigen starke Schwankungen in der Anzahl sowie der

Gesamtanzahl der Niederschlagsstunden im Zeitraum 2001-2023 mit Überschreitung der Warnschwellen

(auf Basis der stündlichen Niederschlagszeitreihen der RADKLIM-Version 2017.002)



Geodaten: © GeoBasis-DE / BKG 2020 (Stand: 01.01.2020), Klimadaten und Darstellung: © DWD 2024 (RADKLIM Daten DOI: 10.5676/DWD/RADKLIM_RW_V2017.002)

▲ Verteilung der Starkregeneriege in Abhängigkeit von der Warnstufe. Extreme Niederschlagsereignisse treten in ganz Mitteldeutschland auf.

Flächenausdehnung extremer Niederschlagsereignisse. Es fällt in der Abbildung aber auf, dass Jahre mit weniger als 150 Starkregenereignissen pro Jahr eher zu Beginn des Untersuchungszeitraums aufgetreten sind und diese Zahl seit 2013 nicht mehr unterschritten wurde.

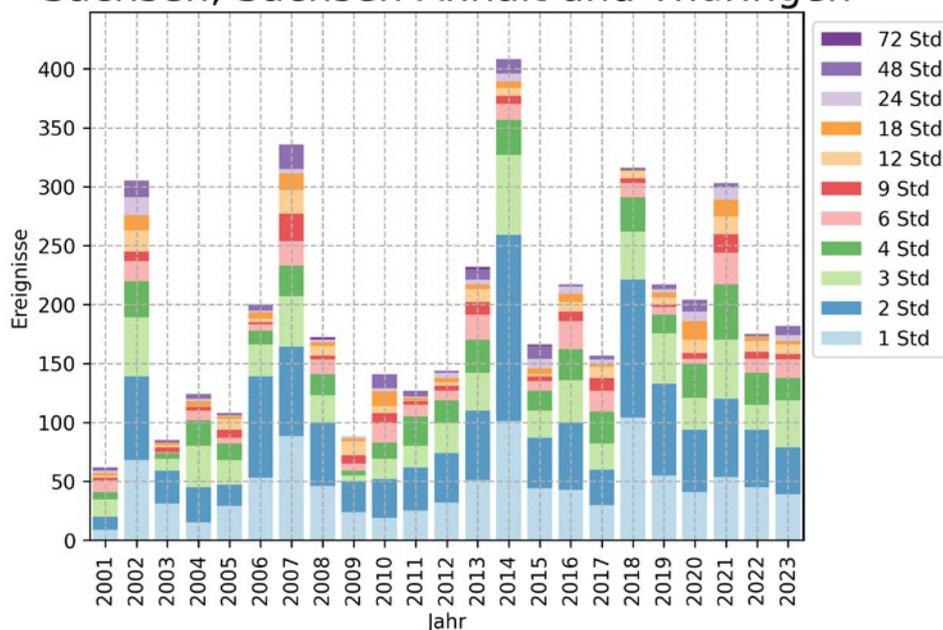
Die Ergebnisse deuten somit auf eine leichte Zunahme der Extremereignisse innerhalb der letzten 20 Jahre hin, wobei die Kürze der bislang vorliegenden Zeitreihe noch keine Rückschlüsse auf einen generellen klimatologischen Trend erlaubt.

Analysen der Eigenschaften extremer Niederschlagsereignisse in den Jahren 2001 bis 2012 in Abhängigkeit von der Temperatur deuten darauf hin, dass im Rahmen der klimawandelbedingten Temperaturzunahme mit einer Intensivierung extremer Niederschlagsereignisse zu rechnen ist. Die Extrema der kurzlebigen Konvektionszellen werden demnach mit steigenden Temperaturen deutlich großflächiger, leicht intensiver und bilden einen höheren Gesamtniederschlag aus. Mit steigender Temperatur nimmt (gemessen an der Gesamtanzahl von Niederschlagsereignissen) die Anzahl von Starkregenereignissen zu und die Anzahl von „Landregen“-Ereignissen ab. Die Niederschlagsereignisse dauern damit nicht mehr so lange und betreffen gleichzeitig kleinere Regionen.

Für Starkregen und Landregen gilt die Aussage, dass mit steigender Temperatur die Extremität zunimmt. Aus der Kürze des Untersuchungszeitraumes ergibt sich derzeit noch ein erheblicher Vorbehalt für die Repräsentativität dieser Ergebnisse. Sie stehen aber im Einklang mit dem bestehenden Prozessverständnis zum Zusammenhang zwischen Temperaturerhöhung und Niederschlagsgeschehen. Den Hintergrund bildet die durch die Clausius-Clapeyron-Gleichung beschriebene Zunahme der Aufnahmekapazität der Atmosphäre für Wasserdampf im Zuge der globalen Erwärmung. Diese ermöglicht eine Intensivierung der Niederschlagsbildung generell und insbesondere bei konvektiven Ereignissen.



Niederschlagsereignisse pro Jahr Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen



Jährliche Anzahl extremer Niederschlagsereignisse in Mitteldeutschland für verschiedene charakteristische Dauerstufen. Datenbasis für die Jahre 2001 bis 2023 ist der klimatologisch aufbereitete Datensatz RAD-KLIM_V2017.002. Die (vorläufigen) Daten für 2023 basieren auf den Echtzeitanalysen aus RADOLAN.

* Daten (c) DWD, bis 31.12.2023
Niederschlagsmenge \geq DWD Warnschwelle 3



Hagel

Hagelereignisse sind lokale und seltene Ereignisse, welche hohe Schäden an der Infrastruktur und Verluste in der Landwirtschaft verursachen können. Durch die meist geringe Ausdehnung der Hagelereignisse und die nur punktuelle Beobachtung konnten in der Vergangenheit nicht alle Ereignisse erfasst werden. Um diese Informationslücke zu schließen, werden die seit 2001 vorliegenden Radardaten genutzt. Die Ergebnisse zeigen eine höhere Anzahl an Tagen mit Hagel je Jahr im Süden Deutschlands als im Norden. Auf Basis der vorhandenen Beobachtungsdaten ist es nicht möglich, Entwicklungstendenzen für die Änderung der Anzahl an Hagelereignissen zu bestimmen. Alternativ ist die Nutzung von Daten, die indirekt auf Hagelfall schließen lassen, möglich. Dies sind Konvektionsparameter, die das Potential für die Gewitter- und Hagelbildung beschreiben. Statistische Analysen der hagelrelevanten Konvektionsparameter zeigen für die vergangenen 20–30 Jahre eine leichte Zunahme des Potentials. Die räumliche Auflösung der aktuell genutzten regionalen Klimamodelle ist nicht ausreichend, um Hagel direkt zu modellieren. Hagel wird nur grob über Parametrisierungen abgeschätzt. Somit sind keine Aussagen zu zukünftigen Tendenzen möglich. Analysen des Konvektionspotentials zeigen für den kurzfristigen Planungshorizont keine einheitliche Tendenz auf.

