



Ministerium für  
Landwirtschaft,  
Umwelt und  
Klimaschutz

# KLIMAREPORT BRANDENBURG 2024

[mluk.brandenburg.de](https://mluk.brandenburg.de)



## **IMPRESSUM**

### **Herausgeber**

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK)  
des Landes Brandenburg  
Referat Öffentlichkeitsarbeit, Internationale Kooperation  
Henning-von-Tresckow-Straße 2-13, Haus S  
14467 Potsdam  
Telefon: +49 331 866-7237  
E-Mail: [bestellung@mluk.brandenburg.de](mailto:bestellung@mluk.brandenburg.de)  
Internet: [mluk.brandenburg.de](http://mluk.brandenburg.de)

### **Redaktion**

Landesamt für Umwelt (LfU)  
Referat T14  
Ortsteil Groß Glienicke  
Seeburger Chaussee 2  
14476 Potsdam  
Telefon +49 33201 442-0  
E-Mail: [klima@lfu.brandenburg.de](mailto:klima@lfu.brandenburg.de)  
Internet: [lfu.brandenburg.de](http://lfu.brandenburg.de)

Die Publikation ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg. Sie darf nicht zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Unabhängig davon, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Veröffentlichung dem Empfänger zugegangen ist, darf sie, auch ohne zeitlichen Bezug zu einer Wahl, nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner Gruppen verstanden werden könnte.

Potsdam/Groß Glienicke, Dezember 2024

# Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

der Klimareport 2024 fasst unser derzeitiges Wissen über das Klima, die klimatischen Veränderungen und deren Auswirkungen gestern und heute in der Region Brandenburg-Berlin zusammen. Gleichzeitig bietet er eine Prognose der möglichen Entwicklungen.

Acht der zehn wärmsten Jahre der seit 1881 flächendeckend verfügbaren Klimadaten wurden in Brandenburg im 21. Jahrhundert gemessen. 2019 war für unsere Region mit einem Jahresmittel von 11,06 Grad Celsius das bisher wärmste Jahr. Es lag damit mehr als zwei Grad über dem vieljährigen Jahresmittel der Referenzperiode 1961–1990. 2018 war mit nur 390 Millimeter Jahresniederschlag das trockenste und 2007 mit 786 Millimeter das niederschlagsreichste Jahr. Dies alles sind Anzeichen für die steigende Niederschlagsvariabilität.

Der 6. Sachstandsbericht des Weltklimarats (IPCC) lässt bis Ende dieses Jahrhunderts eine weitere deutliche Erwärmung erwarten. Der Klimawandel bedeutet für jede und jeden von uns eine große Herausforderung, zum Beispiel durch vermehrt auftretende Tage mit starker Wärmebelastung oder durch eine steigende Häufigkeit und Intensität von extremen Witterungsereignissen wie längere Dürreperioden oder lokal auftretende Starkniederschläge.

Der internationale Rahmen für den Umgang mit dem Klimawandel wurde auf der UN-Klimakonferenz COP21 2015 in Paris vereinbart. Eine Voraussetzung für die Umsetzung der dort definierten Ziele ist ein detailliertes Verständnis des aktuellen Stands der Klimaentwicklung. Um die globale Erderwärmung deutlich unter zwei Grad zu begrenzen, muss auch das Land Brandenburg seinen Beitrag leisten. Der unter Federführung unseres Ministeriums erarbeitete Klimaplan für Brandenburg listet für alle Politikbereiche Maßnahmen auf, deren Umsetzung dem Ziel dienen, den Ausstoß von Treibhausgasen bis zum Jahr 2045 auf Netto-Null zu vermindern.

Der hier nun ergänzend vorgelegte Klimareport Brandenburg 2024 ist eine weitere Etappe zur Umsetzung der im Jahr 2023 verabschiedeten Klimaanpassungsstrategie des Landes.

Wir sind alle Betroffene und Handelnde, wenn es darum geht, sich auf die sich abzeichnenden, zum Teil dramatischen Klimaveränderungen einzustellen. Dieser Report ist auch eine Mahnung, dass wir bei unseren Bemühungen zur Reduktion der Treibhausgase nicht nachlassen dürfen, das Erreichte ständig und konsequent überprüfen und unsere Anpassungsstrategien weiter fortschreiben.

Potsdam, November 2024

# Inhalt

Vorwort .....	1
Inhalt.....	2
Zusammenfassung .....	3
Einleitung .....	5
Der globale Klimawandel .....	6
Beobachtungen .....	7
Klimapolitik.....	8
Szenarien .....	13
Kipppunkte und planetare Grenzen.....	15
Daten zum Klimawandel in Brandenburg.....	19
Zum Umgang mit Klimadaten aus Beobachtungen und Simulationen.....	19
Temperatur.....	22
Niederschlag .....	27
Klimatische Wasserbilanz .....	31
Starkregen.....	33
Dürre .....	37
Beispiele für Auswirkungen in Brandenburg .....	39
Wasserhaushalt .....	39
Grundwasser .....	41
Abfluss .....	44
Vegetationsentwicklung.....	47
Phänologie.....	48
Spätfrost.....	49
Forstwirtschaft.....	51
Waldbrände .....	52
Sturmschäden.....	53
Gesundheit .....	55
Hitzebelastung .....	55
Pollenbelastung .....	57
Abkürzungsverzeichnis.....	58
Quellen.....	60

# Zusammenfassung

Der Klimawandel wird durch die Verbrennung fossiler Rohstoffe und Landnutzung verursacht. Dies zeigen weltweit und regional vorliegende Daten und Klimamodelle eindeutig. Seit der Industrialisierung ist die Konzentration von Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre auf ein Niveau gestiegen, das seit mindestens zwei Millionen Jahren nicht erreicht wurde. Dieser Anstieg führt zu einer Erwärmung der globalen Oberflächentemperatur mit beispielloser Geschwindigkeit.

Das Übereinkommen von Paris ist ein Meilenstein der Klimapolitik und zielt darauf ab, die Erderwärmung auf deutlich unter 2 Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu halten. Dabei wird angestrebt, den globalen Temperaturanstieg möglichst unter 1,5<sup>1</sup> Grad Celsius zu begrenzen. Derzeitige Entwicklungen lassen jedoch den Schluss zu, dass die Einhaltung des 1,5-Grad-Ziels sehr unwahrscheinlich ist. Die globale Durchschnittstemperatur hat seit Juli 2023 die 1,5-Grad-Marke überschritten. Als Zielverfehlung gilt nicht eine einmalige, sondern eine 20-jährige Überschreitung der Zielgröße. Um die 1,5-Grad-Marke in Reichweite zu halten, müssen die internationalen Klimaschutzmaßnahmen über das Pariser Abkommen hinaus deutlich verschärft werden.

Auf europäischer Ebene, in Deutschland und Brandenburg wird durch politische Vorgaben versucht, dem Voranschreiten des Klimawandels entgegenzuwirken. Gleichzeitig werden Anpassungsmaßnahmen an die unvermeidbaren Auswirkungen umgesetzt. Auf Basis von Emissionsszenarien und dazugehörigen Repräsentativen Konzentrationspfaden (Representative Concentration Pathways (RCP)) für Treibhausgase berechnen Klimamodelle mögliche Klimaentwicklungen bis zum Jahr 2100 und darüber hinaus. Diese Modelle zeigen, dass eine strikte Einhaltung der Klimaziele notwendig ist, um extreme Temperaturanstiege zu vermeiden. Die Einhaltung des Pariser Klimaschutzabkommens ist von entscheidender Bedeutung, um die Risiken abrupten, irreversiblen Veränderungen im globalen Klimasystem zu minimieren. Dazu gehören unter anderem das Abschmelzen des Grönlandeises und das Auftauen der Permafrostböden.

Dieser dritte Klimareport Brandenburg verdeutlicht anhand regionaler Daten, dass der Klimawandel bereits massive Auswirkungen auf Brandenburg hat. Vor allem in den letzten 30 Jahren konnte ein starker Temperaturanstieg beobachtet werden. Im Mittel war die jüngst vergangene Klimaperiode 1991-2020 um 1 Grad Celsius wärmer als noch die Klimareferenzperiode 1961-1990. Das letzte Jahrzehnt war bereits 1,8 Grad Celsius wärmer. Vor allem die Winter sind von überdurchschnittlich starker Erwärmung betroffen.

Brandenburg ist eine der trockensten Regionen Deutschlands mit einer durchschnittlichen Jahresniederschlagsmenge von unter 600 Millimetern. Obwohl kein langfristiger Trend im Niederschlagsgeschehen festzustellen ist, ist eine zunehmende Variabilität mit häufiger auftretenden Dürreperioden und Starkniederschlagsereignissen seit der Jahrtausendwende zu beobachten. Extremwetterjahre, wie das sehr trockene Jahr 2018 und das niederschlagsreiche Jahr 2017, treten häufiger auf.

Klimamodelle zeigen für die Zukunft keinen einheitlichen Trend in der Jahresniederschlagsmenge. Deutlich wird hingegen die Niederschlagsvariabilität. Klimasimulationen deuten auf eine mögliche zukünftige Zunahme des Winterniederschlags hin. Im Sommerhalbjahr könnte es zu einer Verschiebung von der späten in die frühe Vegetationsperiode kommen. Zu beobachten ist bislang allerdings ein Rückgang der Frühjahrsniederschläge. Für Brandenburg ist eine leichte Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlagsereignissen zu beobachten. Mit einer wärmeren Atmosphäre steigt auch deren Kapazität, um Wasserdampf zu halten, wodurch sich intensivere Niederschläge bilden können. Aus der Kombination von längeren Dürrephasen und gleichzeitig zunehmenden

---

<sup>1</sup> MLUK 2023

Starkniederschlagsereignissen steigt das Risiko von Überschwemmungen, Bodenerosion und Schäden an Vegetation sowie Infrastruktur. Mit der steigenden Temperatur und Globalstrahlung nahm die Verdunstung in Brandenburg in der Vergangenheit bereits stark zu. In Kombination mit niederschlagsarmen Phasen wie in den Jahren von 2018 bis 2022 führt dies zu einer extrem angespannten Wasserbilanz.

Veränderte Niederschlagsmuster, höhere Temperaturen und verstärkte Verdunstung haben Auswirkungen auf den Wasserhaushalt in Brandenburg. Kürzere Winter, heißere Sommer und lange Trockenzeiten führten vor allem in den letzten Jahren zu einer verringerten Grundwasserneubildung und absinkenden Fluss- und Seewasserständen. Gleichwohl sinken die Grundwasserstände und Abflüsse in Brandenburg bereits seit Jahrzehnten und nicht erst innerhalb der letzten Jahre mit negativer Wasserbilanz. Dies deutet auf eine Überlagerung der Folgen menschlicher Eingriffe in den Landschaftswasserhaushalt und klimatischer Einflussfaktoren hin.

Mensch und Umwelt reagieren vielfältig auf die steigenden Temperaturen und die sich verändernden Niederschlagsmuster. Die jahreszeitliche Entwicklung der Vegetation (Phänologie) hat sich in den vergangenen Dekaden stark verschoben. Milde Temperaturen im Frühling und Trockenheit im Sommer wirken sich direkt auf die Länge der phänologischen Jahreszeiten aus. Die Landwirtschaft profitiert zunächst von den länger werdenden Anbauzeiträumen, leidet aber gleichzeitig unter langen Dürrephasen und damit verbundenen Ernteaussfällen. Durch den vorzeitigen Austriebs- und Blühbeginn steigt das Risiko für Spätfrostschäden. Die wirtschaftlichen Schäden für den Obstbau in Folge des Spätfrosts im April 2024 werden vom Gartenbauverband auf 10 bis 14 Millionen Euro geschätzt.

Die langanhaltende Trockenheit der letzten Jahre hatte auch starke Auswirkungen auf die Wälder. Extreme Trockenjahre hinterlassen im Wald erhebliche Schäden. Diese Trockenheitsschäden in den Wäldern führen wiederum zu einer geringeren Resilienz gegen Schaderreger, erhöhen die Astbruch- sowie Waldbrandgefahr und sind mitverantwortlich für größere Schadholzmengen nach Stürmen.

Auf die Gesundheit der Menschen wirken sich die Klimaveränderungen ebenfalls aus. Extreme Wetterereignisse wie Hitzewellen nehmen zu. In Kombination mit Ozonbelastung oder Luftverschmutzung durch Waldbrände erhöht dies das Risiko für Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems und der Atemwege, vor allem für gefährdete Gruppen. Die zunehmende Hitzebelastung führt nachweislich zu mehr Hitzetoten im Sommer. Milde Winter und der immer früher beginnende Vorfrühling verursachen längere Pollenflugzeiten und erhöhen damit die Gesundheitsbelastung für Allergiker.

# Einleitung

Der vorliegende Klimareport ist bereits der dritte Report für das Land Brandenburg. In den Jahren 2016 und 2019 wurde bereits das Klima von gestern, heute und in Zukunft dargestellt<sup>2</sup>. Der aktuelle Report stellt ebenfalls die Entwicklungen bis zur Gegenwart und die Erwartungen für die Zukunft vor.

Nachdem der Bund ein Klimaanpassungsgesetz und das Land Brandenburg eine Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels verabschiedet haben, war es notwendig, die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse und Fakten in einem Status-quo-Bericht zu bündeln.

Dieser Report stellt die Ausgangssituation für die Umsetzung der in der Klimaanpassungsstrategie beschlossenen Maßnahmen dar. Dazu ist es notwendig, die aktuellsten Beobachtungsdaten auf globaler und regionaler Ebene zu bewerten, die politischen Rahmenbedingungen zu dokumentieren sowie mögliche ausgewählte Auswirkungen auf das Land Brandenburg aufzuzeigen.



Landschaft und Wolken © Carsten Meyer/fotolia.de

---

<sup>2</sup> LfU 2016a und DWD 2019

# Der globale Klimawandel

Der Mensch verändert das Klima auf unserem Planeten durch die Emission von Treibhausgasen aus der Verbrennung fossiler Rohstoffe und die Landnutzung. Im Vergleich zur vorindustriellen Zeit um das Jahr 1750 stieg die Konzentration von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) in der Atmosphäre global von 280 parts per million (ppm) auf etwa 427 ppm im Mai 2024 an (Abbildung 1). Somit ist die CO<sub>2</sub>-Konzentration so hoch wie seit mindestens zwei Millionen Jahren nicht mehr.

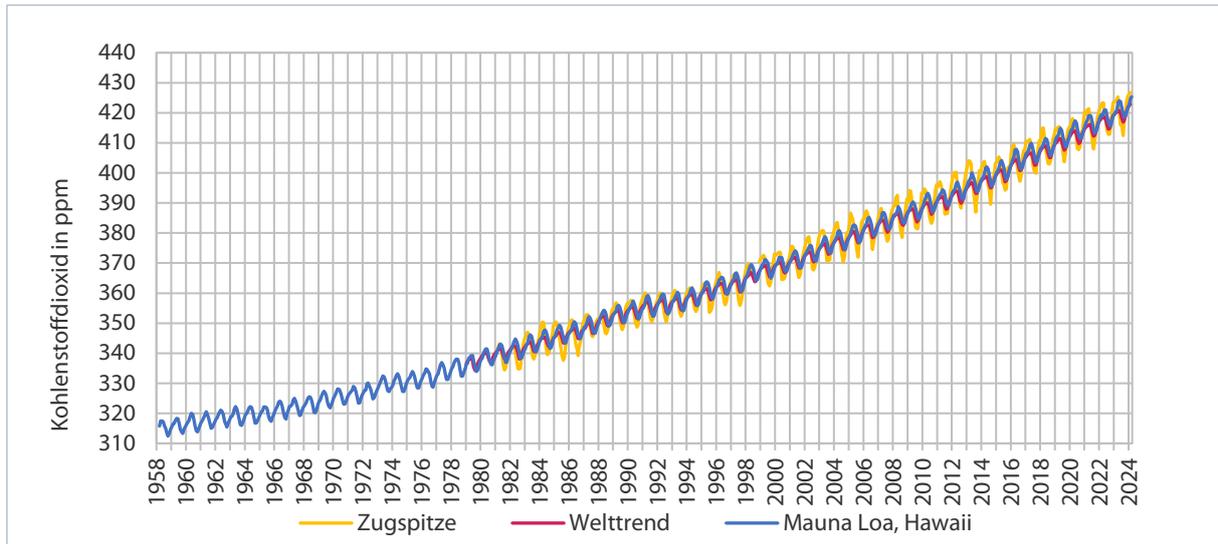


Abbildung 1 Kohlenstoffdioxid-Konzentration in der Atmosphäre (Monatsmittelwerte) in parts per million (ppm) für die Stationen Zugspitze Deutschland (Umweltbundesamt), Welttrend (World Meteorological Organization) und Mauna Loa, Hawaii. Der jahreszeitliche Zyklus wird durch das Vegetationswachstum in der nördlichen Hemisphäre bestimmt (NOAA 2024).