Wind

Markante Sturmereignisse wie „Christian“ oder „Xaver“ im Jahr 2013 oder „Friederike“ im Jahr 2018 beleben regelmäßig die Diskussion über mögliche Änderungen der Häufigkeit von Stürmen oder generell über Langzeittrends der Windgeschwindigkeit. Die Antwort darauf ist schwierig. Das liegt einerseits daran, dass die Messung der Windgeschwindigkeit nicht trivial ist. Um den Einfluss des Untergrundes möglichst gering zu halten, wird der Wind, abweichend von allen anderen meteorologischen Größen, standardmäßig in 10 m Höhe über Grund gemessen. Trotzdem reagiert die gemessene Windgeschwindigkeit empfindlich auf Änderungen in der Umgebung der Messstation (z. B. wachsende Bäume) oder auf Änderungen des Messortes. Damit weisen fast alle Windzeitreihen Inhomogenitäten auf. Des Weiteren sind die zur Verfügung stehenden Zeitreihen meist nur einige Jahrzehnte lang, zu kurz, um Langzeittrends über zum Beispiel 100 Jahre bestimmen zu können. Die besonders interessierenden Stürme oder Orkane sind seltene Ereignisse und damit nur mit möglichst langen Zeitreihen statistisch zu bewerten. Eine Möglichkeit, trotzdem Aussagen über die Entwicklung der Windgeschwindigkeit und des Auftretens von Stürmen in den letzten etwa 100 Jahren abzuleiten, ist die Betrachtung des geostrophischen Windes. Dieser beruht auf Luftdruckdifferenzen und ist eng mit dem „wahren“ Wind gekoppelt.

Die Messung des Luftdrucks ist bereits seit dem Ende des 18. Jahrhunderts mit hoher Qualität möglich. Bei der Betrachtung des geostrophischen Windes, der aus den Luftdruckdaten von Hamburg, Emden und List auf Sylt für die Deutsche Bucht berechnet wurde, zeigen sich Abschnitte mit Längen von zehn Jahren bis wenigen Jahrzehnten mit höherer oder niedrigerer Windgeschwindigkeit (sog. multidekadische Schwankungen). Für die gesamte Zeitreihe ist nur ein schwacher, abfallender Trend erkennbar, der jedoch deutlich kleiner ist als die Schwankungen von Jahr zu Jahr und somit statistisch nicht signifikant ist.

Ein ähnliches Bild liefern die Ergebnisse von Klimamodellprojektionen. Auch hier zeigen sich sowohl für die Vergangenheit als auch für die Zukunft die multidekadischen Schwankungen ohne Langzeittrend. Dies gilt ebenfalls für Stürme, auch bei ihnen ist für die Zukunft keine deutliche Änderung erkennbar.

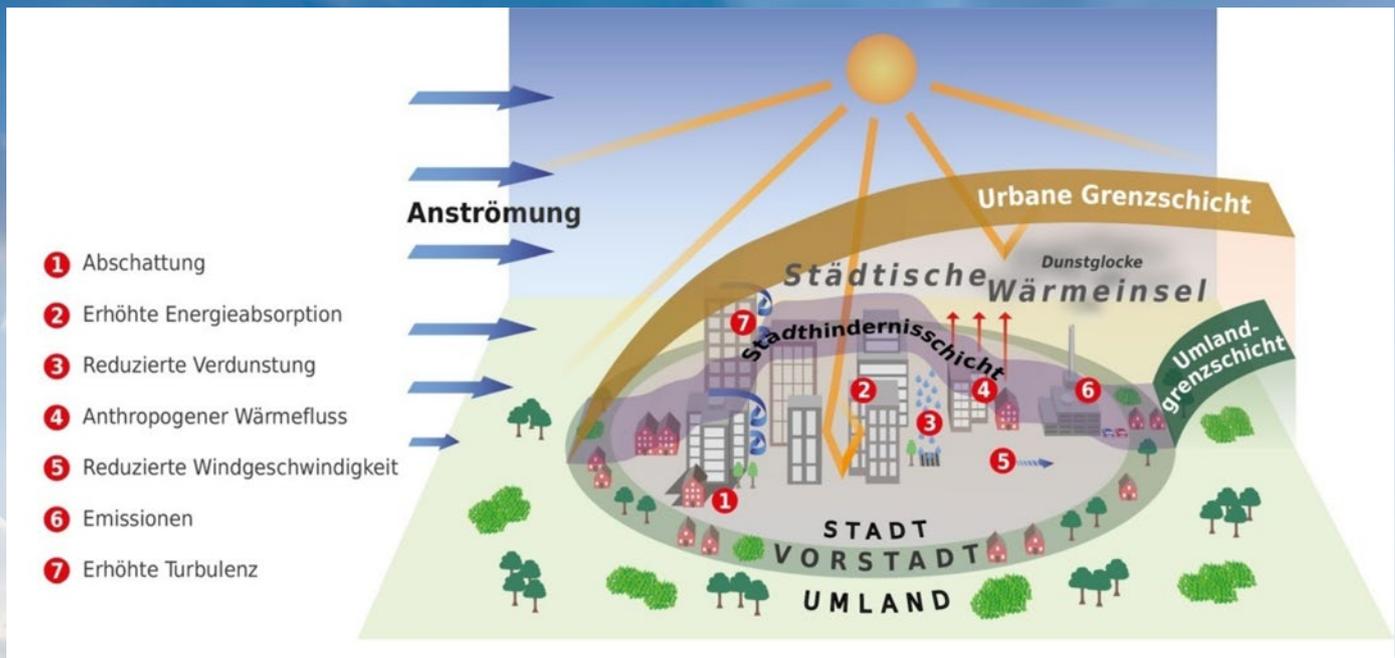
Tornados

Tornados sind kleinräumige rotierende Luftmassen, die hohe Schäden verursachen. In den letzten Jahr-

zehnten werden mehr Tornados gemeldet als früher. Doch viele schwache Tornados, die nur geringe Schäden verursachen, werden wahrscheinlich auch heute noch nicht gemeldet. Seit dem Jahr 2000 werden in Deutschland in der Regel zwischen 20 und 40 Tornados über Land pro Jahr nachgewiesen. Starke Tornados mit einer Intensität von mindestens F2 auf der Fujita-Skala, die von F0 bis F5 reicht, sind deutlich seltener. Im Durchschnitt wird mit zwei bis drei Fällen pro Jahr gerechnet. Ob die Zahl der Tornados in Deutschland in den letzten Jahrzehnten zugenommen hat, lässt sich aus diesen Meldungen nicht ableiten, da die Meldeeffizienz tendenziell zunimmt.

Die verfügbaren regionalen Klimaprojektionen liefern keine direkten Informationen über Tornados. Klar ist, dass der fortschreitende Klimawandel zu einem höheren konvektiven Energiepotenzial in der Atmosphäre führt. Inwieweit dies zu einer Zunahme der Tornadoaktivität führt, ist aber noch ungewiss, da andere Faktoren, die weiterer Forschung bedürfen, dem entgegenwirken können.





▲ Das Stadtklima und seine Einflussfaktoren.

Stadtklima

Die Weltorganisation für Meteorologie definiert das Stadtklima als „durch Bebauung und Emissionen gegenüber dem Umland verändertes Lokalklima“. Es betrifft sowohl die meteorologischen Parameter Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Strahlung und Wind, als auch Immissionsgrößen, wie zum Beispiel die Luftqualität und den Lärm.

Die städtische Wärmeinsel

Die städtische Wärmeinsel ist ein typisches Merkmal des Stadtklimas. Sie wird durch die Lufttemperaturdifferenz zwischen der meist wärmeren Stadt und ihrem kühleren Umland charakterisiert. Die städtische Wärmeinsel erreicht ihr Maximum bei wolkenfreien und windschwachen Wetterbedingungen während der Nacht. Dies ist insbesondere während sommerlicher Hitzeepisoden (Hochdruckwetterlagen) der Fall. Tagsüber sind die Unterschiede in der Lufttemperatur zwischen Stadt und Umland geringer. Deshalb ist die Anzahl der heißen Tage nur wenig erhöht, während die Anzahl der Tropennächte in Städten deutlich höher als im Umland ist.

Die städtische Wärmeinsel kann in großen Städten und Ballungsgebieten bis zu 10 Kelvin betragen. Die mittlere Wärmeinselintensität (mittleres tägliches Maximum) liegt bei den meisten deutschen Städten zwischen 2 und 4 Kelvin.

Die Lufttemperatur in Städten und damit der städtische Wärmeinselseffekt hängt stark von der Gebäudegeometrie, den thermischen Eigenschaften der Bausubstanz, den Strahlungseigenschaften der Oberflächen und der anthropogenen Wärmefreisetzung, zum Beispiel durch Hausbrand, Verkehr und Industrie ab.

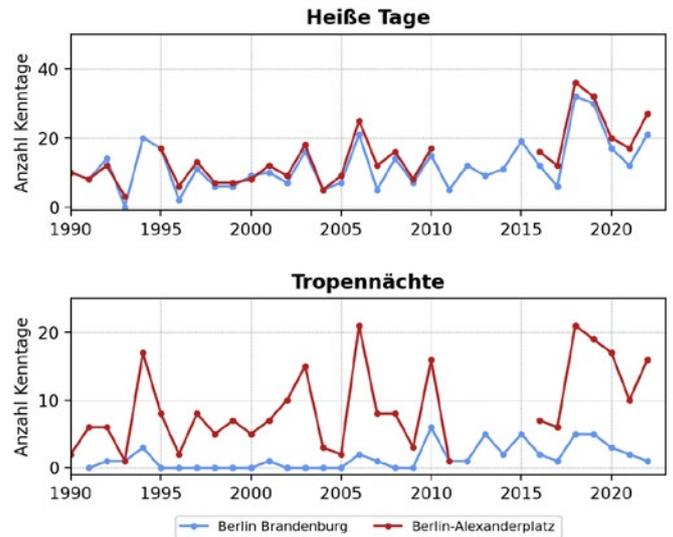
Vegetation, insbesondere Bäume und Sträucher und natürlicher Boden, die normalerweise einen kühlenden Effekt auf die Umgebung haben, fehlen in der Stadt. An ihre Stelle treten stark versiegelte Flächen, die den gefallenen Niederschlag nicht speichern, sondern oberirdisch ableiten. Weder der Schatten der Bäume noch die Kühlung durch die Verdunstung können dann die notwendige Abkühlung für die Stadtbewohner bringen.

Auswirkungen der städtischen Wärmeinsel

Die Auswirkungen der städtischen Wärmeinsel sind vielfältig. Vor allem die fehlende nächtliche Abkühlung kann sich negativ auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der Stadtbevölkerung auswirken. Bei den erhöhten nächtlichen Temperaturen in der Stadt, die oft auch kritische Schwellen wie die Tropennacht überschreiten, kann sich der menschliche Körper während des Schlafes kaum noch erholen. Dies kann in der Folge zu sinkender Konzentrationsfähigkeit und Unfällen führen.

In den Sommermonaten erhöht sich für die Stadtbewohner die Gefahr für Hitzestress. Vor allem ältere Menschen, Menschen mit Vorerkrankungen, zum Beispiel des Herzkreislaufsystems, und Kleinkinder können sich häufig nur unzureichend an die erhöhte Wärmebelastung anpassen.

Während Hitzeperioden führt die höhere Lufttemperatur in Städten durch den vermehrten Einsatz von Kühlsystemen und Klimaanlage zu einem erhöhten Energieverbrauch verbunden mit steigenden Energiekosten. Gleichzeitig wird die Abwärme der Klimageräte in den Straßenraum abgeführt und heizt so die Stadt weiter auf.



▲ Vergleich der Anzahl der Heißen Tage (Tagesmaximum der Temperatur $\geq 30^\circ\text{C}$) und der Tropennächte (Tagesminimum der Temperatur $\geq 20^\circ\text{C}$) der DWD Stadtklimastation Berlin-Alexanderplatz und der Umlandstation Berlin Brandenburg.



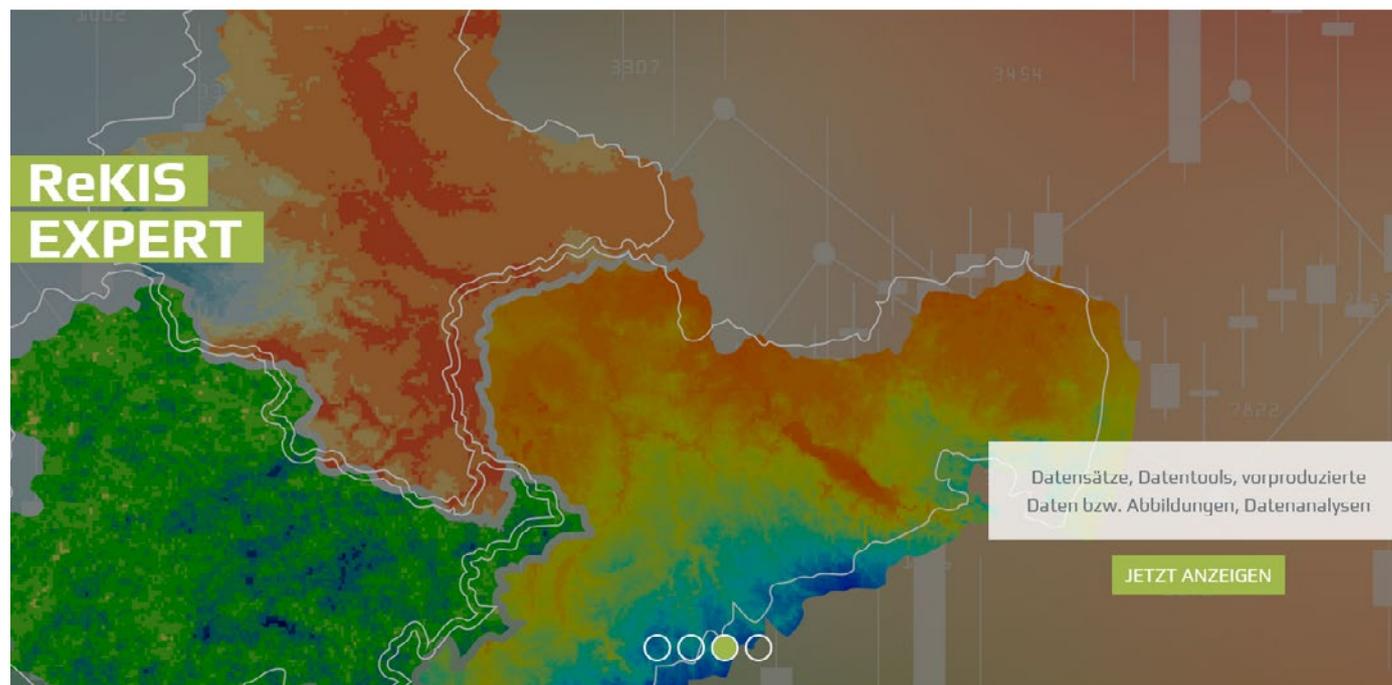
Stadtklimastation des DWD in Dresden-Neustadt ►