Dieser Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration ist eindeutig vom Menschen verursacht und führt zu einer Erwärmung der globalen Oberflächentemperatur, die in Ausmaß und Geschwindigkeit seit Jahrtausenden beispiellos ist. Der Strahlungsantrieb ist ein Maß für den Einfluss von Klimafaktoren auf das Gleichgewicht zwischen einfallender Sonnenstrahlung und ausgehender Infrarotstrahlung der Erde. CO<sub>2</sub> trägt mit etwa 65 Prozent den größten Anteil zum gesamten vom Menschen verursachten Strahlungsantrieb bei. Zudem hat es extrem lange Verweilzeiten in der Atmosphäre. Dies zeigt die zentrale Rolle von CO<sub>2</sub> in der Klimaproblematik und unterstreicht die Dringlichkeit, die Emissionen dieses Gases zu reduzieren. Nur so kann die Erderwärmung begrenzt werden. Andere Treibhausgase wie Methan und Lachgas tragen ebenfalls zum Strahlungsantrieb bei, jedoch in geringerem Maße. Methan macht etwa 17 Prozent und Lachgas etwa 6 Prozent des menschengemachten Strahlungsantriebs aus. Methan stammt aus Quellen wie landwirtschaftliche Viehhaltung, Reisanbau oder der Erdgasförderung. Es hat eine wesentlich stärkere Treibhauswirkung pro Molekül als CO<sub>2</sub>. Es ist aber in geringeren Mengen vorhanden und wird viel schneller wieder abgebaut. Lachgas wird hauptsächlich aus landwirtschaftlichen Böden sowie aus industriellen Aktivitäten freigesetzt und ist ebenfalls ein starkes Treibhausgas. Fluorierte Gase sind nur in sehr geringen Konzentrationen vorhanden, aber hochwirksam und tragen etwa mit 12 Prozent zum menschengemachten Strahlungsantrieb bei<sup>3</sup>. Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW) wurden in Kältemitteln und industriellen Anwendungen verwendet. Neben ihrer starken Treibhauswirkung schädigen sie auch die Ozonschicht, weshalb ihre Nutzung inzwischen stark eingeschränkt ist.

<sup>3</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2013

## Beobachtungen

Die letzten vier Jahrzehnte waren allesamt wärmer als alle Jahrzehnte seit dem Jahr 1850. Die globale Oberflächentemperatur war im Durchschnitt des letzten Jahrzehnts (2014-2023) schon zirka 1,3 Grad Celsius wärmer als im Zeitraum von 1850 bis 1900. Das Jahr 2023 war global mit fast 1,5 Grad Celsius über dem frühindustriellen Zeitraum das wärmste jemals gemessene Jahr<sup>4</sup>. In den zwölf Monaten von Juli 2023 bis Juni 2024 lag die globale Durchschnittstemperatur um 1,64 Grad Celsius über dem vorindustriellen Niveau<sup>5</sup>. Hitzeextreme und Hitzewellen haben weltweit zugenommen, wobei vor allem die gehäuft auftretenden Hitzeextreme der letzten zehn Jahre mit ziemlicher Sicherheit auf den Einfluss des Menschen zurückzuführen sind<sup>6</sup>.

Des Weiteren ist es sehr wahrscheinlich, dass sich aufgrund dieser Erwärmung der globale Wasserkreislauf intensiviert. So haben die global gemittelten Niederschläge seit dem Jahr 1950 zugenommen, wobei sich die Zunahme seit dem Jahr 1980 beschleunigte. Sturmzugbahnen und globale Wettersysteme verschieben sich durch den Einfluss des Menschen, was zu einer Zunahme von extremen Wetterereignissen, Dürren und Starkregenereignissen führt. In vielen Regionen der Erde haben seit den 1950er Jahren Starkniederschlagsereignisse in Häufigkeit und Intensität zugenommen. Der Anteil der schweren tropischen Wirbelstürme hat zugenommen, zugleich hat sich ihr Auftreten weiter nach Norden verschoben. Im Gegensatz dazu führt ausbleibender Niederschlag in Verbindung mit erhöhter Verdunstung infolge erhöhter Temperaturen und Hitzeperioden in einigen Regionen immer häufiger zu landwirtschaftlichen und ökologischen Dürren<sup>7</sup>. Das Jahr 2023 war weltweit ein Jahr mit außergewöhnlich heftigen Dürren und Flutkatastrophen, die viele Menschenleben forderten. Die meisten dieser Ereignisse waren in ihrem Ausmaß mit großer Wahrscheinlichkeit nur durch die Erderwärmung möglich<sup>8</sup>.

Das arktische Meereis hat im September 2020 das zweitniedrigste Ausmaß seit Beginn der Satellitenaufzeichnungen erreicht. Die Fläche des arktischen Meereises nahm seit dem Jahr 1979 kontinuierlich ab. Der Rückgang wird sowohl auf zunehmende Temperaturen als auch auf verlängerte Schmelzperioden zurückgeführt, die im Durchschnitt um etwa drei Tage pro Jahrzehnt früher einsetzen und um sieben Tage pro Jahrzehnt später enden. Der Rückgang des Meereises wiederum hat durch das verminderte Rückstrahlvermögen von Wasser im Gegensatz zu Eis einen direkten Rückkopplungseffekt auf die Temperatur. Auch die Gletscher werden seit den 1950er Jahren weltweit kleiner und das in einer Geschwindigkeit wie seit mindestens 2.000 Jahren nicht mehr<sup>9</sup>.

Der Meeresspiegel ist durch das Abschmelzen von massiven Eismassen auf Landflächen und durch die thermische Ausdehnung aufgrund steigender Wassertemperaturen im letzten Jahrhundert so schnell gestiegen wie seit mindestens 3.000 Jahren nicht mehr. Insgesamt stieg der Meeresspiegel seit Beginn des letzten Jahrhunderts um zirka 20 Zentimeter, wobei sich die Geschwindigkeit des Anstiegs in den letzten Jahrzehnten von durchschnittlichen 1,3 Millimetern pro Jahr (1907-1971) auf 4,5 Millimeter pro Jahr (2011-2020) verdreifacht hat<sup>10</sup>.

Diese Klimaveränderungen haben gravierende Auswirkungen auf die Ökosysteme der Erde. So ist zu beobachten, dass sich Vegetationszonen polwärts beziehungsweise auf größere Höhen über dem

---

<sup>4</sup> World Meteorological Organization (WMO) 2023

<sup>5</sup> WMO 2024

<sup>6</sup> IPCC 2021

<sup>7</sup> IPCC 2021

<sup>8</sup> World Weather Attribution (WWA) 2023

<sup>9</sup> IPCC 2021

<sup>10</sup> IPCC 2021, WMO 2023

Meeresspiegel verschieben. Außerdem hat sich seit dem Jahr 1950 die außertropische Vegetationsperiode auf der Nordhalbkugel im Schnitt um zwei Tage pro Jahrzehnt verlängert<sup>11</sup>. Viele Ökosysteme geraten an ihre Grenzen und werden möglicherweise eine massive Transformation durchlaufen.

## Klimapolitik

Die Landespolitik Brandenburgs nimmt sich der klimapolitischen Herausforderungen an. Mit der Verabschiedung des Klimaplan Brandenburg<sup>12</sup> und der Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels<sup>13</sup> hat das Land auf die sich zuspitzende Problematik reagiert. Einerseits ist es das Ziel, die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2045 auf Netto-Null (Klimaneutralität) zu senken. Andererseits muss sich das Land auf den sich bereits ausgelöst und unvermeidbaren Klimawandel einstellen. Je mehr Zeit beim Klimaschutz verstreicht, desto höher wird der Druck, politisch wie volkswirtschaftlich, sich an die Folgen des Klimawandels anzupassen.

Die Rahmenbedingungen liefert die **globale Klimapolitik**. Eine zentrale Stellung nimmt das Pariser Übereinkommen der Vereinten Nationen aus dem Jahr 2015 ein, das auf der 21. Weltklimakonferenz von 195 Staaten unterzeichnet wurde. Die globale Erwärmung soll auf deutlich unter 2 Grad Celsius, möglichst auf unter 1,5 Grad Celsius, über dem vorindustriellen Niveau begrenzt werden (2-Grad-Obergrenze). Um dieses Ziel zu erreichen, sollen bis zum Jahr 2050 im Netto global keine Treibhaus-



Prädikow © Rebekka Eichstädt

---

<sup>11</sup> IPCC 2021

<sup>12</sup> MLUK 2024a

<sup>13</sup> MLUK 2023

gasemissionen mehr vom Menschen verursacht werden. Dies bedeutet, dass unvermeidbare Emissionen durch die Bindung von CO<sub>2</sub> (negative Emissionen) vollständig ausgeglichen werden müssen. Dazu verpflichten sich die teilnehmenden Länder zur Festlegung nationaler Klimaschutzpläne (Nationally Determined Contributions (NDC)). Diese werden alle fünf Jahre aktualisiert, um sukzessive das Ziel zu erreichen. Auf der 28. Weltklimakonferenz der Vereinten Nationen im Jahr 2023 wurde festgestellt, dass die bisherigen Maßnahmen und Umsetzungen der Nationalstaaten nicht ausreichen, um das vereinbarte Ziel zu erreichen. Hinzu kommt, dass sich die Staatengemeinschaft auf der 29. Weltklimakonferenz der Vereinten Nationen im Jahr 2024 in Baku in ihrem Abschlussdokument nicht auf neue Schritte zu einer weiteren CO<sub>2</sub>-Reduktion einigen konnte.

Die Grundlage für die Klimaziele sind die Berichte des Weltklimarats (IPCC), einer Institution der Vereinten Nationen. Die Berichte des IPCC basieren auf dem Konsens der führenden Klimaforscher aus der ganzen Welt. Diese dienen als maßgebliche Quelle für Politikgestaltung, um den Klimawandel zu verstehen und zielgerichtet Maßnahmen zur Eindämmung sowie zur Bewältigung der Folgen umzusetzen. Im neuesten IPCC-Bericht wird der Wert der kritischen Temperaturgrenze weiter nach unten korrigiert. Die Einhaltung des 1,5-Grad-Ziels ist demnach von entscheidender Bedeutung, um das Risiko abrupter Systemveränderungen im großen Maßstab zu vermeiden. Bei Überschreitung der 1,5-Grad-Marke besteht bereits ein hohes Risiko, ab der 2 Grad-Marke ein sehr hohes Risiko für abrupte Systemveränderungen. Die neuesten wissenschaftlichen Berichte deuten darauf hin, dass die Wahrscheinlichkeit, das 1,5-Grad-Ziel einzuhalten, stark sinkt. Die globale Durchschnittstemperatur hat seit Juli 2023 die 1,5-Grad-Marke laut dem europäischen Copernicus Climate Change Service dauerhaft überschritten. Als Zielverfehlung gilt nicht eine einmalige, sondern eine 20-jährige Überschreitung der Zielgröße. Um die 1,5-Grad-Marke in Reichweite zu halten, müssen die internationalen Klimaschutzmaßnahmen, über das Pariser Abkommen hinaus, deutlich verschärft werden.

Die **Europäische Union** vertritt Deutschland in den internationalen Klimaverhandlungen. Sie strebt an, bis zum Jahr 2050 klimaneutral zu sein. Das bedeutet, dass die Nettoemissionen von Treibhausgasen auf null reduziert werden müssen. Der Fahrplan für ein klimaneutrales Europa ist der European Green Deal, ein umfassendes Programm zur Förderung nachhaltiger Entwicklung und Klimaschutz. Zudem wurde die Treibhausgasneutralität 2021 im Europäischen Klimagesetz<sup>14</sup> beschlossen. Das Europäische Klimagesetz legt des Weiteren Zwischenziele fest, um sicherzustellen, dass die Europäische Union auf dem richtigen Weg zur Klimaneutralität ist. So sollen die Netto-Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2030 um 55 Prozent gesenkt werden. Zudem fordert diese europäische Verordnung die Umsetzung von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel, um die Auswirkungen bereits bestehender und unvermeidbarer Klimaveränderungen zu bewältigen und somit die Resilienz der Gesellschaften zu stärken.

Ein wesentlicher Baustein zum Klimaschutz ist der europäische Emissionshandel. Er ist das zentrale Instrument zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen im Bereich der Energiewirtschaft und der Industrie. Auf europäischer Ebene funktioniert der Emissionshandel durch das EU-Emissionshandelssystem (EU Emissions Trading System (EU ETS)), das größte Emissionshandelssystem der Welt. Das EU ETS legt eine Obergrenze für den Ausstoß von Treibhausgasen fest, die von Unternehmen freigesetzt werden dürfen. Diese Obergrenze wird nach und nach gesenkt, sodass die Gesamtemissionen bis zum Jahr 2050 auf null reduziert werden. Es besteht für Unternehmen die Möglichkeit, Emissionsrechte zu handeln, wenn die festgelegte Grenze an Emissionen für das eigene Unternehmen überschritten oder unterschritten ist. Dadurch erhalten die Unternehmen Flexibilität und es werden Anreize geschaffen, die Emissionen zu reduzieren. So können beispielsweise Unternehmen mit nicht

---

<sup>14</sup> Verordnung (EU) 2021/1119

ausgeschöpften Emissionsrechten diese an Unternehmen mit zu hohen Emissionen verkaufen, damit diese ihre überschüssigen Emissionen kompensieren können. Im Einklang mit dem Europäischen Klimagesetz wird das EU ETS weiterentwickelt, um die Klimaziele der EU zu erreichen.

Auch **Deutschland** will seinen Beitrag leisten und strebt an, bis zum Jahr 2045 klimaneutral zu sein. Hierfür sieht das Bundes-Klimaschutzgesetz eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2030 um mindestens 65 Prozent im Vergleich zum Jahr 1990 vor. Deutschland setzt auf Maßnahmen wie den verstärkten Ausbau erneuerbarer Energien, die Förderung von Elektromobilität und die Steigerung der Energieeffizienz. Im Jahr 2019 wurde das nationale Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) eingeführt. Dieses regelt den nationalen Emissionshandel in Deutschland für fossile Brennstoffe in den Sektoren Verkehr sowie Wärme, welche vom EU ETS ausgenommen sind.

Das **Land Brandenburg** hat eine besondere Verantwortung für den Klimaschutz. Diese ergibt sich aus der historischen Rolle als Braunkohleland. Über ein Jahrhundert wurden im Lausitzer Revier viele Millionen Tonnen Braunkohle zur Strom- und Wärmeversorgung für Industrie und Bevölkerung gefördert und verbrannt. Diese Tatsache sorgte für Wirtschaftswachstum und Wohlstand, verursacht jedoch bis heute eine große Menge klimaschädlicher Emissionen. In Brandenburg wurden nach Abschätzung des Landesamts für Umwelt (LfU) im Jahr 2023 rund 50 Millionen Tonnen Treibhausgase emittiert<sup>15</sup>. Im Vergleich zum Jahr 1990 sanken die Emissionen gleichwohl um insgesamt 56 Prozent.

Brandenburg ist Vorreiter beim Ausbau der Erneuerbaren Energien. Im Jahr 2018 konnte das Land zum ersten Mal bilanziell fast 100 Prozent seines Endenergieverbrauchs an Strom aus erneuerbaren Energiequellen wie Windkraft und Photovoltaik decken.

Im Land Brandenburg hat das Kabinett am 5. März 2024 den **Klimaplan Brandenburg** als erste klimapolitische Gesamtstrategie des Landes mit dem Ziel der Klimaneutralität bis spätestens 2045 beschlossen. Zur Erreichung dieses Ziels setzt der Klimaplan einen Orientierungsrahmen für die Treibhausgasminderung und Stärkung der natürlichen Senken sowohl mit Zwischenzielen für die Jahre 2030 und 2040 als auch mit sektorspezifischen Zielen für die Jahre 2030, 2040 und 2045. Ein Maßnahmenprogramm mit 103 Maßnahmen in allen relevanten Handlungsfeldern untersetzt diese Treibhausgasminderungsziele. Der Klimaplan legt fest, wie die Treibhausgasemissionen gesenkt werden und wie natürliche CO<sub>2</sub>-Senken, beispielsweise die Wälder im Land Brandenburg, gestärkt werden können.

---

<sup>15</sup> LfU 2024a

Tabelle 1 Übersicht über die bedeutendsten Strategien im Land Brandenburg (teilweise noch in Ausarbeitung (i.A.))



Energiestrategie 2040
Mobilitätsstrategie 2030
Landesnachhaltigkeitsstrategie
Klimaanpassungsstrategie
Wasserstoffstrategie
Weiterentwicklung der Biomassestrategie zu einer Bioökonomiestrategie (i.A.)
Industriestrategie
Entsiegelungsstrategie (ressortübergreifendes Gutachten liegt vor)
Erarbeitung einer Nutztierstrategie (i.A.)
Erarbeitung einer Eiweißpflanzenstrategie als Bestandteil der Ackerbaustrategie (i.A.)

Die Handlungsfelder des Klimaplanes werden durch die klimarelevanten Fachstrategien und Konzepte des Landes unteretzt, insbesondere durch die Energiestrategie 2040 sowie die Mobilitätsstrategie 2030 (Tabelle 1). Ziel der Energiestrategie 2040<sup>16</sup> ist die installierte Leistung der Windkraft auf 11,5 Gigawatt und der Photovoltaik auf 18 Gigawatt bis zum Jahr 2030 zu erhöhen. Bis zum Jahr 2040 sollen die Leistungen von Windkraft und Photovoltaik auf 15 Gigawatt, beziehungsweise 33 Gigawatt steigen. Die Mobilitätsstrategie formuliert das Ziel, den Anteil des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV), Fuß- und Radverkehrs am Gesamtverkehrsaufkommen in Brandenburg auf 60 Prozent bis zum Jahr 2030 zu erhöhen. Hierfür soll der ÖPNV attraktiver gemacht und das Angebot erweitert werden. Ergänzend soll die Radverkehrsstrategie die Verbesserung des Radverkehrs im Land Brandenburg durch die Implementierung des „Radnetzes Brandenburg“ ermöglichen<sup>17</sup>. Der Anteil des motorisierten Individualverkehrs soll sinken. Güterverkehr soll verstärkt auf die Schienen oder Wasserstraßen verlagert werden.

Die Strategie für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft im Land Brandenburg<sup>18</sup> führt 63 konkrete Einzelmaßnahmen zur Stärkung der Wasserstoffwirtschaft in der Region auf. Die Landesnachhaltigkeitsstrategie (LNHS) unteretzt insbesondere das enthaltene Ziel 13 der UN-Ziele für eine nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals (SDG)) „Maßnahmen zum Klimaschutz“. Gleichzeitig ist die Weiterentwicklung der Biomassestrategie zu einer Bioökonomiestrategie in Erarbeitung. Nachwachsende Rohstoffe, Koppelprodukte, Reststoffe und Bioabfälle aus möglichst regionaler Herkunft sollen fossile Rohstoffe ersetzen und in lokalen Wertschöpfungsketten weiterverarbeitet werden. So wird diese Bioökonomiestrategie eine Dekarbonisierung, eine Ressourcenschonung,

<sup>16</sup> Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie (MWAE) 2022

<sup>17</sup> Ministerium für Infrastruktur und Landesplanung (MIL) 2023

<sup>18</sup> MWAE 2021

eine Reduzierung der Umweltbelastung und neue zukunftsfähige Arbeitsplätze forcieren<sup>19</sup>. Die Industriestrategie definiert die Rahmenbedingungen für die Weiterentwicklung eines innovativen, wettbewerbsfähigen sowie perspektivisch klimaneutralen Industriestandorts und soll die brandenburgische Industrie im Transformationsprozess unterstützen<sup>20</sup>.

Neben dem kürzlich verabschiedeten Klimaplan hat die Landesregierung unter Führung des Klimaschutzministeriums eine Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels erarbeitet. Damit will Brandenburg systematisch zur Verringerung von Schäden und Risiken beitragen, die durch zunehmende Wetterextreme wie Hitze, Dürre und Starkregenereignisse entstehen. **Die Klimaanpassungsstrategie und der Klimaplan bilden die beiden zentralen Säulen der brandenburgischen Klimapolitik<sup>21</sup>.**



Wolke mit Strahlen © Markus Vogelbacher / pixelio.de

---

<sup>19</sup> MLUK 2024b

<sup>20</sup> MWAE 2024

<sup>21</sup> MLUK 2024a

## Szenarien

Die globale Umsetzung der Klimapolitik entscheidet darüber, wie stark sich der Planet bis zum Ende des Jahrhunderts erwärmt. Für den 5. IPCC Sachstandsbericht wurden Repräsentative Konzentrationspfade für Treibhausgase (Representative Concentration Pathways (RCP)) entwickelt, die mögliche künftige Entwicklungen der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen beschreiben<sup>22</sup>. Sie bilden die Grundlage für Klimamodellierungen bis zum Jahr 2100 und darüber hinaus. Die Szenarien RCP 2.6, RCP 4.5 und RCP 8.5 stehen jeweils für einen zusätzlichen Strahlungsantrieb von 2,6 (beziehungsweise 4,5 oder 8,5) Watt pro Quadratmeter ( $W/m^2$ ) bis 2100.

Der zum Szenario RCP 2.6 gehörige Emissionspfad begrenzt den Anstieg der globalen Mitteltemperatur mit einer Wahrscheinlichkeit von größer als 66 Prozent auf 2 Grad Celsius<sup>23</sup>. Dieser Pfad ist der kosteneffektivste Weg zur 2-Grad-Obergrenze. Er würde lediglich zu einer Verringerung der globalen Wachstumsrate um 0,06 Prozent führen. Eine Abkehr von diesem Pfad führte dagegen zu zusätzlichen Kosten, damit verbundenen globalen Wohlstandsverlusten und wäre wirtschaftlich nicht sinnvoll. Die Szenarien RCP 4.5 und RCP 8.5 stehen im Widerspruch zum Vorsorgeprinzip und dem Pariser Klimaschutzübereinkommen. Sie sind repräsentativ für globalpolitisch gewählte Klimasysteme mit „unzureichendem Klimaschutz“ (RCP 4.5) und „ohne Klimaschutz“ (RCP 8.5). Zu erwähnen ist an dieser Stelle, dass die RCP-Szenarien keine Vorhersagen sind. Sie wurden von „Integrated Assessment Modellen“ erzeugt, die interdisziplinär die Wirkung von klimapolitischen Maßnahmen aus dem Blickwinkel verschiedenen Fachgebieten zusammenführen, untersuchen und die Ergebnisse im Hinblick auf Handlungsalternativen bewerten und darstellen.

Der bisherige globale Treibhausgasausstoß folgte zunächst dem Szenario RCP 8.5 und liegt seit einigen Jahren etwas darunter (Abbildung 2). Für das Jahr 2050 wird eine Emissionsentwicklung menschengemachter Treibhausgase als wahrscheinlich erachtet, die zwischen den Szenarien RCP 4.5 und RCP 8.5 liegt<sup>24</sup>.

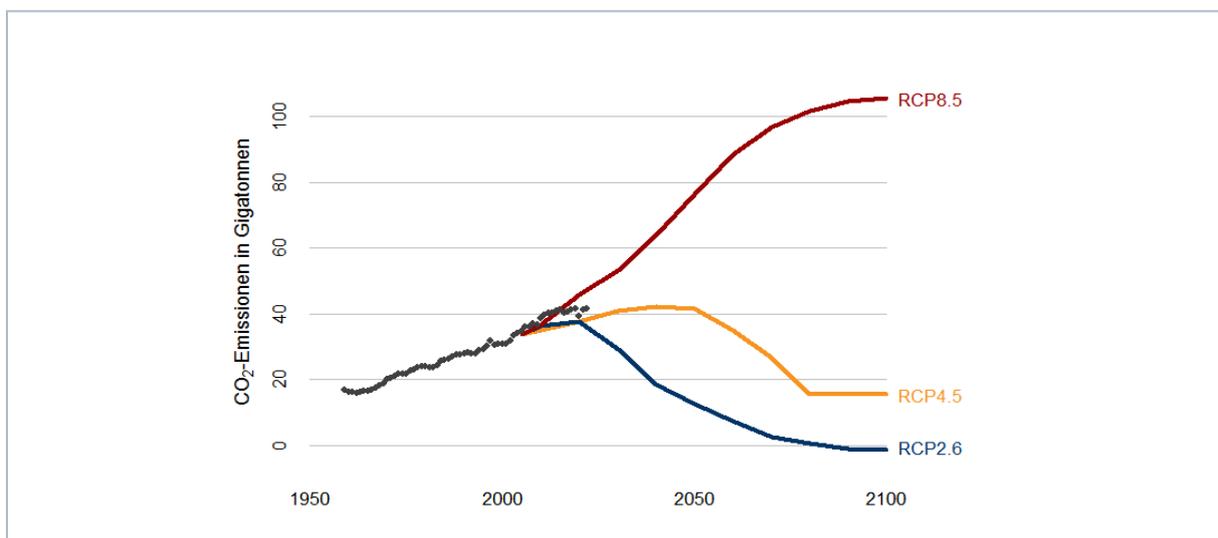


Abbildung 2 Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Vergangenheit und unter den Emissionsszenarien RCP 2.6 „2-Grad-Obergrenze“, RCP 4.5 „unzureichender Klimaschutz“ und RCP 8.5 „ohne Klimaschutz“. Daten: Global Carbon Project (2023) und International Institute for Applied System Analysis (IIASA) (2024)

<sup>22</sup> van Vuuren et al. 2011

<sup>23</sup> IPCC 2014

<sup>24</sup> Schwalm et al. 2020

Die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre könnte jedoch durch mögliche Rückkopplungseffekte des Temperaturanstiegs auf den Kohlenstoffkreislauf zusätzlich erhöht werden. Beispiele dafür sind das Auftauen der Permafrostböden, Veränderungen in der Kohlenstoffdynamik von Ökosystemen und die Zunahme von Waldbränden. Bis zum Jahr 2050 und darüber hinaus kann somit das RCP-8.5-Szenario als Grundlage für die Klimaanpassung verwendet werden. Selbst für das Jahr 2100 wird das Risiko, dass die atmosphärische Kohlenstoffdioxidkonzentration die des RCP-8.5-Szenarios übersteigt, auf 35 Prozent geschätzt<sup>25</sup>.

Unter Fortsetzung der aktuellen Politik würde die Globaltemperatur bis zum Jahr 2100 mit 50-prozentiger Wahrscheinlichkeit nicht mehr als 2,7 Grad Celsius über dem vorindustriellen Niveau liegen (Abbildung 3). Die Reaktion des Klimasystems kann nicht absolut präzise vorhergesehen werden und der Temperaturanstieg könnte ebenso 3,6 Grad Celsius betragen. Zudem würde die Temperatur nach dem Jahr 2100 noch weiter ansteigen. Dies wäre eine Entwicklung zwischen RCP 4.5 und RCP 8.5. Werden alle eingereichten nationalen Klimaschutzpläne (Nationally Determined Contributions (NDCs)) eingehalten, so beträgt der Temperaturanstieg bis zum Jahr 2100 mit 50 Prozent Wahrscheinlichkeit nicht mehr als 2,1 Grad Celsius, könnte aber auch 2,6 Grad Celsius betragen. Damit wäre eine Temperaturentwicklung im Bereich von RCP 4.5 möglich. Nur im optimistischen Szenario, bei dem auch alle angekündigten Ziele umgesetzt werden, besteht eine sehr geringe Chance, das 1,5-Grad-Ziel einzuhalten und eine Wahrscheinlichkeit von über 50 Prozent, die 2-Grad-Obergrenze des Pariser Klimaschutzabkommens einzuhalten. Dies entspricht dem Szenario RCP 2.6. Im Klimareport Brandenburg 2024 werden die Ergebnisse der RCPs 8.5 und 2.6 dargestellt, um die Bandbreite der möglichen Entwicklungen abzudecken.

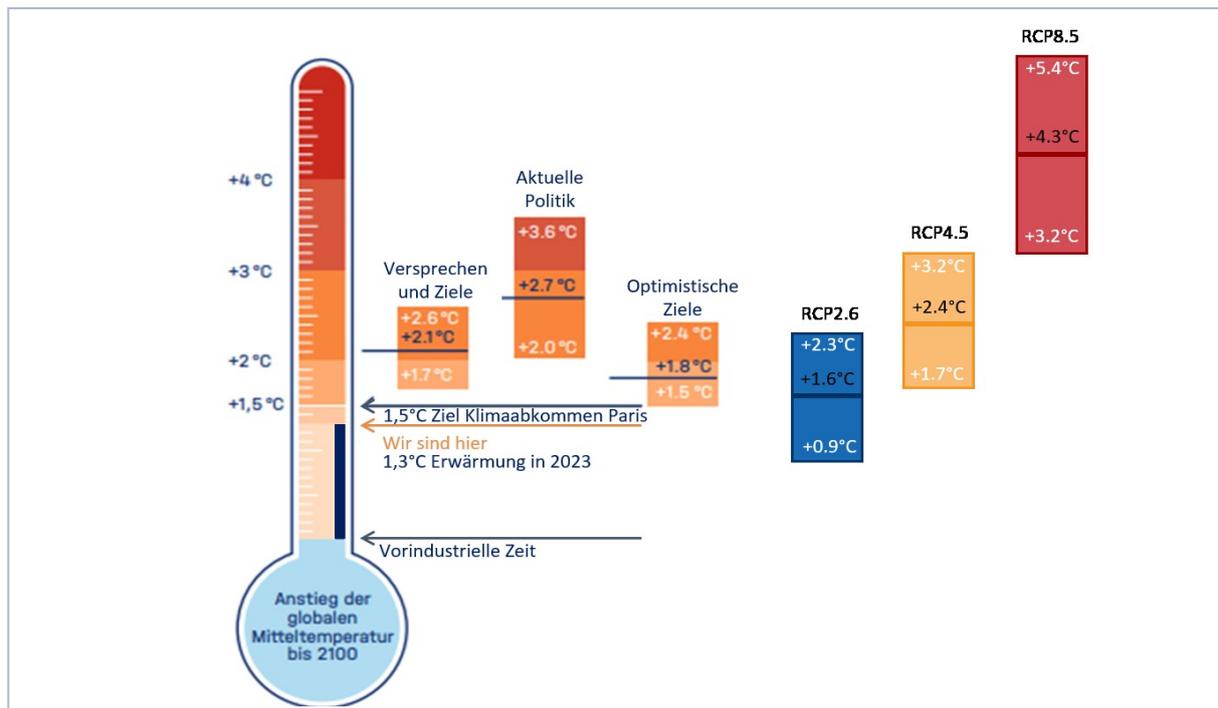


Abbildung 3 Anstieg der globalen Mitteltemperatur gegenüber vorindustriellem Niveau bei Umsetzung verschiedener Klimapolitiken bis 2100 im Vergleich mit den RCP-Szenarien. Die Daten der RCPs beziehen sich auf den Zeitraum 2081-2100. Verändert nach Climate Action Tracker (2024), RCP Daten aus IPCC (2013)

<sup>25</sup> Christensen et al. 2018

## Kippunkte und planetare Grenzen

Kippunkte sind kritische Schwellen, deren Überschreitung weitreichende und irreversible Folgen für das Erdsystem haben. Mit voranschreitendem Klimawandel steigt das Risiko, dass Kippunkte des globalen Klimasystems überschritten werden. Diese können sich gegenseitig verstärken und eine weiter beschleunigte Klimaerwärmung hervorrufen, welche die Anpassungsfähigkeit von Ökosystemen und Gesellschaften überfordert.

Das Erdsystem und alle Komponenten sind durch Wärme- und Stoffaustausch, zum Beispiel Kohlenstoff, eng miteinander verbunden und stehen in konstanten Wechselwirkungen. Deswegen kann das Umkippen eines Elements in einer Kippkaskade das Kippen weiterer Elemente auslösen. Bei welchen Niveaus der globalen Erwärmung Hochrisiko-Kippelemente erreicht werden, wurde in zahlreichen Studien abgeschätzt (Abbildung 4). Die bereits eingetretene globale Erwärmung von derzeit etwa 1,3 Grad Celsius gegenüber der vorindustriellen Zeit liegt schon im Möglichkeitsbereich einiger Kippelemente. Weitere Kippunkte werden beim Erreichen von 1,5 bis 2 Grad Erwärmung „möglichweise“ oder sogar „wahrscheinlich“ ausgelöst<sup>26</sup>.