ReKIS

Das regionale Klimainformationssystem ReKIS

Eine gemeinsame Informationsplattform für Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen

Der Klimawandel endet bekanntermaßen nicht an Ländergrenzen und ist doch regional unterschiedlich. Seit 2012 betreiben die mitteldeutschen Bundesländer zusammen mit der Technischen Universität Dresden eine eigene Klima-Informationsplattform – das regionale Klimainformationssystem ReKIS. Der Mehrwert im Vergleich zu klimabezogenen Angeboten nationaler Institutionen besteht in der Bereitstellung, Dokumentation, Auswertung und Interpretation von Klimainformationen unter Berücksichtigung von regionalen sowie nutzerspezifischen Anforderungen.



ReKIS – REGIONALES KLIMAINFORMATIONSSYSTEM SACHSEN, SACHSEN-ANHALT, THÜRINGEN

Die klimatische Veränderung in Mitteleuropa basiert auf dem globalen Klimawandel. Die Ausprägung dieser Veränderung wird aber von regionalen Besonderheiten wie Landnutzung oder Relief überlagert. Regionale Fragestellungen bedürfen daher oftmals einer regional-klimatischen und bedarfsgerechten Betrachtung. Nicht zuletzt müssen die Informationen verlässlich und leicht zugänglich sein. Genau dort setzt ReKIS an.

Regional

In ReKIS existieren geprüfte Klimainformationen zum bereits stattfindenden Klimawandel in einer sehr hohen zeitlichen sowie räumlichen Auflösung. Diese Informationen sind vielseitig nutzbar und werden in ReKIS-Expert zur Verfügung gestellt. Sie eignen sich für eine einfache Übersicht oder können als Grundlage für hochkomplexe regionale oder lokale Klima- und Klimafolgenanalysen genutzt werden.

Um den zukünftigen Klimawandel abschätzen zu können, nutzen Forschende Klimamodelle und Klimaszenarien. Auch hier bietet ReKIS mit dem „Mitteleuropäischen Kernensemble“ eine auf regionale Bedürfnisse

hin optimierte Lösung zur Abschätzung des zukünftigen Klimawandels an. Die Nutzenden müssen dabei keine Expertise auf dem Gebiet der Klimamodellierung haben. Sollten doch einmal Fragen auftauchen, besteht jederzeit die Möglichkeit, Rücksprache mit den Fachleuten zu halten.

Bedarfsgerecht

Anhand der Erfahrungen und Rückmeldungen der Nutzenden erfolgt eine kontinuierliche Weiterentwicklung der Inhalte. ReKIS zeichnet sich dabei durch eine hohe Flexibilität gegenüber veränderten wissenschaftlichen Erkenntnissen oder Bedarfen von Nutzenden aus. Der Nutzende steht dabei bei ReKIS immer im Vordergrund. Die Klimainformationen werden daher in unterschiedlichen Formaten – beispielsweise als Datensatz, Grafik, Tabelle oder Steckbrief – bereitgestellt, um möglichst allen Anforderungen gerecht zu werden. Bereits heute sind viele Informationen speziell für administrative Gebietskategorien (z. B. Planungsregionen, Landkreise, Kommunen) oder andere räumliche Landnutzungseinheiten (z. B. Naturräume) verfügbar.



ReKIS

<https://rekis.hydro.tu-dresden.de>



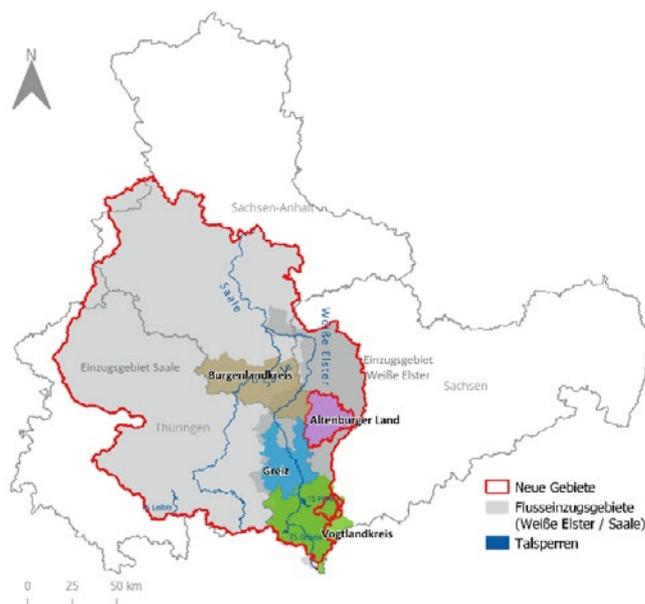


Projekte

Aus der lang andauernden Kooperation der Bundesländer Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen ist neben dem ReKIS auch ein gemeinsames Projekt namens KlimaKonform entstanden.