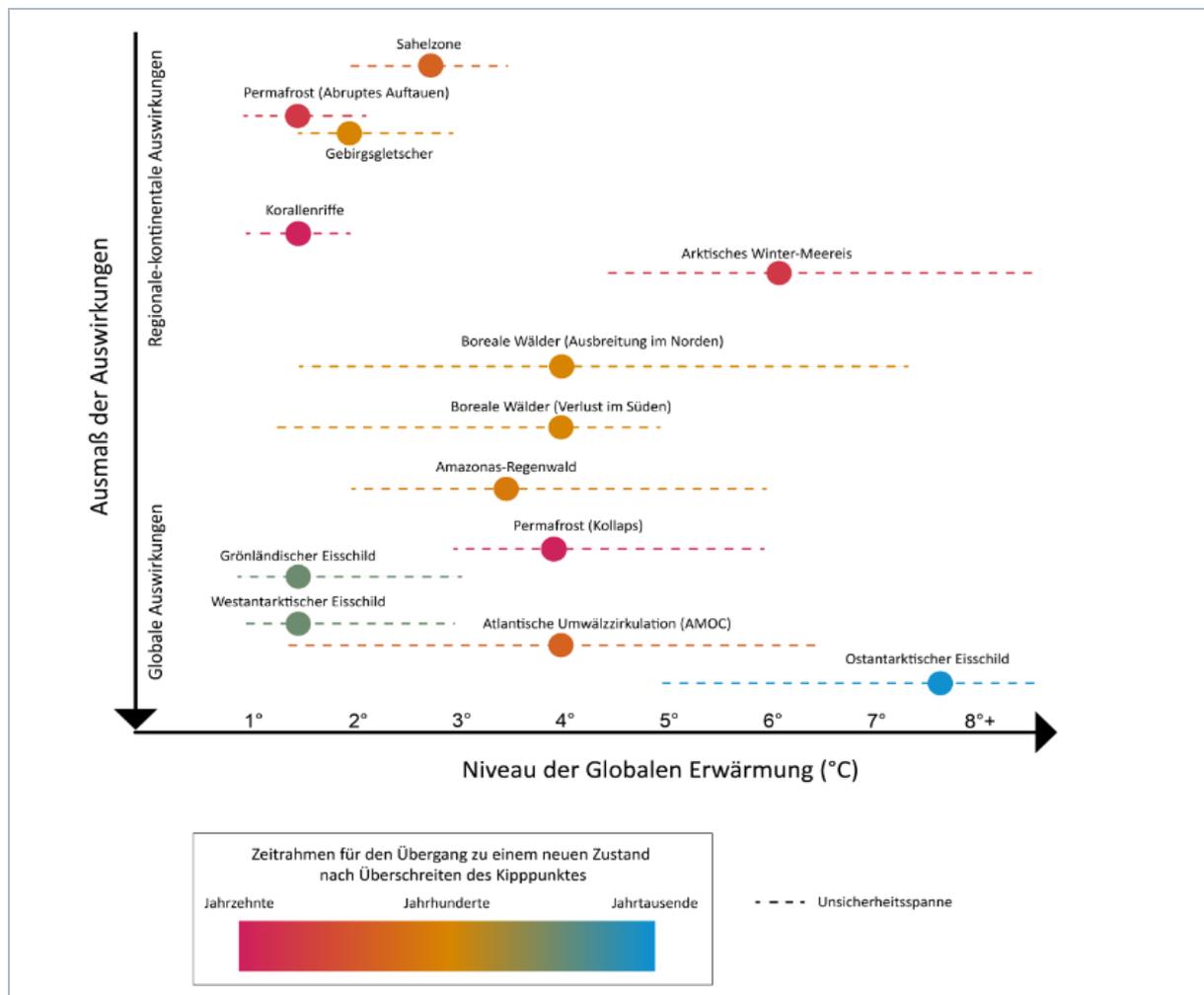


Abbildung 4 Identifizierung von Hochrisiko-Kippelementen durch Abwägung der Auswirkungen regional-kontinental und global, Kippunkt mit Unsicherheitsspanne und dynamischen Zeitrahmen (Kornhuber et al. (2024) und Climate Analytics)

<sup>26</sup> Kornhuber et al. 2024



Gletscherabbruch © volki/stock.adobe.com

Der Kollaps des **Grönländischen und Westantarktischen Eisschildes** sind Beispiele für frühe, sich bereits ankündigende Kippunkte. Die Masse des Grönländischen Eisschildes hat in den vergangenen 30 Jahren bereits stark abgenommen und hat den globalen Meeresspiegel um rund 1,35 Zentimeter ansteigen lassen. Das Erreichen des Kipppunkts würde zu einem nahezu vollständigen Verlust des Eisschildes über mehrere Jahrtausende führen und wäre unumkehrbar<sup>27</sup>. Das Abschmelzen dieses und des Westantarktischen Eisschildes hätte einen drastischen Meeresspiegelanstieg von über 10 Metern über einen Zeitraum von mindestens einem Jahrtausend zur Folge.

Das Abschmelzen des Grönländischen Eisschildes hat direkt Auswirkungen auf die **Atlantische Umwälzzirkulation** (Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC)). Durch den zusätzlichen Süßwassereintrag stört es die Tiefenwasserbildung und schwächt die atlantische Zirkulation. Die AMOC ist ein globales Förderband von warmem, salzigem Oberflächenwasser vom Süd- in den Nordatlantik, wo es sich abkühlt und nahe Grönland als Tiefenwasser absinkt und in Richtung Äquator zurückfließt. Der Wärmetransport der AMOC spielt eine wichtige Rolle für das relativ milde Klima in West- und Nordeuropa. Eine Abschwächung oder sogar eine Unterbrechung des Wärmetransports würde zu einer deutlichen Abkühlung des Nordatlantiks führen. Seit den 2000er Jahren ist eine Abschwächung der AMOC zu beobachten. Nach aktueller Studienlage ist noch ungewiss, wie viel zusätzlicher Süßwassereintrag durch Abschmelzen der Eisschilde, verstärkten Niederschlag und Flussabfluss zu einem kompletten Stillstand der Zirkulation führen würde. Es wird davon ausgegangen, dass dieser

---

<sup>27</sup> Robinson et al. 2012, Armstrong McKay et al. 2022, Höning et al. 2023

Grenzwert bei etwa 4 Grad Celsius globale Temperaturerhöhung liegt, die Schwankungsbreite liegt allerdings zwischen 1,4 und 8 Grad Celsius. Die Atlantische Umwälzzirkulation steuert möglicherweise bereits auf den Kipppunkt zu<sup>28</sup>. Ditlevsen et al.<sup>29</sup> schätzen die Überschreitung des Kipppunktes mit einem Konfidenzintervall von 95 Prozent zwischen 2025 und 2095 ein. Nach dem Überschreiten würde die AMOC innerhalb eines Zeitraums von rund 50 Jahren (15 bis 300 Jahren) zum Erliegen kommen<sup>30</sup>. Mit einem vollständigen Erliegen der AMOC wird eine Abkühlung des Nordatlantiks und damit von Mittel- und Nordeuropa von 3 Grad bis 8 Grad Celsius sowie eine Verlagerung des tropischen Regengürtels weiter nach Süden erwartet.

Das abrupte **Auftauen des Permafrostes** wird mit hoher Wahrscheinlichkeit innerhalb einer Temperaturerhöhung von 2 Grad Celsius erreicht werden. Als Permafrost werden dauerhaft gefrorene Böden und Sedimente bezeichnet. Permafrostböden speichern enorme Mengen an organischem Kohlenstoff, der über Tausende von Jahren durch abgestorbene Pflanzen und Tiere akkumuliert wurde. Schmilzt der Permafrost aufgrund steigender Temperaturen, werden diese organischen Materialien zersetzt und setzen große Mengen an Treibhausgasen wie Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) und Methan (CH<sub>4</sub>) frei. Der Verlust des Permafrostes verstärkt somit den Treibhauseffekt und beschleunigt die globale Erwärmung, was wiederum zu einem weiteren Auftauen des Permafrostes führt. Dieser selbstverstärkende Rückkopplungsmechanismus wäre nicht mehr kontrollierbar. Insbesondere die Freisetzung von Methan kann kurzfristig zu einem starken Temperaturanstieg führen. Zusätzlich hat das Auftauen des Permafrostes regionale Auswirkungen. Es führt zur Instabilität des Bodens. Dies verursacht Infrastrukturschäden und verändert Ökosysteme.

Der **Amazonas-Regenwald** nähert sich ebenfalls seinem Kipppunkt<sup>31</sup>. Der Amazonas-Regenwald ist eine wichtige Kohlenstoffsенке, die große Mengen an CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre aufnimmt und speichert. Außerdem reguliert er durch die enorme Verdunstungsleistung den regionalen und globalen Wasserkreislauf. Seit dem Jahr 1970 sind fast 20 Prozent seiner Fläche größtenteils durch Rodung verloren gegangen. Der Kipppunkt des Amazonas-Regenwaldes wird voraussichtlich bei einer globalen Temperaturveränderung von plus 3 bis 4 Grad Celsius erreicht, kann aber schon wesentlich früher durch weiterhin starke Abholzung erreicht werden<sup>32</sup>. Bei fortschreitender Entwaldung verliert er zunehmend seine Senkenfunktion für CO<sub>2</sub> sowie die Pumpenfunktion für den regionalen Wasserkreislauf. Dies kann zu einem sich selbst verstärkenden Prozess führen. Abholzungsraten von 20 bis 25 Prozent werden mittlerweile als Schwellwert für einen Ökosystemwechsel hin zu einem waldfreien Zustand angenommen. Die Umwandlung in ein waldfreies Ökosystem über einen Zeitraum von zirka 100 Jahren könnte bedeuten, dass der Amazonas statt als Kohlenstoffsенке zu wirken, zu einer Emissionsquelle wird und den globalen Klimawandel weiter antreibt.

Der Klimawandel bildet eine der neun „planetaren Grenzen“<sup>33</sup> (Abbildung 5). Diese repräsentieren die Komponenten der globalen Umwelt, die die Stabilität und Lebensfähigkeit des Planeten für Menschen regulieren. Gleichzeitig steht der Klimawandel mit weiteren planetaren Grenzen in Wechselwirkungen. Zu diesen zählen der Verlust von Biodiversität, biogeochemische Stoffflüsse (Stickstoff- und Phosphorkreislauf), Landnutzungsänderungen, der Verbrauch von Süßwasser, die Versauerung der Ozeane, die Einbringung von Chemikalien in die Umwelt sowie die atmosphärische Aerosolbelastung. Die planetaren Grenzen basieren auf dem neuesten wissenschaftlichen Verständnis der Zusammenhänge im Erdsystem, um einen „sicheren Handlungsraum“ zu identifizieren. Solange vom

---

<sup>28</sup> van Westen et al. 2024

<sup>29</sup> Ditlevsen et al. 2023

<sup>30</sup> Kornhuber et al. 2024

<sup>31</sup> Wang 2023

<sup>32</sup> Kornhuber et al. 2024

<sup>33</sup> Richardson et al. 2023

Menschen verursachte, kritische Prozesse innerhalb der Grenzen bleiben (blau), ist das Risiko unumkehrbarer Veränderungen im Erdsystem gering. Wird diese Grenze überschritten, steigt das Risiko für irreversible Umweltveränderungen. Sechs der neun Grenzen sind derzeit überschritten. Die Überschreitung beziehungsweise Auslastung nimmt bei allen Grenzen zu, mit Ausnahme des Abbaus der Ozonschicht der Erde.

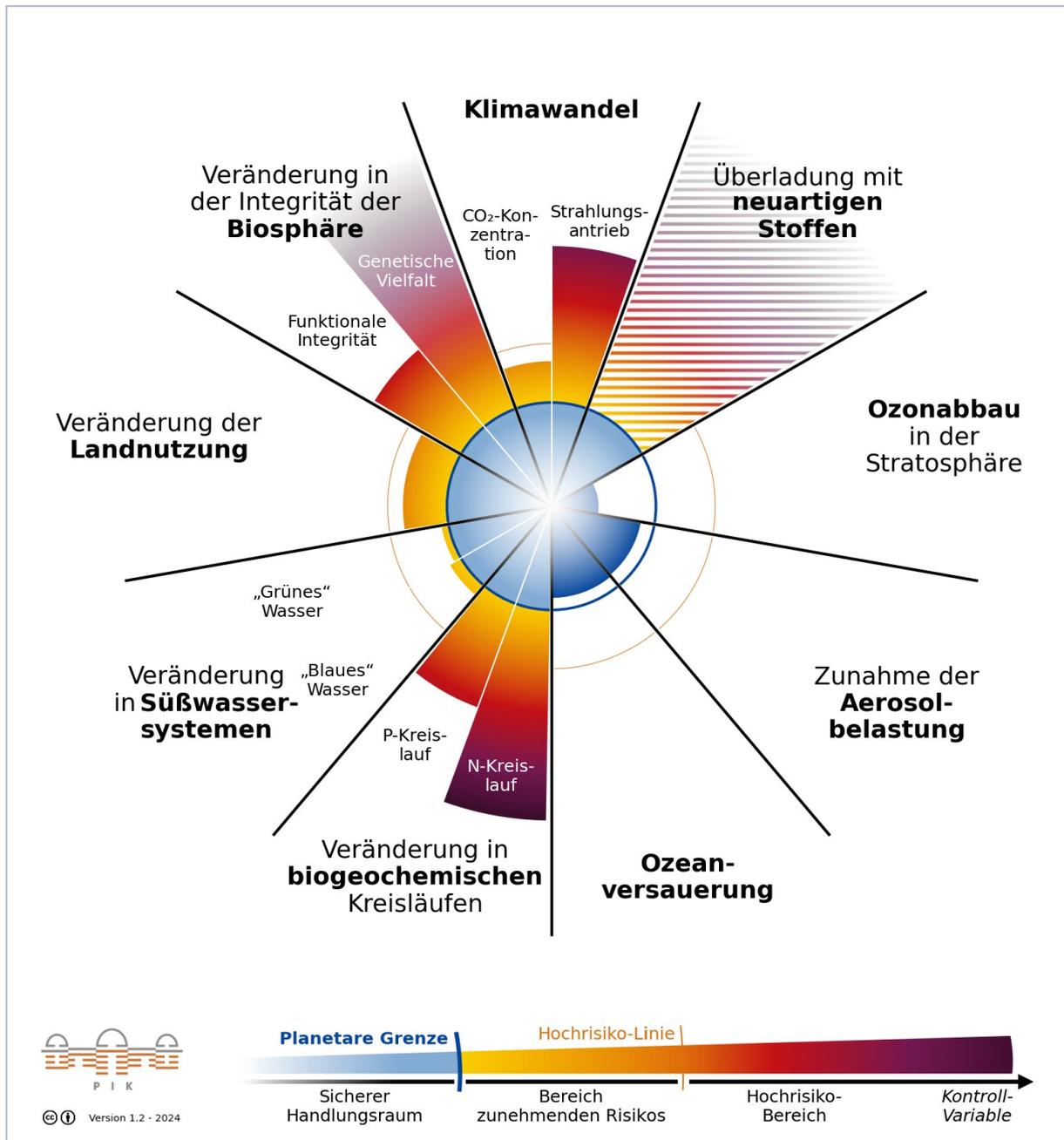


Abbildung 5 Planetare Grenzen der globalen Umwelt (PIK Version 1.2 2024 basierend auf Richardson et al. 2023)

## Daten zum Klimawandel in Brandenburg

Klimadaten wie die des Deutschen Wetterdiensts (DWD) sind essenziell, um auch regional für Brandenburg langfristige Entwicklungen und zukünftige Veränderungen des Klimas verstehen und bewerten zu können. Anhand der Entwicklungen der Temperatur und des Niederschlags im Vergleich zur Vergangenheit lässt sich deutlich nachvollziehen, wie der Klimawandel voranschreitet.

Während für die Temperaturentwicklung eine signifikante Zunahme zu beobachten ist, ist für die Niederschläge eine zunehmende Variabilität zu erkennen. Insbesondere die Aprilniederschläge zeigten in den letzten Jahren unterdurchschnittliche Werte. Das Risiko von Starkregen nimmt mit einer wärmeren Atmosphäre weiter zu, während sich gleichzeitig Dürrephasen verlängern. Zusammen mit der steigenden Verdunstung erhöht sich der Druck auf das Wasserdargebot in Brandenburg.



Hochwasser an der Elbe, © Carsten Linke

## Zum Umgang mit Klimadaten aus Beobachtungen und Simulationen

Das Klima beschreibt das durchschnittliche Wettergeschehen über einen Zeitraum von mindestens 30 Jahren. Der WMO-Referenzzeitraum 1961-1990 erlaubt vor allem die Bewertung langfristiger Klimaentwicklungen, da diese Periode noch wenig von der derzeitigen beschleunigten Erwärmung betroffen war. Als Bezugszeitraum für Klimasimulationen wird die Periode 1971-2000 verwendet, da nicht für alle Modelle Daten vor 1970 vorliegen. Als Schwankungsbereich wird das 95 Prozent-Konfidenzintervall des Mittelwerts 1971-2000 angegeben. Liegt ein 30-jähriger Mittelwert des Klimas einer anderen Zeitspanne außerhalb dieses Bereichs, so wird das als Klimaänderung interpretiert. Der aktuelle 30-Jahreszeitraum 1991-2020 (jüngere Vergangenheit) ermöglicht es, die bereits erfolgte Klimaveränderung zu dokumentieren. Da die Temperaturerhöhung in der letzten Dekade besonders markant war, wird diese teilweise noch zusätzlich untersetzt.

Dank aktueller methodischer Weiterentwicklungen wird die Trendlinie der Beobachtungsdaten mit einem LOESS Filter (Locally estimated weighted Scatterplot Smoothing) nach de Valk 2020 dargestellt. Dies entspricht in etwa einem geglätteten, gleitenden 30-jährigen Mittelwert. Während Darstellungen des gleitenden 30-jährigen Mittelwerts in der Aktualität immer 15 Jahre zurückbleiben, besteht mit dem LOESS Filter die Möglichkeit, die Trendlinie bis in die Gegenwart zu ziehen. Es wurden die Beobachtungsdaten des Deutschen Wetterdienstes<sup>34</sup> und ein europäischer Datensatz (E-OBSv29)<sup>35</sup> verwendet.



Sonnenscheinmesser DWD © Christian Blumenstein

<sup>34</sup> DWD 2024a, Rauthe et al. 2013

<sup>35</sup> Cornes et al. 2018

Mit Hilfe von Klimamodellen lassen sich mögliche zukünftige Entwicklungen des Klimas infolge veränderter Treibhausgaskonzentrationen berechnen. Globalmodelle berücksichtigen dabei die verschiedenen Erdsystemkompartimente, rechnen aber mit relativ grober Auflösung.

Regionale Klimamodelle verwenden die Ergebnisse der Globalmodelle als Eingangsdaten und verfeinern die Auflösung. Dabei gibt es dynamische Regionalmodelle, welche die Wechselwirkung zwischen Atmosphäre und Landoberfläche simulieren. Eine andere Methode sind statistische Modelle, die einen Zusammenhang zwischen Mustern aus Klimasimulationen der Vergangenheit und Beobachtungsdaten herstellen und daraus regionale Zukunftszeitreihen für die Ergebnisse der globalen Klimamodelle generieren. Da verschiedene Klimamodelle zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen, enthält das Brandenburgische Klimaprojektionsensemble<sup>36</sup> 16 regionale Klimasimulationen mit verschiedenen Kombinationen aus Global- und Regionalmodellen für das Emissionsszenario RCP 8.5 (siehe Kapitel 1, Szenarien). Davon sind elf Simulationen für RCP 2.6 vorhanden. Die Ergebnisse des Klimaprojektionsensembles werden als Änderungen gegenüber dem Bezugszeitraum für Klimasimulationen 1971-2000 für die Zeiträume 2031-2060 (Mitte des Jahrhunderts) und 2071-2100 (Ende des Jahrhunderts) für die Emissionsszenarien RCP 2.6 und RCP 8.5 dargestellt (Tabelle 2). Dadurch wird die Spannbreite möglicher Entwicklungen in Abhängigkeit des weiteren Treibhausgasausstoßes deutlich.

Tabelle 2 Verwendete 30-Jahres-Perioden aus Beobachtungsdaten und Klimasimulationen (grau hinterlegt)

Zeitraum	Bezeichnung
1961–1990	WMO-Klimareferenzperiode
1971–2000	Bezugszeitraum für Klimasimulationen
1991–2020	Jüngere Vergangenheit
2031–2060	Mitte des Jahrhunderts
2071–2100	Ende des Jahrhunderts

<sup>36</sup> LfU 2022

## Temperatur

Seit der Klimareferenzperiode 1961-1990 hat sich in Brandenburg der 30-jährige Mittelwert der Jahresmitteltemperatur von 8,7 auf 9,7 Grad Celsius für den Zeitraum 1991-2020 um 1 Grad Celsius erhöht. Insbesondere seit dem Beginn der 1990-er Jahre verstärkte sich die Temperaturzunahme. Das letzte Jahrzehnt 2014-2023 war in Brandenburg im Mittel bereits 1,8 Grad Celsius wärmer als die Klimareferenzperiode und damit 2,1 Grad Celsius wärmer als im frühindustriellen Zeitraum 1881-1910. Diese Erwärmung ist stärker als im globalen Mittel, da sich Landmassen schneller erwärmen als Ozeane. Eine Intensivierung des Trends der Temperaturzunahme wird auch bei der Betrachtung der **Einzeljahre** deutlich, wie die Abweichung der Jahresmitteltemperatur von der Klimareferenzperiode (1961-1990) von 1881-2023 zeigt (Abbildung 6). Dabei ist auffällig, dass bis auf das Jahr 1934 alle wärmsten Jahre seit 1989 auftreten. Die Jahresmitteltemperatur überstieg 2019, dem wärmsten jemals gemessenen Jahr in Brandenburg, sogar die 11-Grad-Marke.

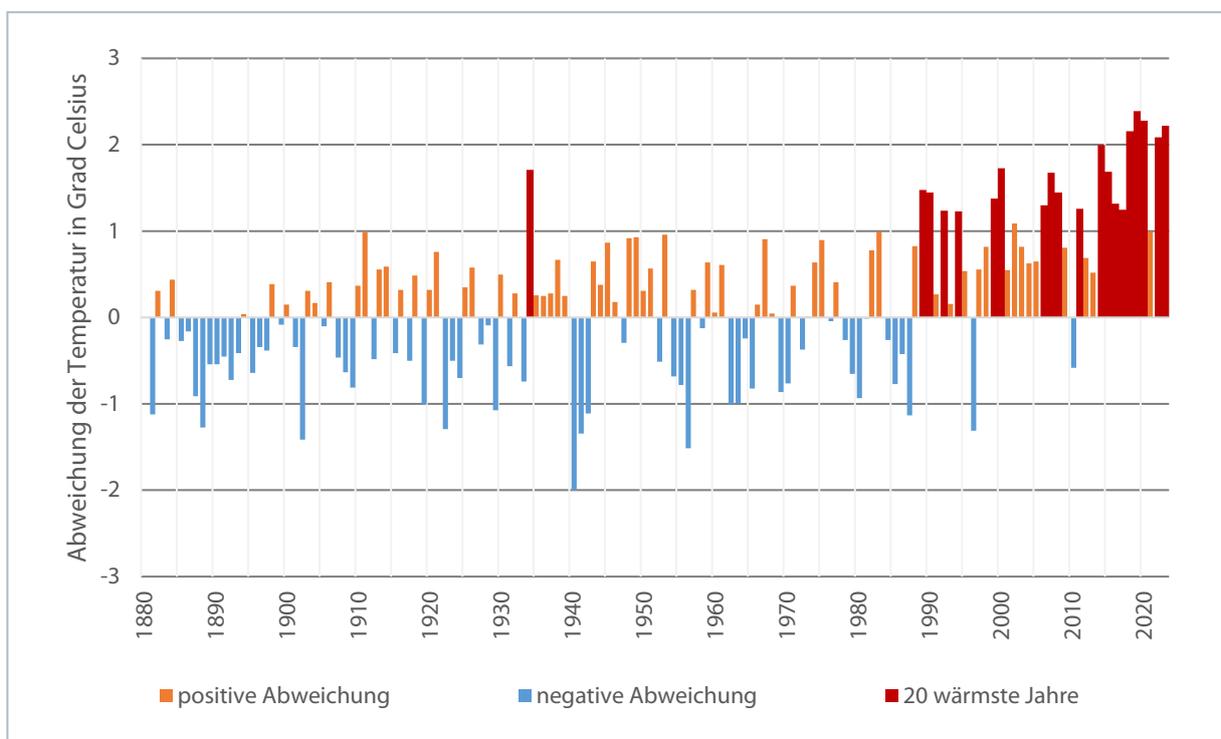


Abbildung 6 Abweichung der jährlichen Mitteltemperatur in Grad Celsius von der Klimareferenzperiode 1961-1990 von 1881-2023. Die 20 wärmsten Jahre sind in Rot dargestellt. Daten: DWD

Gemäß den Klimasimulationen wird sich der Erwärmungstrend fortsetzen und extrem warme Jahre wie im Jahr 2019 könnten ab Mitte des Jahrhunderts ein durchschnittliches Jahr sein, wenn nicht zügig umfassende Klimaschutzmaßnahmen umgesetzt werden (Abbildung 7). Hinzu kämen extrem warme Jahre, wie sie Brandenburg bislang noch nicht erlebt hat. Bis zum Ende des Jahrhunderts stiege die Jahresmitteltemperatur in diesem Szenario im Mittel der Klimasimulationen um 3,6 Grad Celsius gegenüber dem Bezugszeitraum 1971-2000. Mit raschem Klimaschutz stabilisiert sich die Temperatur bis Mitte des Jahrhunderts dagegen und nimmt danach nicht weiter zu.

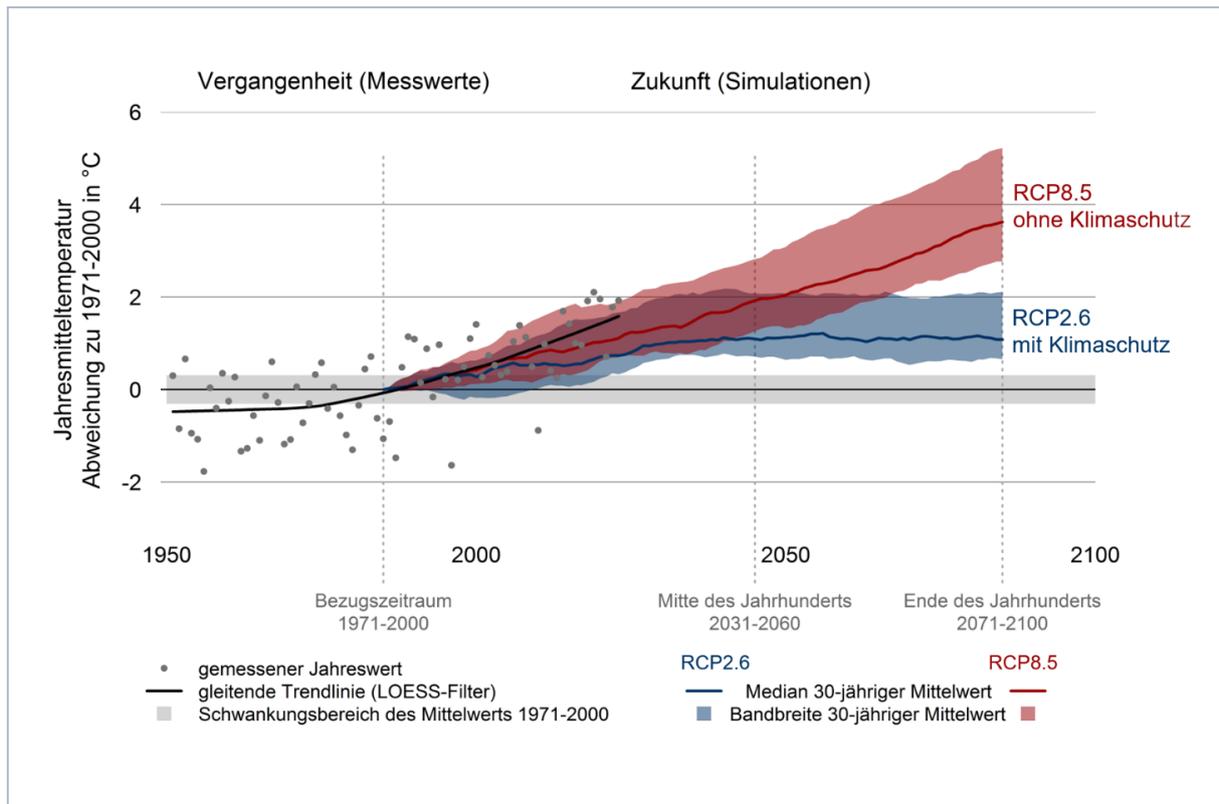


Abbildung 7 Abweichung der beobachteten jährlichen Mitteltemperatur (graue Punkte) und der gleitenden Trendlinie (schwarz) der Messwerte von 1951 bis 2023 gegenüber dem Bezugszeitraum der Klimasimulationen 1971-2000. Die 30-jährigen Mittelwerte der Simulationen zeigen die beiden Temperaturverläufe „ohne Klimaschutz“ (rot, Szenario RCP 8.5) und gemäß 2-Grad-Obergrenze (blau, Szenario RCP 2.6). Als Klimaänderung gegenüber dem Bezugszeitraum wird eine Abweichung erst interpretiert, wenn sie außerhalb des Schwankungsbereichs des 30-jährigen Mittelwerts 1971-2000 (grauer Balken) liegt. Daten: DWD, E-OBS und LfU

Für alle **Jahreszeiten** wird deutlich, dass sie sich im Vergleich zur Klimareferenzperiode in den letzten Jahrzehnten erwärmt haben (Abbildung 8). Der Frühling weist eine zunehmende Erwärmung seit Mitte der 1980-er Jahre auf. In der aktuellen Dekade (2014-2023) war er bereits etwa 1,3 Grad Celsius wärmer als im langjährigen Vergleich. Die anderen drei Jahreszeiten zeigen eine noch stärkere Erwärmung. Für den Sommer ist eine verstärkte Erwärmung seit Mitte der 1990-er Jahre zu beobachten. Aktuell ist der Sommer knapp 2 Grad Celsius wärmer als die Klimareferenzperiode. Der Herbst erreicht 1,5 Grad Celsius positive Temperaturabweichung vom langjährigen Mittel. Besonders stark erwärmt sich allerdings der Winter. Die zunehmende Erwärmung zeigt sich für den Winter bereits seit den 1970-er Jahren und erreicht in der aktuellen Dekade 2,7 Grad Celsius gegenüber den Jahren 1961-1990. Auch die Klimasimulationen zeigen für den Winter die stärkste zukünftige Erwärmung, falls keine wirksamen Klimaschutzmaßnahmen umgesetzt werden sollten. Selbst mit umfassenden Klimaschutzmaßnahmen wird bis Mitte des Jahrhunderts ein weiterer deutlicher Anstieg der Temperaturen in den Herbst- und Wintermonaten erwartet (Tabelle 3).

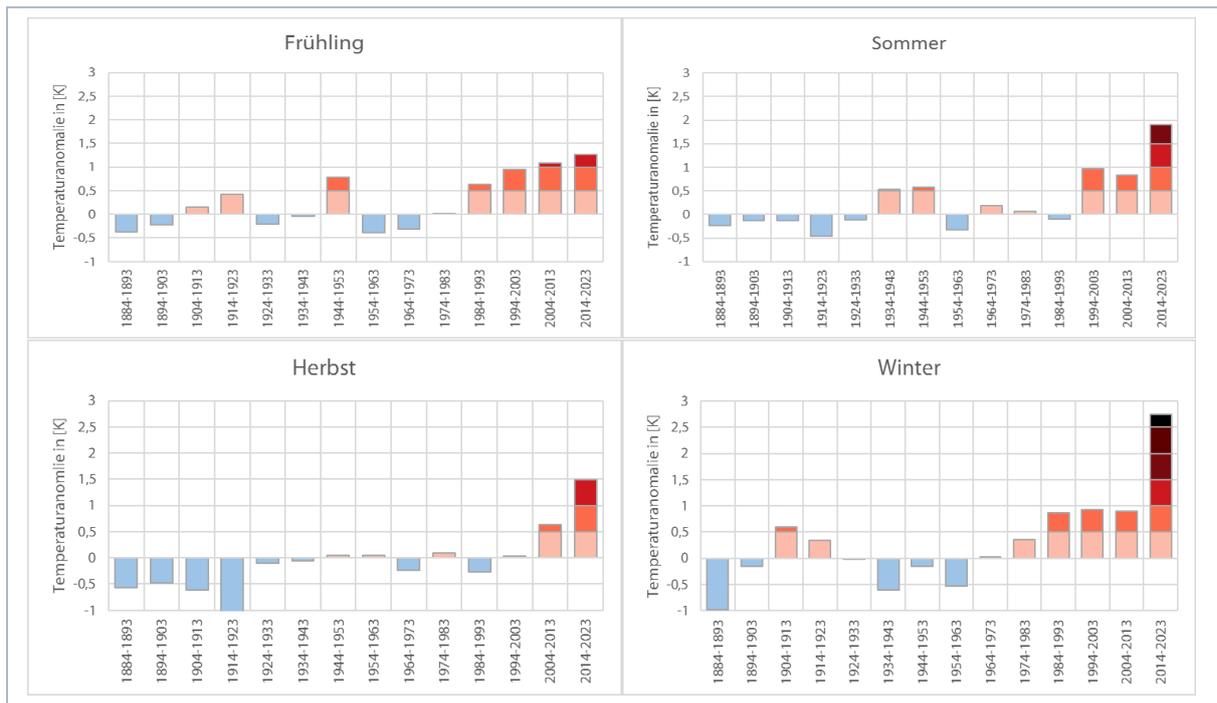


Abbildung 8 Temperaturanomalien der Dekaden der Jahreszeiten von 1884-1893 bis 2014-2023. Dargestellt sind die positiven (rot) und negativen (blau) Abweichungen der saisonalen dekadischen Mitteltemperatur von der saisonalen dekadischen Mitteltemperatur der Klimareferenzperiode 1961-1990. Daten: DWD

Die jährliche Anzahl der **Sommertage**, Tage mit einer Höchsttemperatur über 25 Grad Celsius, zeigt gegenüber der jüngeren Vergangenheit (1991-2020) mit der Klimareferenzperiode eine deutliche Zunahme. Während in der Klimareferenzperiode im Mittel noch 33 Sommertage pro Jahr auftraten, waren es in der jüngeren Vergangenheit bereits 46 Tage. Bis zum Ende des Jahrhunderts könnte sich diese Anzahl gemäß dem Mittel der Klimasimulationen auf 77 Sommertage erhöhen, wenn der Ausstoß der Treibhausgase nicht umfassend gesenkt wird. Gelingt es der Weltgemeinschaft, die 2 Grad-Obergrenze einzuhalten, bleibt die Anzahl der Sommertage im Mittel der Klimasimulationen auf dem bereits erlebten Niveau (Tabelle 3).