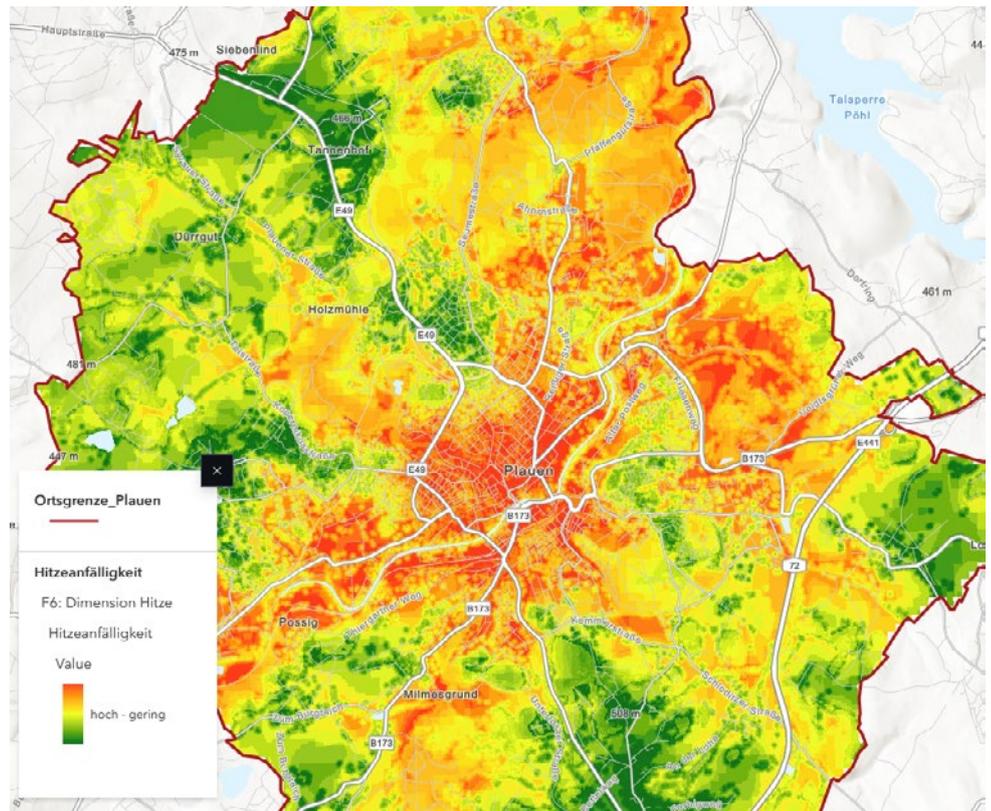
Aufgrund der lokalen Wirkung von klimatischen Veränderungen spielen Kommunen eine zentrale Rolle bei der Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen. Hier setzt das Projekt KlimaKonform an. Das Ziel ist, gemeinsam mit Gemeinden des Burgenlandkreises (Sachsen-Anhalt), des Vogtlandkreises (Sachsen) und des Landkreises Greiz (Thüringen) Konzepte zur Anpassung an die Klimaveränderungen zu erarbeiten. Anders als bei Klimaschutzmaßnahmen, die die Reduktion von Treibhausgasemissionen zum Ziel haben, geht es bei Klimaanpassung darum, die aktuellen und zukünftigen klimatischen Veränderungen wahrzunehmen, die Folgen abzuschätzen und auch umzudenken.

In der ersten Projektphase hat die Zusammenarbeit mit den überwiegend kleinen und mittleren Kommunen der KlimaKonform-Modellregion die Probleme im Zusammenhang mit der Anpassung an die zunehmenden Extremwetterereignisse, wie Hitze, Dürre, Starkregen und Hochwasser, sehr deutlich gemacht: Die Gemeinden in der Modellregion stehen bei der Klimaanpassung vor der Herausforderung, die notwendigen finanziellen und personellen Ressourcen zur Verfügung zu stellen. Ziel des Projektes KlimaKonform ist es daher auch, die dadurch entstehenden Vorbehalte in der Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen zu reduzieren. Auch in den Projektionen zum zukünftigen Klima werden die besonderen Spezifika von Mittelgebirgsregionen – größere Unsicherheiten, lokale Verstärkung der Extreme – deutlich. In der Förderphase 2 sollen ab 2024 die in der Phase 1 gewonnenen Erkenntnisse und Verfahren, wenn möglich, für



▲ Darstellung des Klimakonform-Projektgebietes innerhalb der Landesgrenzen von Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen.

die gesamten Mittelgebirgsregionen der Bundesländer Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen erweitert und wo nötig methodisch vertieft werden. Dafür werden das auf dem Gebiet der Weißen Elster erworbene Wissen und die guten Kontakte mit den Kommunen genutzt, um konkrete Vorschläge zur Klimaanpassung mit Hilfe der entwickelten Klimainformationsdienste umzusetzen. Ein Ziel wird langfristig sein, sogenannte Klima-Coaches in den Kommunen zu etablieren, die Klimaanpassungsmaßnahmen in ihren Gemeinden begleiten. In den drei Pilotkommunen, die sich in Typ und Ausstattung unterscheiden, wird KlimaKonform



Hitzeanfälligkeit der Stadt Plauen ▶

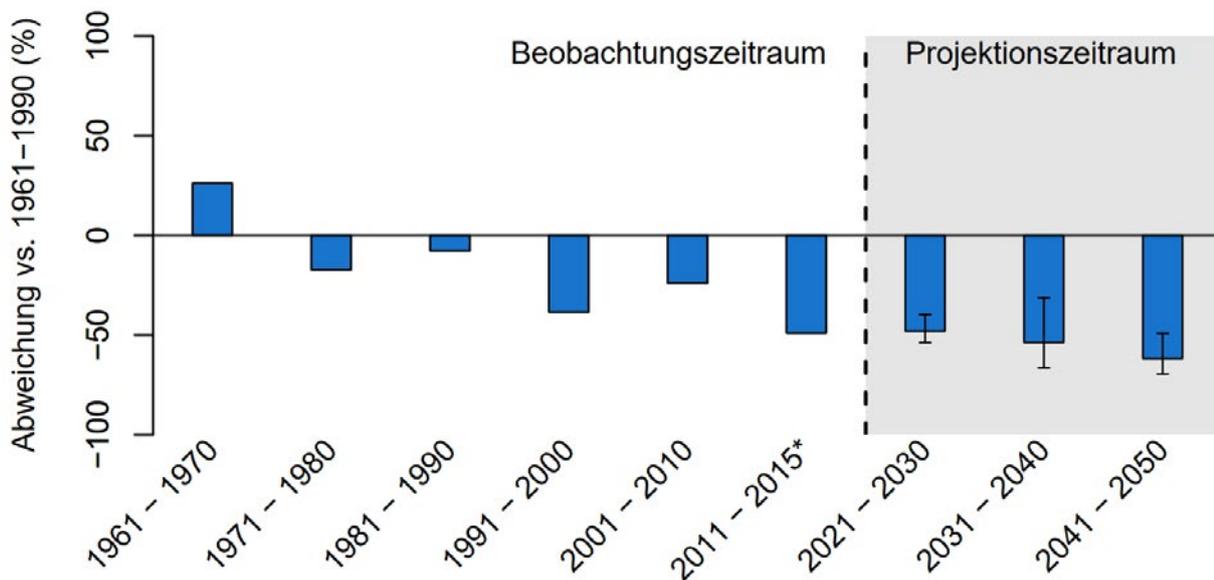
die Planung von Anpassungsmaßnahmen unterstützen, dabei Potential sowie Praxistauglichkeit der Klimadienste testen und gemeinsam mit lokalen Stakeholdern weiterentwickeln.