Die mittlere Anzahl der **Hitzetage** (Tage mit Höchsttemperatur von mindestens 30 Grad Celsius) stieg von 6 Tagen pro Jahr in der Klimareferenzperiode auf 11 Tage in der jüngeren Vergangenheit 1991-2020. Ohne Klimaschutz könnte sich diese Anzahl bis zum Ende des Jahrhunderts im Mittel der Klimasimulationen auf 31 Tage erhöhen. Das wären im Mittel über Brandenburg 24 Tage mehr als im Bezugszeitraum der Klimasimulationen 1971-2000. Vor allem die südlichen Landesteile wären von der starken Zunahme der Hitzetage betroffen (Abbildung 9). Mit umfassendem Klimaschutz kann der Anstieg der Hitzetage auf ein Niveau leicht über dem bereits erlebten Niveau eingegrenzt werden (Tabelle 3).

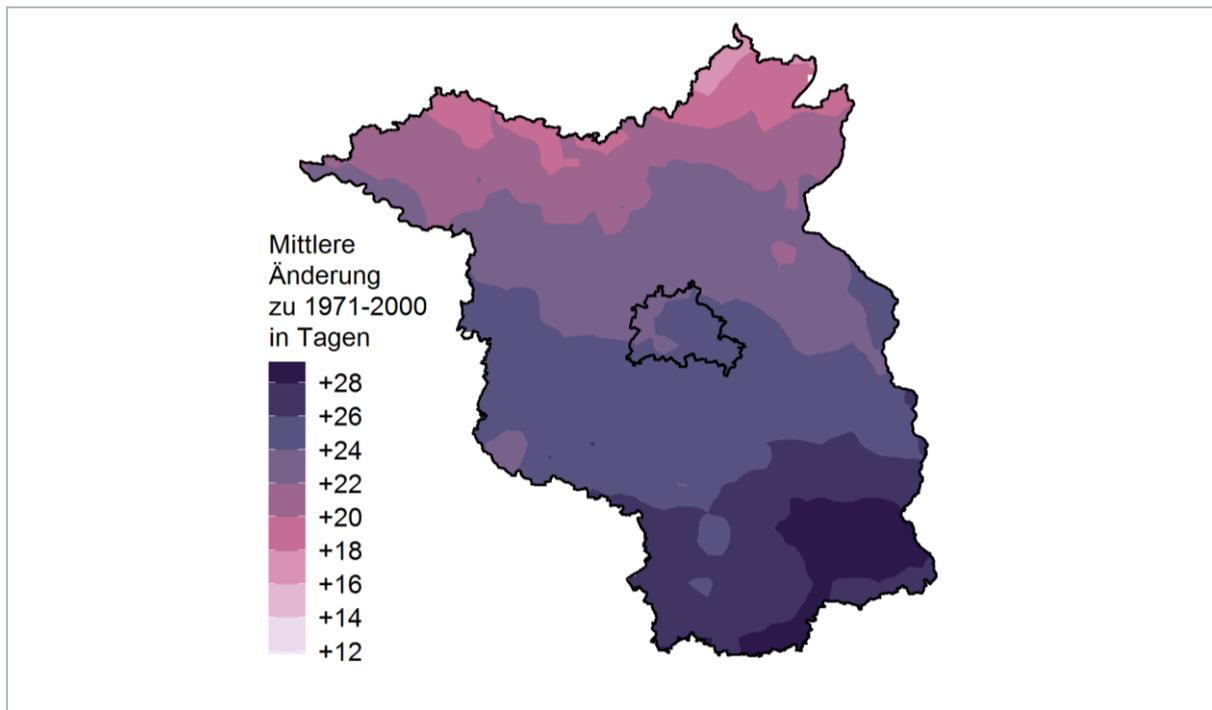


Abbildung 9 Änderung der Anzahl der Hitzetage in Brandenburg und Berlin bis Ende des Jahrhunderts (2071-2100) zum Bezugszeitraum 1971-2000 im Median der Klimasimulationen

**Tropennächte** sind Nächte, an denen die Temperatur nicht unter 20 Grad Celsius sinkt. Sie traten in der Vergangenheit bislang nur lokal auf, im Mittel über Brandenburg an nur 0,1 Nächten pro Jahr in der Klimareferenzperiode. In der jüngeren Vergangenheit ist die mittlere Anzahl der Tropennächte auf 0,4 gestiegen und hat sich damit vervierfacht (Tabelle 3). Die Klimamodelle projizieren für Brandenburg im Mittel eine Zunahme der jährlichen Tropennächte um 9 Nächte bis Ende des Jahrhunderts, falls kein umfassender Klimaschutz umgesetzt werden sollte. Dies ist weit außerhalb des derzeit vorstellbaren Bereichs. Selbst bei Einhaltung der Klimaschutzziele verdoppelt sich die Anzahl der Tropennächte im Mittel der Klimasimulationen nochmals gegenüber der jüngeren Vergangenheit. Dabei muss berücksichtigt werden, dass regionale Klimamodelle kleinräumige Besonderheiten in Ballungsgebieten nicht hinreichend abbilden. Dort traten bereits in der Vergangenheit wesentlich häufiger Tropennächte auf und dort fällt auch die Zunahme besonders stark aus. Dies liegt am Wärmeinseleffekt: Während Hitzeperioden entsteht eine signifikante Temperaturdifferenz zum Umland. Versiegelte Flächen erwärmen sich stärker und geben die Wärme in der Nacht an die Umgebung ab. Bei dichter Bebauung ist der Luftaustausch zur Umgebung verringert. Die Wärme kann nicht abtransportiert werden. Kaltluftschneisen und kühlende Grünflächen gewinnen daher immer mehr an Bedeutung. Kleinskalige Stadtklimamodelle unterstützen dabei, dies bei der Stadtplanung zu berücksichtigen.

In der Klimareferenzperiode traten im Mittel noch etwa 87 **Frosttage**, Tage mit Minimumtemperatur unter 0 Grad Celsius, auf. In der jüngeren Vergangenheit waren es nur noch 82 Tage und in der aktuellsten Dekade (2014-2023) im Mittel nur noch 65 Frosttage (nicht dargestellt). Ebenso zurückgegangen sind die **Eistage**. Eistage sind Tage, an denen die Höchsttemperatur unter 0 Grad Celsius bleibt. Während in der Klimareferenzperiode noch im Mittel 26 Eistage jährlich auftraten, waren es in der jüngsten Dekade 2014-2023 nur noch zehn (nicht dargestellt). Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts werden 17 Eistage weniger erwartet, wenn keine umfassenden Klimaschutzmaßnahmen ergriffen werden. Doch selbst bei Umsetzung des Pariser Klimaschutzabkommens werden die Frost- und Eistage bis Mitte des Jahrhunderts noch spürbar zurückgehen (Tabelle 3).

Tabelle 3 Temperaturbasierte Klimakennwerte für die Region Brandenburg-Berlin als Flächenmittelwerte. Für die 30-Jahres-Perioden der Vergangenheit sind gemessene Werte und die bereits beobachtete Änderung angegeben. Die Klimaänderung Mitte (2021-2050) und Ende (2071-2100) des Jahrhunderts zeigt die im Median simulierte Änderung des 30-jährigen Mittels gegenüber dem Bezugszeitraum 1971-2000 jeweils für ein Klimaschutzszenario „2-Grad-Obergrenze“ (RCP 2.6) und ein Szenario „ohne Klimaschutz“ (RCP 8.5). Unter dem Median ist in Klammern die Bandbreite der Simulationen angegeben. Fett gedruckte Änderungen liegen außerhalb des Schwankungsbereichs des Mittelwerts 1971-2000. Daten: DWD und LfU

Kennwerte	Vergangenheit (Messwerte) 30-jähriger Mittelwert				Mitte des Jahrhunderts (Simulationen) Änderung 2031-2060 zu 1971-2000		Ende des Jahrhunderts (Simulationen) Änderung 2071-2100 zu 1971-2000	
	Klima- referenz- periode 1961- 1990	Bezugs- zeitraum 1971- 2000	Jüngere Vergan- genheit 1991- 2020	Änderung 1991- 2020 zu 1971- 2000	RCP 2.6	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 8.5
Temperatur (°C)	8,7	9,0	9,7	<b>+0,7</b>	<b>+1,1</b> (+0,7 bis +2,1)	<b>+1,9</b> (+1,3 bis +2,8)	<b>+1,1</b> (+0,7 bis +2,1)	<b>+3,6</b> (+2,8 bis +5,2)
Frühlings- temperatur (°C) (März-Mai)	8,1	8,5	9,3	<b>+0,8</b>	<b>+1,0</b> (+0,5 bis +1,9)	<b>+1,6</b> (+1,1 bis +2,7)	<b>+1,0</b> (+0,4 bis +1,8)	<b>+3,3</b> (+2,1 bis +4,9)
Sommer- temperatur (°C) (Jun-Aug)	17,2	17,5	18,4	<b>+0,9</b>	<b>+1,1</b> (+0,6 bis +2,5)	<b>+1,9</b> (+1,1 bis +3,4)	<b>+1,1</b> (+0,7 bis +2,1)	<b>+3,5</b> (+2,4 bis +6,9)
Herbst- temperatur (°C) (Sep-Nov)	9,1	9,0	9,6	<b>+0,6</b>	<b>+1,4</b> (+0,7 bis +2,0)	<b>+1,9</b> (+1,3 bis +3,0)	<b>+1,4</b> (+0,6 bis +2,1)	<b>+3,8</b> (+2,9 bis +5,6)
Winter- temperatur (°C) (Dez-Feb)	0,1	0,8	1,3	+0,5	<b>+1,2</b> (+0,7 bis +2,2)	<b>+2,3</b> (+1,0 bis +3,2)	<b>+1,2</b> (+0,9 bis +2,7)	<b>+3,9</b> (+3,2 bis +5,6)
Hitzetage (T <sub>max</sub> > 30 °C)	6	7	11	<b>+4</b>	<b>+6</b> (+2 bis +15)	<b>+9</b> (+4 bis +23)	<b>+6</b> (+3 bis +12)	<b>+24</b> (+14 bis +61)
Sommertage (T <sub>max</sub> > 25 °C)	33	36	46	<b>+10</b>	<b>+10</b> (+4 bis +30)	<b>+18</b> (+8 bis +44)	<b>+11</b> (+3 bis +25)	<b>+41</b> (+19 bis +85)
Tropennächte (T <sub>min</sub> > 20 °C)	0,1	0,2	0,4	+0,2	<b>+0,6</b> (+0,1 bis +3)	<b>+2</b> (+0,1 bis +4,6)	<b>+1</b> (+0,1 bis +3)	<b>+9</b> (+2 bis +24)
Frosttage (T <sub>min</sub> < 0 °C)	87	83	82	-1	<b>-20</b> (-31 bis -14)	<b>-32</b> (-42 bis -18)	<b>-18</b> (-36 bis -10)	<b>-51</b> (-69 bis -43)
Eistage (T <sub>max</sub> < 0 °C)	26	21	18	-3	<b>-7</b> (-10 bis -4)	<b>-12</b> (-17 bis -5,3)	<b>-7</b> (-14 bis -3)	<b>-17</b> (-22 bis -13)

## Niederschlag

Brandenburg gehört mit einer durchschnittlichen Jahresniederschlagssumme von unter 600 Millimetern zu den trockensten Regionen Deutschlands. Ein langfristiger Trend zur Niederschlagsmenge liegt – anders als bei der Temperatur – nicht vor. Allerdings zeigt sich eine zunehmende Variabilität des Niederschlagsgeschehens mit Dürreperioden und Starkniederschlagsereignissen. Seit der Jahrtausendwende traten gehäuft Jahre mit großer Abweichung vom Niederschlagsdurchschnitt auf (Abbildung 10).

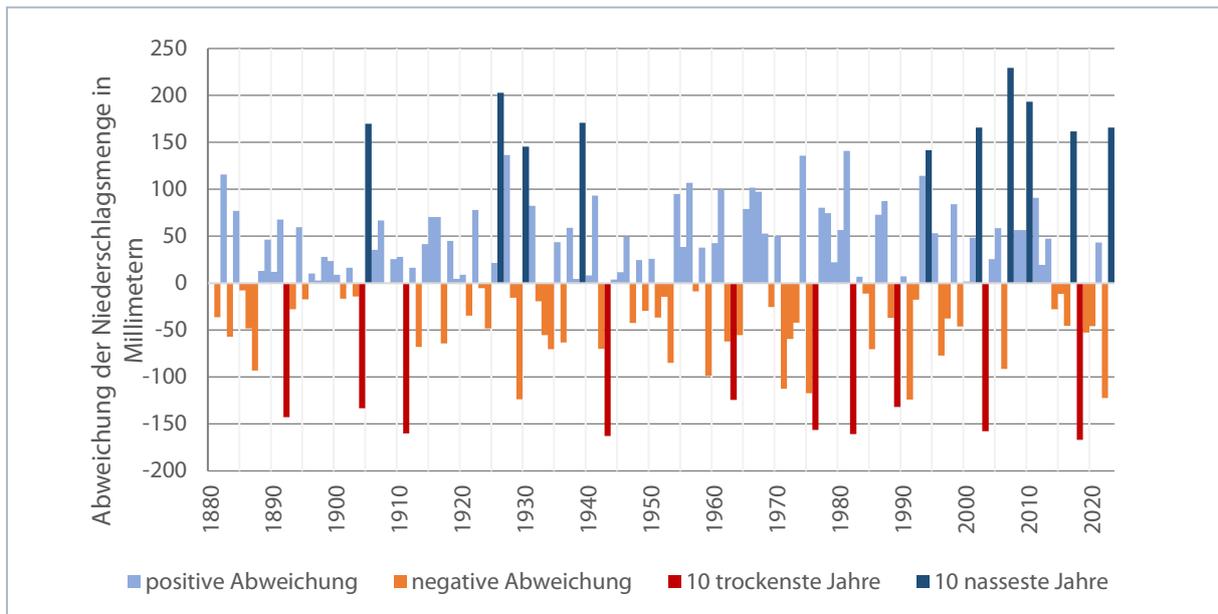


Abbildung 10 Abweichung des mittleren Jahresniederschlags von der Klimareferenzperiode (1961-1990) aufgeteilt nach positiver (hellblau) und negativer (orange) Abweichung. Die rot markierten Jahre stellen die zehn trockensten Jahre, die dunkelblauen die nassesten Jahre dar. Daten: DWD

2018 war nicht nur das drittwärmste, sondern auch das trockenste Jahr seit Beginn der Wetteraufzeichnungen aus dem Jahr 1881. Extremjahre folgen teilweise direkt aufeinander wie das Extremniederschlagsjahr 2002 mit einem Jahresniederschlag von 723 Millimetern, das zu einem Jahrhunderthochwasserereignis an der Elbe führte, und dem Jahr 2003, dem fünftrockensten Jahr (knapp 400 Millimeter Jahresniederschlag) seit Beginn der Wetteraufzeichnung. Das Jahr 2017 war eines der niederschlagsreichsten Jahre mit einem Jahresniederschlag von etwa 720 Millimetern, gefolgt vom Jahr 2018, dem trockensten Jahr seit dem Jahr 1881 (390 Millimeter). Anfang des Jahres 2024 waren Brandenburgs Böden „so nass wie etwa einmal alle hundert Jahre“<sup>37</sup>, nachdem sechs aufeinanderfolgende Jahre (2018-2023) starke und extreme Dürre große Teile der brandenburgischen Böden betraf. Infolge des Klimawandels ändert sich die Häufigkeit, Dauer und Lage von blockierenden Wetterlagen, bei denen es regional entweder sehr lange gar nicht oder sehr viel regnet<sup>38</sup>.

Auch die Klimasimulationen zeigen im Mittel keinen eindeutigen Trend des Jahresniederschlags, mit einer leichten Tendenz zur Zunahme (Abbildung 11). Im Gegensatz zur Temperatur fällt auf, dass die verschiedenen Klimasimulationen zu unterschiedlichen Ergebnissen bezüglich der zukünftigen Niederschlagsänderungen kommen. Die Bandbreite der möglichen Entwicklungen nimmt mit fortschreitender Erwärmung ohne Klimaschutz immer weiter zu. Physikalisch ist einfach zu erklären, dass sich der Wasserkreislauf mit zunehmender Temperatur intensiviert: Mit jedem Grad Temperaturerhöhung kann die Luft 7 Prozent mehr Wasser in Form von Luftfeuchtigkeit aufnehmen. Dadurch

<sup>37</sup> Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) 2024

<sup>38</sup> Kautz et al. 2022

nehmen vor allem Extremniederschläge zu. Das zusätzlich verdunstete Wasser kommt keineswegs gleichverteilt als Niederschlag wieder dort an, wo es verdunstete. Dabei ist eine Veränderung der Niederschlagsverteilung innerhalb Europas im Zuge des Klimawandels erkennbar. Beobachtungen und Simulationen zeigen eindeutig eine Verlagerung des Niederschlags von Süd nach Nord. Brandenburg liegt in etwa in der Mitte dieser Verlagerung. Daher ist die konkrete Auswirkung der Klimaänderung auf Brandenburgs Niederschlagssumme von der genauen Ausprägung und Verortung der Wetterlagen abhängig und nicht verlässlich zu modellieren. Gut möglich ist die Fortsetzung der beobachtenden Tendenz der letzten Jahre: Außergewöhnlich nasse und trockene Zeiträume wechseln sich ab. Im Zuge dessen könnten die Intensität und Dauer von Dürre- und Dauerniederschlagsphasen noch erheblich zunehmen.

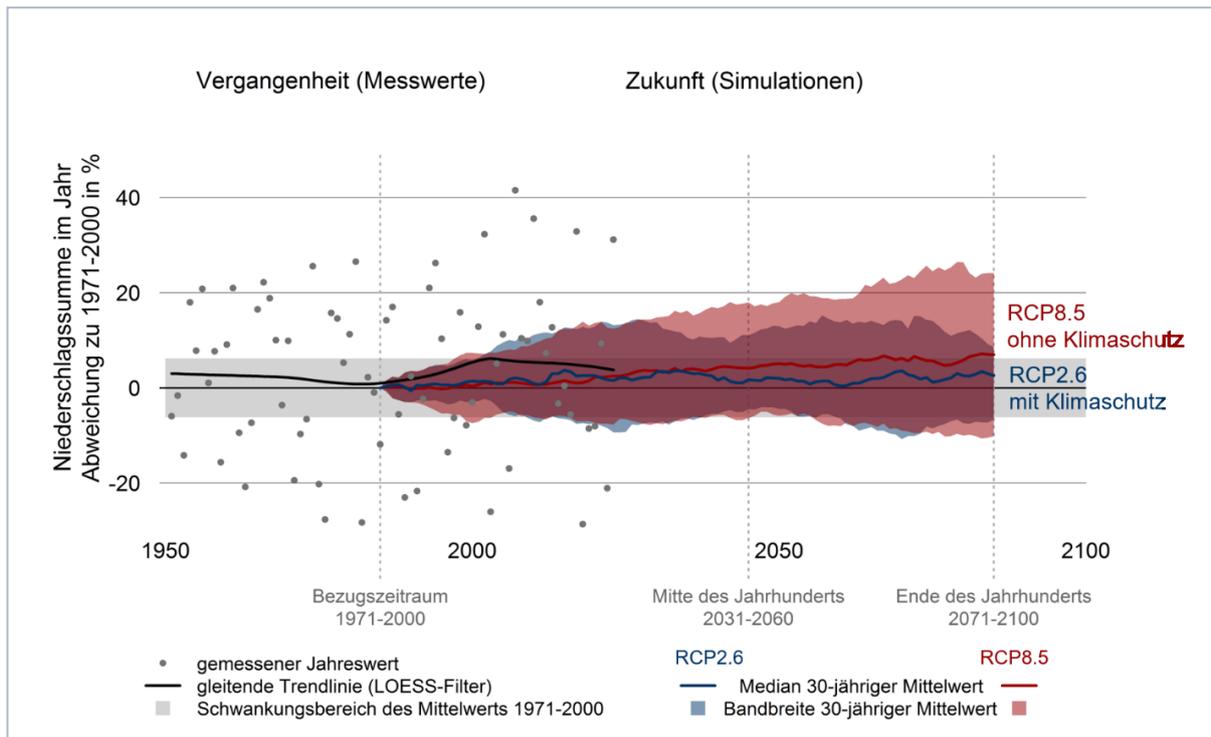


Abbildung 11 Abweichung der jährlichen Niederschlagssumme (graue Punkte) und der gleitenden Trendlinie (schwarz) der Messwerte von 1951 bis 2023 gegenüber dem Bezugszeitraum der Klimasimulationen 1971-2000. Die 30-jährigen Mittelwerte der Simulationen zeigen die beiden Verläufe „ohne Klimaschutz“ (rot, Szenario RCP 8.5) und gemäß „2-Grad-Obergrenze“ (blau, Szenario RCP 2.6). Als Klimaänderung gegenüber dem Bezugszeitraum wird eine Abweichung erst interpretiert, wenn sie außerhalb des Schwankungsbereichs des 30-jährigen Mittelwerts 1971-2000 (grauer Balken) liegt. Daten: DWD und LfU

In der Vergangenheit war keine Umverteilung der Niederschlagsmenge zwischen Sommer- und Winterhalbjahr zu beobachten (Tabelle 4). Innerhalb des Sommerhalbjahres gab es allerdings eine deutliche Verschiebung des Niederschlags von der frühen in die späte Vegetationsperiode. Vor allem der für die Vegetation so wichtige Frühjahrsniederschlag ging stark zurück. Besonders betroffen war der April. Im Zeitraum von 2003 bis 2024 gab es nur zwei Jahre, 2008 und 2023, in denen im April überdurchschnittlich viel Niederschlag fiel. Alle anderen Jahre waren vergleichsweise trocken (Abbildung 12). Diese Frühjahrstrockenheit liegt an Großwetterlagen, die feuchte Westwinde blockieren. Die Wahrscheinlichkeit, dass dies häufiger auftritt, könnte mit der fortschreitenden Erderwärmung zunehmen<sup>39</sup>.

<sup>39</sup> Haslinger und Mayer 2022

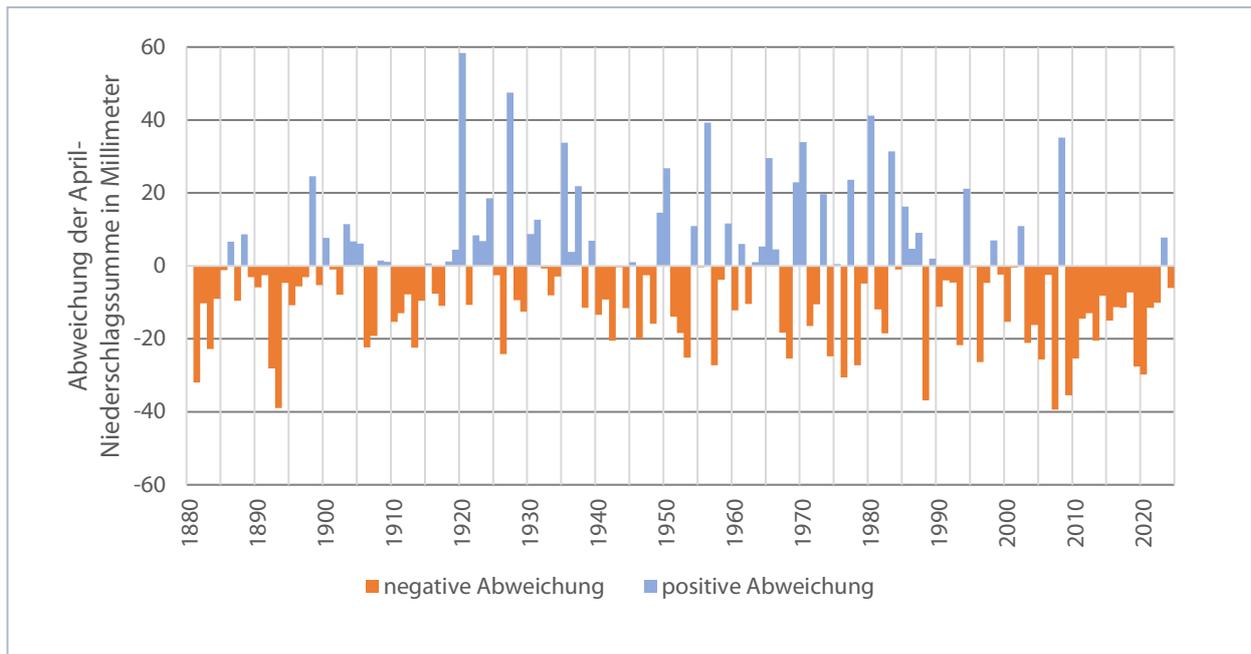


Abbildung 12 Abweichung des mittleren Aprilniederschlags vom Mittelwert der Klimareferenzperiode (1961-1990) aufgeteilt nach positiver (hellblau) und negativer (orange) Abweichung. Daten: DWD

Gemäß den Klimasimulationen wäre eine Zunahme des Winterniederschlags gegen Ende des Jahrhunderts zu erwarten, sollten keine umfassenden Klimaschutzmaßnahmen umgesetzt werden. Für das Sommerhalbjahr ist aus dem Mittel der Klimasimulationen keine Änderung der Niederschlagssumme ableitbar. Mit fortschreitender Erderwärmung nimmt gleichwohl die Ungewissheit bezüglich der Niederschlagsmenge deutlich zu. Für die Verteilung des Niederschlags innerhalb des Sommerhalbjahres wäre gemäß den Klimasimulationen tendenziell eine bislang nicht beobachtete Verschiebung der Niederschlagsmenge vom Spätsommer in den Frühling zu erwarten. Allerdings ist die Ergebnisspanne der verschiedenen Modelle hier enorm, vor allem bei einem ungebremsten Klimawandel.

Tabelle 4 Niederschlagsbasierte Klimakennwerte für die Region Brandenburg-Berlin als Flächenmittelwerte. Für die 30-Jahres-Perioden der Vergangenheit sind gemessene Werte und die bereits beobachtete Änderung in Prozent angegeben. Die Klimaänderung Mitte (2021-2050) und Ende (2071-2100) des Jahrhunderts zeigt die im Median simulierte Änderung in Prozent des 30-jährigen Mittels gegenüber dem Bezugszeitraum 1971-2000, jeweils für ein Klimaschutzszenario „2-Grad-Obergrenze“ (RCP 2.6) und ein Szenario „ohne Klimaschutz“ (RCP 8.5). Unter dem Median ist in Klammern die Bandbreite der Simulationen angegeben. Fett gedruckte Änderungen liegen außerhalb des Schwankungsbereichs des Mittelwerts 1971-2000. Daten: DWD und LfU

Kennwerte	Vergangenheit (Messwerte) 30-jähriger Mittelwert				Mitte des Jahrhunderts (Simulationen) Änderung 2031–2060 zu 1971–2000		Ende des Jahrhunderts (Simulationen) Änderung 2071–2100 zu 1971–2000	
	Klima-referenzperiode 1961–1990	Bezugszeitraum 1971–2000	Jüngere Vergangenheit 1991–2020	Änderung 1991–2020 zu 1971–2000	RCP 2.6	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 8.5
<b>Niederschlag (mm)</b>								
Jahressumme	558	551	579	+5 %	+2% (-4% bis +11%)	+4% (-6% bis +18%)	+3% (-7% bis +9%)	<b>+7%</b> (-10% bis +24%)
Winterhalbjahr (Okt.–März)	245	246	258	+5 %	+3% (-7% bis +10%)	+7% (-6% bis +18%)	+2% (-13% bis +12%)	<b>+15%</b> (+1% bis +33%)
Sommerhalbjahr (Apr.–Sep.)	316	307	323	+5 %	+1% (-9% bis +18%)	+2% (-12% bis +24%)	+2% (-7% bis +14%)	+2% (-24% bis +22%)
Frühe Vegetationsperiode (Apr.–Juni)	159	151	141	-7 %	+10% (-8% bis +27%)	+10% (-15% bis +27%)	+9% (-4% bis +21%)	<b>+14%</b> (-21% bis +39%)
Späte Vegetationsperiode (Juli.–Sep.)	157	156	182	<b>+17 %</b>	-6% (-17% bis +13%)	-2% (-21% bis +24%)	-5% (-16% bis +15%)	-8% (-42% bis +11%)



Wetterstation DWD © Christian Blumenstein

## Klimatische Wasserbilanz

Für die Wasserverfügbarkeit spielt neben der Niederschlagsmenge die Verdunstung eine entscheidende Rolle. Diese nimmt in Brandenburgs kontinuierlich zu. Mit steigenden Temperaturen erhöht sich die Wassermenge, die die Atmosphäre aufnehmen kann. Dies führt zu einer verstärkten Verdunstung von Wasser aus Oberflächengewässern, Böden und Pflanzen. Eine erhöhte Einstrahlung bewirkt eine Oberflächenerwärmung, die ebenfalls die Verdunstung verstärkt. Die Grasreferenzverdunstung ( $ET_0$ , hier berechnet nach Formel 3.4 in Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall ATV-DVWK 2002) ist ein Maß dafür, wieviel Wasser aus einer durchfeuchteten Wiese aufgrund der Einstrahlung und Temperatur verdunsten könnte. Sie ist also rein von klimatischen Bedingungen abhängig. Die reale Verdunstung hängt dagegen zusätzlich von der Wasserverfügbarkeit und den tatsächlichen Flächeneigenschaften (zum Beispiel Bewuchs) ab. Die Grasreferenzverdunstung ist in Brandenburg seit der Klimareferenzperiode 1961-1990 von 600 Millimeter pro Jahr auf jährlich 638 Millimeter im Zeitraum 1991-2020 angestiegen (Tabelle 5). Ein Anstieg der Verdunstung fand sowohl im Sommer als auch im Winter statt. Die Klimasimulationen zeigen ebenfalls einen Anstieg der Verdunstung an. Dabei fällt auf, dass die bereits beobachteten Änderungen in der jüngeren Vergangenheit teilweise das Mittel der Simulationen für 2031-2060 schon übersteigen. Dies liegt auch an der erhöhten Einstrahlung, den „Brightening Effekt“, also der verringerten Aerosolkonzentration in der Atmosphäre durch verbesserte Luftreinhaltung. Die weitere Entwicklung der Verdunstung bis zum Ende des Jahrhunderts hängt vom Erfolg der Klimaschutzmaßnahmen ab.



Landschaft mit Regen © hiv360/stock.adobe.com

Tabelle 5 Klimakennwerte zur Verdunstung und klimatischen Wasserbilanz für die Region Brandenburg-Berlin als Flächenmittelwerte. Für die 30-Jahres-Perioden der Vergangenheit sind gemessene Werte und die bereits beobachtete Änderung in Prozent beziehungsweise Millimeter angegeben. Die Klimaänderung Mitte (2021–2050) und Ende (2071–2100) des Jahrhunderts zeigt die im Median simulierte Änderung in Prozent beziehungsweise Millimeter des 30-jährigen Mittels gegenüber dem Bezugszeitraum 1971–2000, jeweils für ein Klimaschutzenszenario „2-Grad-Obergrenze“ (RCP 2.6) und ein Szenario „ohne Klimaschutz“ (RCP 8.5). Unter dem Median ist in Klammern die Bandbreite der Simulationen angegeben. Fett gedruckte Änderungen liegen außerhalb des Schwankungsbereichs des Mittelwerts 1971–2000. Daten: DWD und LfU

Kennwerte	Vergangenheit (Messwerte) 30-jähriger Mittelwert				Mitte des Jahrhunderts (Simulationen) Änderung 2031–2060 zu 1971–2000		Ende des Jahrhunderts (Simulationen) Änderung 2071–2100 zu 1971–2000	
	Klima- referenz- periode 1961– 1990 (mm)	Bezugs- zeitraum 1971– 2000 (mm)	Jüngere Vergan- genheit 1991– 2020 (mm)	Änderung 1991– 2020 zu 1971– 2000	RCP 2.6	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 8.5
Verdunstung (ET <sub>0</sub> ) im Jahr	600	606	638	<b>+5 %</b>	<b>+2%</b> (-1% bis +7%)	<b>+4%</b> (+0% bis +19%)	<b>+3%</b> (-1% bis +8%)	<b>+7%</b> (-2% bis +30%)
Verdunstung (ET <sub>0</sub> ) Winterhalbjahr (Okt.–März)	112	114	119	<b>+5 %</b>	<b>+2%</b> (+0% bis +8%)	<b>+5%</b> (+0% bis +15%)	<b>+3%</b> (+1% bis +7%)	<b>+9%</b> (+2% bis +27%)
Verdunstung (ET <sub>0</sub> ) Sommerhalbjahr (Apr.–Sep.)	487	492	519	<b>+6 %</b>	<b>+2%</b> (-2% bis +7%)	<b>+4%</b> (-1% bis +21%)	<b>+3%</b> (-2% bis +8%)	<b>+7%</b> (-3% bis +31%)
Klimatische Wasserbilanz im Jahr	15	0	-4	-3 mm	-2 mm (-62 bis +41)	+7 mm (-125 bis +63)	-3 mm (-61 bis +32)	+4 mm (-230 bis +79)
Klim. Wasserbilanz Winterhalbjahr (Okt.–März)	158	156	163	+6 mm	+5 mm (-20 bis +24)	+14 mm (-20 bis +36)	+2 mm (-36 bis +22)	<b>+26 mm</b> (-15 bis +68)
Klim. Wasserbilanz Sommerhalbjahr (Apr.–Sep.)	-139	-154	-165	-12 mm	-9 mm (-59 bis +35)	-7 mm (-120 bis +48)	-10 mm (-51 bis +29)	-23 mm (-223 bis +37)

Wieviel Wasser zur Verfügung steht, lässt sich gut anhand der klimatischen Wasserbilanz darstellen. Sie ist die Differenz aus Niederschlag und Grasreferenzverdunstung. Für ihre Berechnung wird der Niederschlag auf systematische Messfehler, die zu einer Unterschätzung von Niederschlagsmengen führen, korrigiert.