In Sachsen laufen parallel Projekte zur Verbesserung der Datengrundlage, wie die Fortschreibung des Klimareferenzdatensatzes und die Erstellung einer Datenbank, welche alle meteorologischen Daten aller Landesnetze zusammenführt.

Die Studie zum Atmosphärischen Konvektionspotential über Sachsen informiert über Gefährdungspotentiale für Starkregen und Hagel, die durch den atmosphärischen Prozess der Konvektion ausgelöst sind. Neben der Erfassung des gegenwärtigen Potentials über Sachsen erfolgte auch eine Abschätzung unter zukünftig möglichen Klimarahmenbedingungen.

Langjährige, zeitlich hochaufgelöste Zeitreihen von Windgeschwindigkeit und -richtung sind jedoch nur punktuell und somit oftmals nicht in der ausreichenden räumlichen Dichte verfügbar. Vor diesem Hintergrund wurden im Projekt „Windfeld Sachsen“ mit einem gekoppelten Modellansatz mittels Downscaling

flächendeckende Windfelder für das Gebiet des Freistaats Sachsen mit einer Gitterweite von 100 x 100 m und einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde für den Zeitraum von 1961 bis 2020 erzeugt. Somit wurde in diesem Projekt ein für ganz Sachsen bisher einmaliger Datensatz erzeugt, welcher flächendeckend in vergleichsweise hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung Informationen zur Windgeschwindigkeit und Windrichtung lückenlos über einen klimarelevanten Zeitraum von 60 Jahren bereitstellt.



▲ Abweichung von Tagen in einem 7tägigen Zeitraum mit einer Schneehöhe größer 20 cm (Klima-Referenzperiode der WMO 1961-1990) im Gesamtwinter (Dezember-März) im Skigebiet Klingenthal (Sachsenberg Georgenthal)

Die Schneeklimatologie für Sachsen bildet die fachliche Grundlage zur Bewertung der Schneesicherheit im Rahmen der Tourismusstrategie Sachsen. Skigebietsbetreiber waren durch die AG Wintertourismus der Tourismus Marketing Gesellschaft Sachsen mbH eingebunden.

Flankierend zu KlimaKonform werden mit freiwilligen Testkommunen wie Dresden oder Chemnitz Untersuchungen zu den Anpassungsschwerpunkten Schutz von Kaltluftbahnen bzw. Hitzeinseln und der Ableitung von Hitzeaktionsplänen durchgeführt. Im Projekt ChRista werden die Chancen und Risiken von Klimaschutzmaßnahmen eruiert und so ein Beitrag zur Erreichung der Klimaneutralität in Sachsen geleistet.

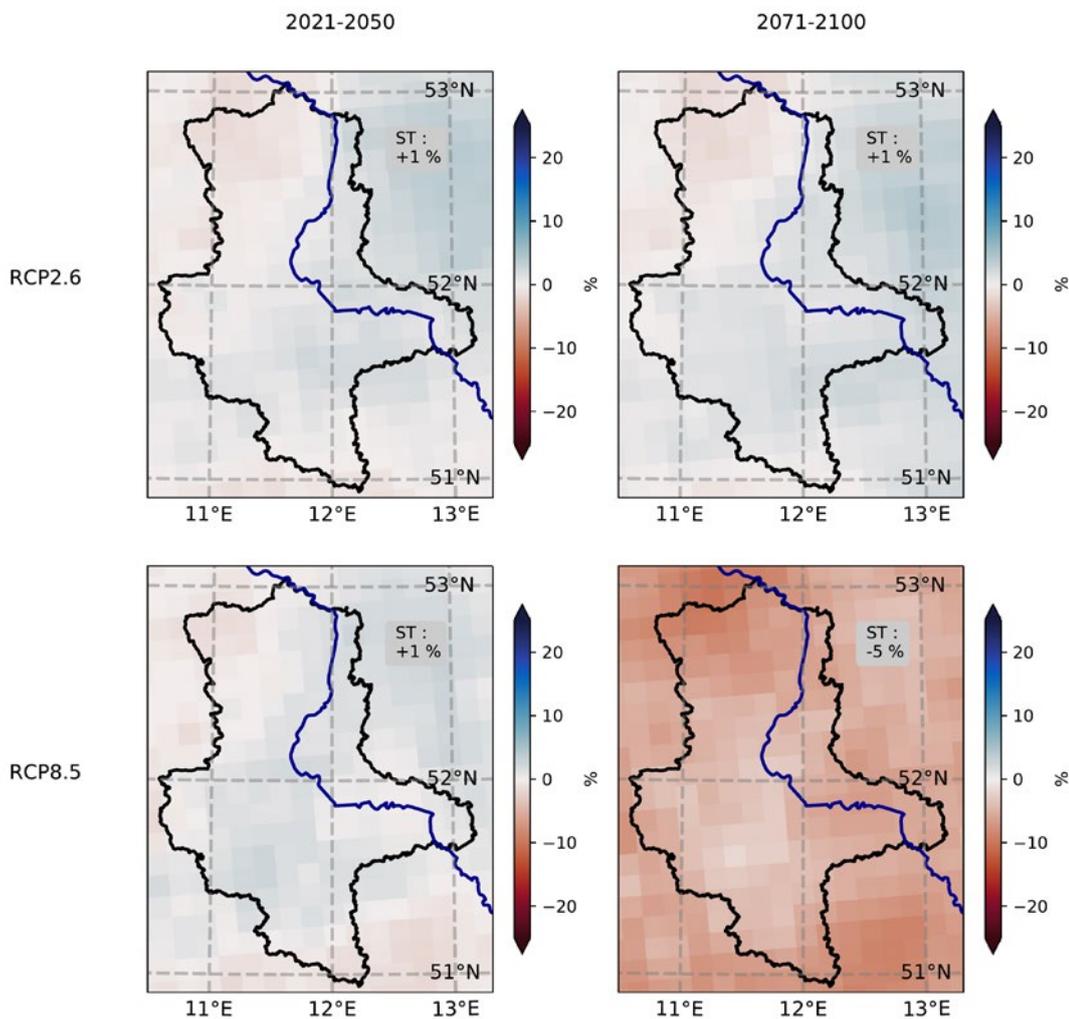
Aufgrund der Zunahme von Extremereignissen, sowohl Dürre als auch Starkniederschlagsereignisse, steht die Wasserwirtschaft (nicht nur) in Mitteldeutschland vor großen Herausforderungen.

In Sachsen-Anhalt werden die gestiegenen klimawandelbedingten Anforderungen beispielsweise an die Trinkwasserversorgung, die Abwasserbehandlung, das Regenwassermanagement sowie der Infrastruktur im Kompetenzzentrum Wasserwirtschaft Mitteldeutschland erforscht. Ziel ist die Herleitung praktischer Lösungsansätze zur Umsetzung der nationalen Wasserstrategie.

Derartige Lösungsansätze im Bereich der Klimafolgen benötigen ein verlässliches Datengerüst.

Für Klimaprojektionen, also für Zukunftssimulationen, wurde hierfür für den Mitteldeutschen Raum unter Federführung von Sachsen-Anhalt das Mitteldeutsche Kernensemble entwickelt. Mithilfe dieses Datensatzes können für Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen die Auswirkungen des Klimawandels bis 2100 analysiert werden, so auch in diesem Report. Für Sachsen-Anhalt sind weitere Ergebnisse in dem Bericht zur „Klimamodellauswertung Sachsen-Anhalt 1961-2100“ dokumentiert.

Der Freistaat Thüringen hat im Jahr 2022 eine Niedrigwasserstrategie als Ergänzung des Thüringer Landesprogramms Gewässerschutz veröffentlicht. Ziel der rund 80 Maßnahmen der Thüringer Niedrigwasserstrategie ist es, Auswirkungen des Klimawandels durch Dürren und Wassermangel auf Flüsse, Standgewässer und das Grundwasser zu untersuchen sowie geeignete Anpassungsmaßnahmen abzuleiten. Die Erkenntnisse aus den Projekten der Niedrigwasserstrategie sind auch für die Bewirtschaftung natürlicher Ressourcen und damit in den Handlungsfeldern Forst- und Landwirtschaft für Thüringen von höchster Relevanz. Die Entwicklung von zukunfts-trächtigen Strategien zu Anpassung an die Folgen des Klimawandels steht daher im Mittelpunkt der vertieften Zusammenarbeit des Thüringer Landesamtes für Umwelt, Bergbau und Naturschutz mit dem Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum und der ThüringenForst Anstalt öffentlichen Rechts.



▲ Niederschlagsänderung Sommerhalbjahr (April bis September) gegenüber 1961 bis 1990 in Prozent. (Quelle: Klimamodellauswertung Sachsen-Anhalt 1961-2100)

Basierend auf dem „Zweiten Monitoringbericht zu Klimawandelfolgen in Thüringen“ des Thüringer Ministeriums für Umwelt, Energie und Naturschutz von 2022 werden die in Zusammenarbeit mit den Ressorts weiterentwickelten Maßnahmen im „Integrierten Maßnahmenprogramm zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels im Freistaat Thüringen (IMPAKT)“ gebündelt. IMPAKT wird nach 2013 und 2019 zum zweiten Mal fortgeschrieben und Ende 2024 als IMPAKT III auf der Datenbasis des oben erwähnten Re-

ferenzdatensatzes sowie des Mitteldeutschen Kernensibles erscheinen. Die Fortschreibung des IMPAKTs sowie des Monitoringberichts ist im Thüringer Gesetz zum Klimaschutz und zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels (Thüringer Klimagesetz - ThürKli-maG) vom 18. Dezember 2018 festgeschrieben.

Die Förderungen der Länder Mitteldeutschlands

Förderung Sachsen

Richtlinie Energie und Klima

Gefördert werden Investitionen zur Anpassung an die Klimakrise wie beispielsweise Maßnahmen an Gebäuden oder zum Regenwasserrückhalt, nichtinvestive Maßnahmen zur Unterstützung von Anpassungsprozessen (in Form von kommunalem Klimamanagement), zur Analyse und Bewertung von Klimarisiken sowie zur Vorbereitung investiver Klimaanpassungsmaßnahmen, investive Komplexvorhaben in diesem Bereich sowie investive Modellvorhaben.

<https://www.smekul.sachsen.de/foerderung/richtlinie-energie-und-klima-fri-euk-2023-4260.html>

Richtlinie Stadtgrün und Lärm Radon/2023

Gefördert werden in Städten und Gemeinden ab 2.000 Einwohnern. Es werden biodiversitätsfördernde Anlagen, Aufwertung und Vernetzung von Grün- und Freiflächen, die Anlage oder Aufwertung von insektenfördernden, mehrjährigen, arten- und blütenreichen Wiesen gefördert. Zudem kann die Anlage von Dachbegrünung (ab 50 m²) und Fassadenbegrünung unterstützt werden. Konzepte zur Stärkung und Sicherung biodiversitätsfördernder grüner Infrastrukturen im Siedlungsbereich werden ebenso gefördert. reiche Wiesen gefördert. Zudem kann die Anlage von Dachbegrünung (ab 50 m²) und Fassadenbegrünung unterstützt werden. Konzepte zur Stärkung und Sicherung biodiversitätsfördernder grüner Infrastrukturen im Siedlungsbereich werden ebenso gefördert.

<https://www.smeku.l.sachsen.de/foerderung/stadtgruen-laerm-radon-2023-13619.html>

Förderung Sachsen-Anhalt

Kommunen in Sachsen-Anhalt müssen widerstandsfähiger gegen die Folgen des Klimawandels werden. Mit der EFRE-Förderrichtlinie KLIMA III¹ sollen

¹ Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel im Land Sachsen-Anhalt

Kommunen bei der Anpassung an die Folgen des Klimawandels durch das Land unterstützt werden. Ziel der Richtlinie ist, die Verbesserung der Risikovor-sorge und des Risikomanagements zum Beispiel vor Hochwasser- und Starkregenereignissen, Sturzfluten, Hitzewellen, Dürren und Stürmen. Gefördert werden sowohl nichtinvestive Maßnahmen (Strategien, Studien, Konzepte, Planungen, etc.) als auch investive Maßnahmen (Entsiegelung, Begrünung, Beschattung oder mobiler Hochwasserschutz, etc).

<https://www.ib-sachsen-anhalt.de/oeffentliche-einrichtungen/investieren-ausgleichen/sachsen-anhalt-klima-iii>

Förderung Thüringen

Richtlinie des Landes Thüringen zur Förderung von Maßnahmen für Klimaschutz- & Klimaanpassung in Kommunen - Klimainvest

Ziel dieser Richtlinie ist es, Treibhausgasemissionen in Thüringen zu reduzieren, Energie einzusparen und Klimaanpassung in Kommunen, sozialen und gemeinnützigen Einrichtungen zu ermöglichen. Die Förderung zielt auf das Erreichen der Ziele des Thüringer Klimagesetzes, insbesondere auf die Verminderung von Treibhausgasemissionen und die Anpassung an die unvermeidbaren Folgen des Klimawandels in Thüringen ab. Gefördert werden z. B. Klimaschutz- und Anpassungskonzepte, gebäudetechnische Investitionen, Schutz vor Schäden durch Starkniederschläge, Hitze, Dürre, Orkane, Personal für Klimaschutz-, Klimaanpassungs- oder Energiemanagement und vieles mehr. Darüber hinaus existieren in Thüringen weitere Förderprogramme, die zur Energie- und Ressourcenschonung, zum Natur- und Landschaftsschutz sowie zur Sicherung von Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung beitragen.

<https://umwelt.thueringen.de/ministerium/unsere-foerderprogramme>

Begriffskompass Klima

Bezugszeitraum/Referenzzeitraum

Angaben über eine Änderung der beobachteten mittleren klimatischen Verhältnisse werden immer in Relation zu einer Bezugsperiode/einem Referenzzeitraum getätigt. In diesem Klimareport werden Aussagen über die Vergangenheit auf den Zeitraum der Jahre 1961 bis 1990 bezogen. Dieser Zeitraum entspricht der Klima-Referenzperiode der Weltmeteorologieorganisation für die langfristige Klimaüberwachung. Die Aussagen beschreiben immer die mittleren Verhältnisse über eine Zeitspanne von 30 Jahren.

Frühindustrieller Zeitraum

Der Zeitraum 1881 bis 1910 wird als frühindustrieller Zeitraum definiert. Die Definition erfolgt in Anlehnung an die Definition eines vorindustriellen Zeitraumes durch die Pariser Klimakonferenz COP21.

Kenntage

Ein Kenntag ist ein Tag, an dem ein definierter Schwellenwert eines klimatischen Parameters erreicht beziehungsweise über- oder unterschritten wird (z. B. Sommertag als Tag mit Temperaturmaximum ≥ 25 °C) oder ein Tag, an dem ein definiertes meteorologisches Phänomen auftrat (z. B. Gewittertag als Tag, an dem ein Gewitter auftrat).

Klimaprojektion

Eine Klimaprojektion ist die Beschreibung eines möglichen und plausiblen künftigen Zustandes des Klimasystems nebst der zeitlichen Entwicklungslinie, die dorthin führt. Klimaprojektionen werden üblicherweise mit einem Klimamodell auf der Basis eines Szenarios erstellt.

Klimavorhersage

Vorhersagen leiten aus dem vergangenen und aktuellen Zustand des Klimasystems Aussagen über dessen zukünftigen Zustand ab. Traditionell beinhaltet eine Wettervorhersage die Entwicklung der nächsten ein bis zehn Tage. Die Klimavorhersage, ein aktueller Forschungsgegenstand, ist die Abschätzung der Entwicklung über diesen Zeithorizont hinaus für Zeitskalen von mehreren Monaten bis einer Dekade.

Planungshorizonte

In diesem Bericht wird zwischen einem kurzfristigen und langfristigen Planungshorizont unterschieden. Der kurzfristige Planungshorizont beschreibt das Zeitfenster der Jahre 2021 bis 2050, der langfristige das Zeitfenster der Jahre 2071 bis 2100. Auf diese Zeiträume bezogene Aussagen erfolgen immer in Relation zur Bezugsperiode 1961 bis 1990.

Spannbreite

Für die Analyse der zukünftigen klimatischen Entwicklungen wird eine Gruppe von Klimaprojektionen (Ensemble) genutzt. Mit der Spannbreite wird der Bereich zwischen dem Modellergebnis mit der geringsten und größten Änderung beschrieben.

Szenarien

Ein Szenario ist eine Beschreibung einer möglichen Zukunft auf Grund von Annahmen. Eine Möglichkeit ist der Aufbau einer in sich schlüssigen Kette von Annahmen bezüglich der politischen, wirtschaftlichen und ökologischen Bedingungen in der Zukunft und daraus abgeleiteten Veränderungen der Treibhausgasemissionen.

Impressum

Die Erstellung des Klimareports Mitteldeutschland erfolgte in enger Zusammenarbeit zwischen dem Deutschen Wetterdienst (DWD) und dem Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen (LfULG), dem Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (LAU) sowie dem Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz (TLUBN).

Autoren

Dr. Andreas Becker, Dr. Thomas Deutschländer, Karsten Friedrich, Dr. Barbara Früh, Dr. Christoph Geißler, Mathias Herbst, Thomas Junghänel, Dr. Frank Kreienkamp, Thomas Leppelt, Nora Leps, Tobias Neumann, Dr. Monika Rauthe, Stefan Rösner, Dominic Rumpf, Thomas Schmidt, Stefan Struve, Miriam Tivig, Dr. Andreas Walter, Dr. Tanja Winterrath, Dr. Markus Ziese

Redaktion

Dr. Frank Kreienkamp

Online-Ausgabe

Dieses Heft liegt als digitales Dokument auf unserer Internetseite www.dwd.de/klimareport-mdl. Hier finden Sie auch Links zu Hintergrundmaterial und ähnlichen Produkten des Deutschen Wetterdienstes.

Die Online-Ausgabe unterliegt der Lizenz



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.de>

Zitierhinweis

DWD (2024): Klimareport Mitteldeutschland; 1. Auflage, Deutscher Wetterdienst, Deutschland, 56 Seiten.

ISBN 978-3-88148-554-8 (Print)

ISBN 978-3-88148-555-5 (Online)

Gestaltung und Satz

Elke Roßkamp, Oda Thiessen-Thom

Druck

Bundesministerium für Digitales und Verkehr
Hausdruckerei

Bildnachweis

DWD, außer:

Christoph Geißler: 31 or

Creative Collection: 1o, 18, 20

Fotolia.com: 5 (Gina Sanders), 10 (Paul Paladin), 19 (gradt)

Jens Strauß: U1

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen: 3r, 23 (Janka Soltes), 36, 37, 43, 45 (Matschulla), 49 (Christa Müller)

Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt: Um MEV-Verlag: 1u, 17l

Panthermedia.net: 1m (Hans Eder), 4 (Dario Sabljak), 6 (kwest) 10u (Orlando Rosu), 11 (Hendrik Fuchs), 17r (Daniel Loretto), 29o (Roland Schmock), 37 (Ingo Gronostay), 40 (Bernd Leitner), 44o (Daniel Loretto)

Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz: Ur, 3ol

S. 53: © UlrichConsulting Max Ulrich e. K.

(l: links; m: mitte; o: oben; r: rechts, u: unten;

U: Umschlag)

**Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft
und Geologie Sachsen**

Referat 55 Fachzentrum Klima

Söbringer Straße 3a

01326 Dresden

FachzentrumKlima.lfulg@smekul.sachsen.de



SACHSEN-ANHALT

Landesamt für Umweltschutz

Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt

Dezernat 33: Klima, Erneuerbare Energien,

Nachhaltigkeit, Umweltallianz

Reideburger Straße 47

06116 Halle (Saale)

LAU_Klima@lau.mwu.sachsen-anhalt.de



**Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau
und Naturschutz**

Referat 72 | Kompetenzzentrum Klima

Göschwitzer Straße 41

07745 Jena

klima@tlubn.thueringen.de



Deutscher Wetterdienst

Klima- und Umweltberatung

Regionales Klimabüro Potsdam

Michendorfer Chaussee 23

14473 Potsdam

Tel: +49 (0) 69 / 8062 - 4948

klima.potsdam@dwd.de

Über www.dwd.de gelangen Sie auch zu unseren Auftritten in:



www.blauer-engel.de/a2176