Der Trend der klimatischen Wasserbilanz ist in den letzten Jahren in Brandenburg, geprägt von der jüngsten Trockenphase 2018-2022, deutlich abfallend. Ohne Klimaschutzmaßnahmen wäre die Ungewissheit enorm, vor allem über mögliche drastische zukünftige Abnahmen der klimatischen Wasserbilanz. Dagegen zeigen die Klimasimulationen keine wesentliche Zunahme der Bandbreite, wenn die Ziele des Pariser Klimaschutzabkommens eingehalten werden (Abbildung 13). Im Sommerhalbjahr ist die klimatische Wasserbilanz durch die starke Verdunstung negativ. Dies hat gegenüber der Referenzperiode tendenziell abgenommen. Im Winterhalbjahr ist die klimatische Wasserbilanz positiv. Sie zeigte in der Vergangenheit eine positive Tendenz. Ohne Klimaschutzmaßnahmen würden sich diese Entwicklungen bis Ende des Jahrhunderts gemäß dem Mittel der Klimaprojektionen ver-

stärken und die Unsicherheit über drastische Verschärfungen wären enorm. Werden die Klimaschutzziele eingehalten, stabilisiert sich die klimatische Wasserbilanz in Sommer- und Winterhalbjahr gemäß dem Mittel der Klimasimulationen auf dem gegenwärtigen Niveau. Die Bandbreite möglicher Änderungen wird dadurch stark reduziert (Tabelle 5).

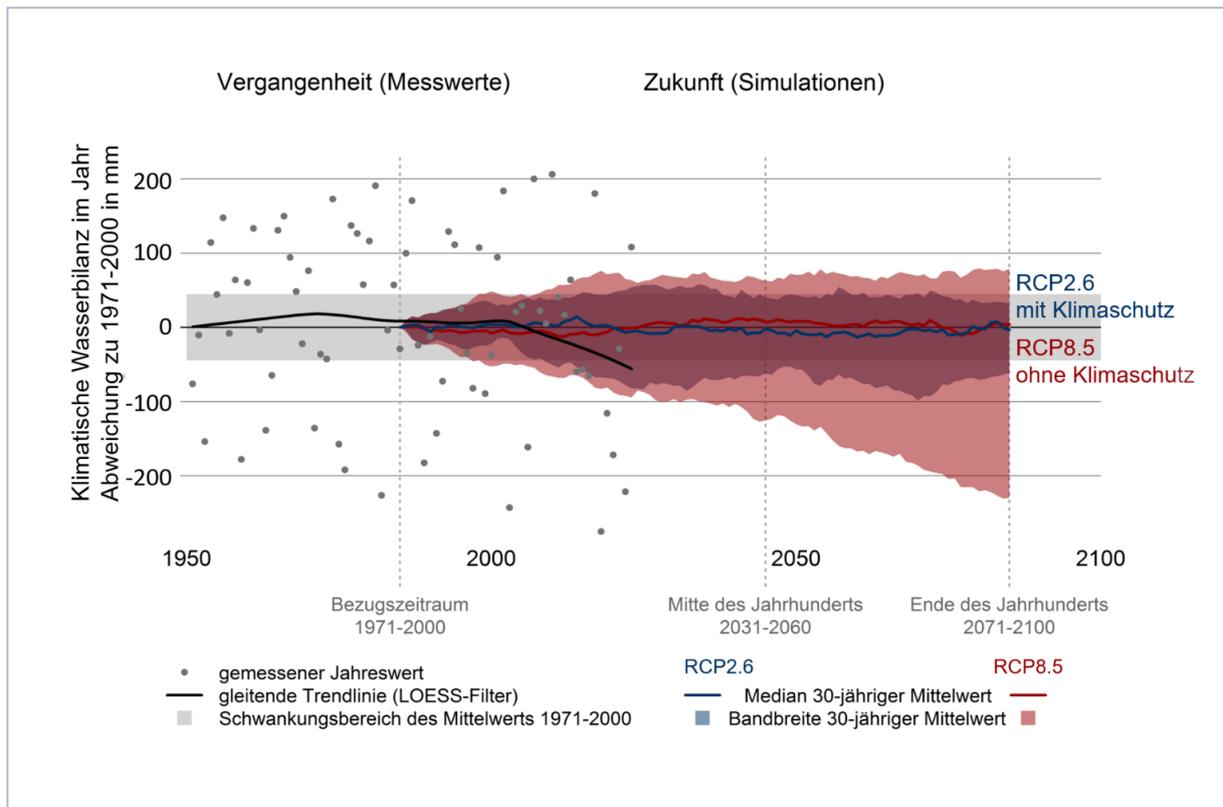


Abbildung 13 Abweichung der aus Beobachtungsdaten errechneten jährlichen klimatischen Wasserbilanz (graue Punkte) und der gleitenden Trendlinie (schwarz) der Messwerte zwischen 1951 und 2023 gegenüber dem Bezugszeitraum der Klimasimulationen 1971-2000. Die 30-jährigen Mittelwerte der Simulationen zeigen die beiden Verläufe „ohne Klimaschutz“ (rot, Szenario RCP 8.5) und gemäß „2-Grad-Obergrenze“ (blau, Szenario RCP 2.6). Als Klimaänderung gegenüber dem Bezugszeitraum wird eine Abweichung erst interpretiert, wenn sie außerhalb des Schwankungsbereichs des 30-jährigen Mittelwerts 1971-2000 (grauer Balken) liegt. Daten: DWD, E-OBS und LfU

## Starkregen

Unterschieden werden flächendeckender Dauerregen sowie kleinräumiger, kurzer, aber heftiger Konvektionsregen. Dieser entsteht durch aufsteigende, warme Luftmassen, die in Bodennähe erwärmt wurden. Häufig wird Starkregen von Gewittern begleitet. Die Erderwärmung führt vermehrt und bereits früher im Jahr und vor allem mit größerer Intensität zu solchen Wetterereignissen. Im Allgemeinen nehmen Extremniederschläge mit der Aufnahmekapazität von Wasserdampf in der Luft um 7 Prozent pro Grad Celsius Temperaturerhöhung zu (Clausius-Clapeyron Rate). Für kurze, konvektive Extremereignisse kann die Zunahme sogar noch stärker sein. Dies lässt sich durch erhöhte Aufstiegsgeschwindigkeiten und verstärkte Wolkenentwicklung erklären<sup>40</sup>.

<sup>40</sup> Fowler et al. 2021

Während die langfristige durchschnittliche Regenmenge in Brandenburg keinen eindeutigen Trend zeigt, steigen die Starkregenereignisse bereits erkennbar an. Die Tage, an denen mehr als 30 Millimeter Niederschlag fällt, haben im Schnitt in Brandenburg in den letzten Jahrzehnten zugenommen (Abbildung 14). Die Klimasimulationen zeigen, dass es vor allem bei fortschreitender Erderwärmung in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts zu einer weiteren Zunahme kommen könnte.

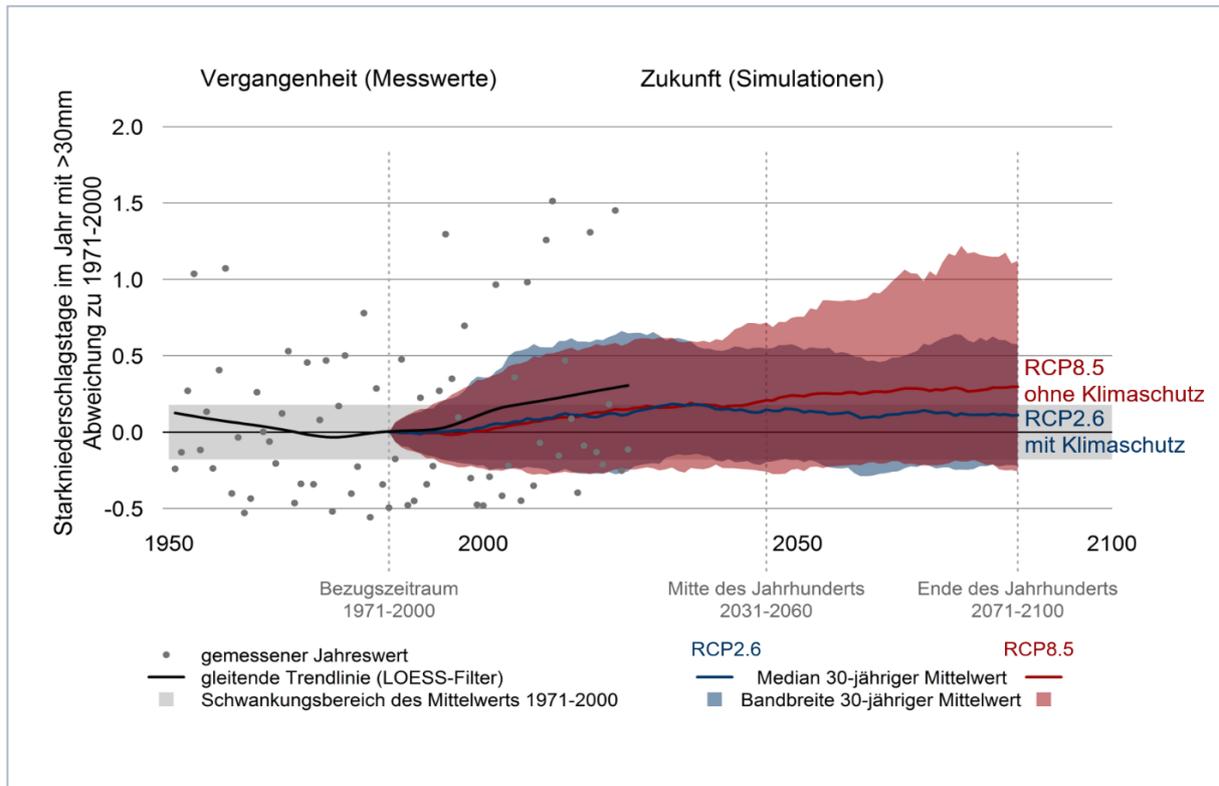


Abbildung 14 Abweichung der beobachteten jährlichen Anzahl der Starkniederschlagstage mit über 30 Millimeter (graue Punkte) und der gleitenden Trendlinie (schwarz) der Messwerte von 1951 bis 2023 gegenüber dem Bezugszeitraum der Klimasimulationen 1971-2000. Die 30-jährigen Mittelwerte der Simulationen zeigen die beiden Verläufe „ohne Klimaschutz“ (rot, Szenario RCP 8.5) und gemäß „2-Grad-Obergrenze“ (blau, Szenario RCP 2.6). Als Klimaänderung gegenüber dem Bezugszeitraum wird eine Abweichung erst interpretiert, wenn sie außerhalb des Schwankungsbereichs des 30-jährigen Mittelwerts 1971-2000 (grauer Balken) liegt. Daten: DWD und LfU

Die Abschätzung der zukünftigen Entwicklungen von Starkregen auf der Grundlage von Simulationen unterliegt aktuell noch einigen Modellierungsschwächen. So liegen bisher nur Tagesdaten vor und es lässt sich nicht unterscheiden, ob die Niederschlagsmenge innerhalb einer Stunde oder über den Tag verteilt fällt. Für die Auswirkungen macht dies jedoch einen entscheidenden Unterschied. Hinzu kommt, dass die Simulationen aufgrund ihrer räumlichen Auflösung konvektive Ereignisse nicht abbilden können. Dies ändert sich mit der nächsten Modellgeneration.

Um räumliche Datenlücken zwischen den Niederschlagsstationen aufzufüllen, hat der Deutsche Wetterdienst seit dem Jahr 2001 ein flächendeckendes Radarniederschlagsmessnetz aufgebaut<sup>41</sup>. Es erfasst jeden Niederschlag in seiner Intensität und Ausdehnung. So können auch konvektive Gewitterregen aufgezeichnet werden, die häufig sehr lokal fallen und selten eine der 98 Brandenburger Regenmessstationen treffen.

Bei Starkregen kommt es sowohl auf die Niederschlagsmenge als auch auf die Zeitdauer des Ereignisses (Dauerstufe) an. So warnt der Deutsche Wetterdienst ab 25 Millimeter innerhalb einer Stunde

<sup>41</sup> DWD 2024b

oder ab 35 Millimeter innerhalb von sechs Stunden vor heftigem Starkregen auf der Unwetterwarnstufe 3. Im Ereigniskatalog CatRaRe des DWD sind alle Starkregenereignisse mit Überschreitung der DWD-Warnstufe 3 für Unwetter für Dauerstufen von einer Stunde bis zu drei Tagen gelistet<sup>42</sup>. Die innerhalb dieser Ereignisse gefallene Niederschlagsmenge und ihr Anteil am Gesamtniederschlag ist über die letzten 23 Jahre tendenziell angestiegen (Abbildung 15). Der Zeitraum ist allerdings noch zu kurz und die Variabilität zu hoch, um einen langfristigen Trend von möglichen dekadischen Klimaschwankungen zu unterscheiden.

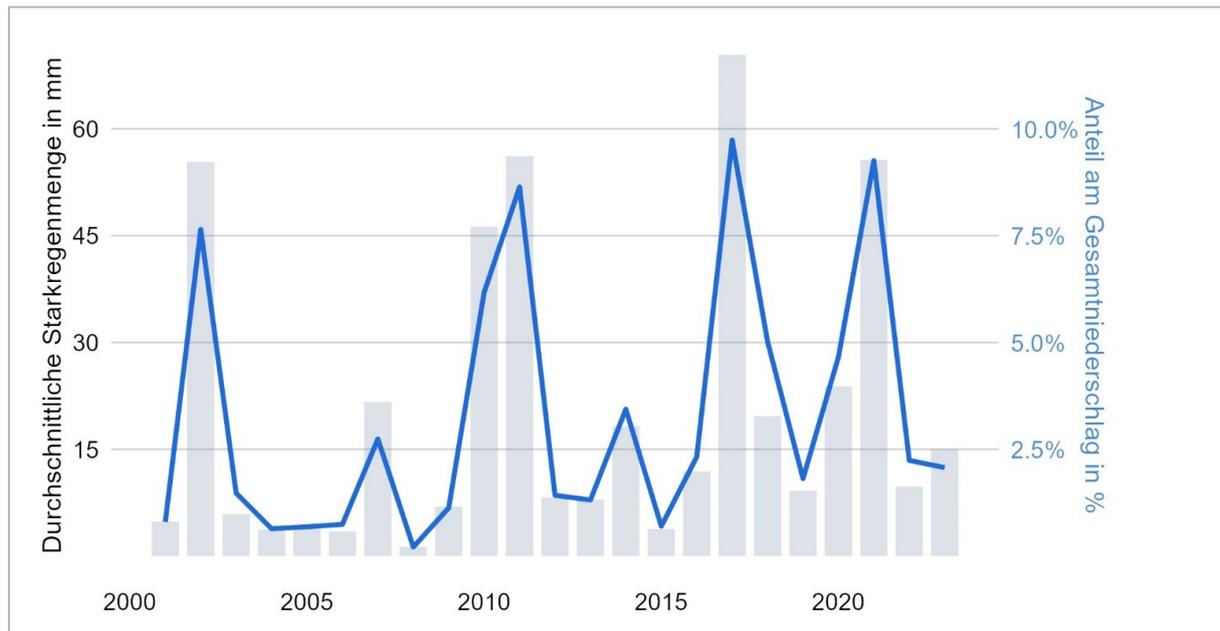


Abbildung 15 Während Starkregenereignissen mit Überschreitung der DWD-Warnstufe 3 für Unwetter gefallener Niederschlag in Brandenburg in den Jahren 2001 bis 2023 als Durchschnitt über die Landesfläche (linke Achse) und als Anteil am jährlichen Gesamtniederschlag (rechte Achse). Daten: Berechnet aus Lengfeld et al. (2024)

Beim Starkregenindex (SRI)<sup>43</sup> werden Starkregenereignisse anhand der Regenmenge und Dauerstufe einer ortsabhängigen Wiederkehrzeit und damit einer Starkregenategorie zugeordnet. Die Wiederkehrzeit weist aus, in welchem Jahresabstand ein derartiges Ereignis zu erwarten ist. Abbildung 16 zeigt, welcher Anteil der Starkregenereignisse mit Überschreitung der DWD-Warnstufe 3 für Unwetter den verschiedenen Starkregenategorien zugeordnet werden (Zuordnung nach maximaler Intensität). Im Zeitraum von 2012 bis 2023 war der Anteil außergewöhnlicher und extremer Ereignisse gegenüber dem früheren Zeitraum von 2001 bis 2011 leicht erhöht. Auch diese Betrachtungszeiträume sind zu kurz, um einen Trend abzuleiten.

Die bisherige Zeitreihe der Radarniederschlagsklimatologie reicht noch nicht für Aussagen über Klimaveränderungen aus, dient aber als ergänzendes Indiz für bereits zunehmende Starkregenereignisse. Die physikalischen Hintergründe und die Klimasimulationen legen eine weitere Intensivierung des Niederschlagsgeschehens nahe.

<sup>42</sup> Lengfeld et al. 2024

<sup>43</sup> Schmitt et al. 2018

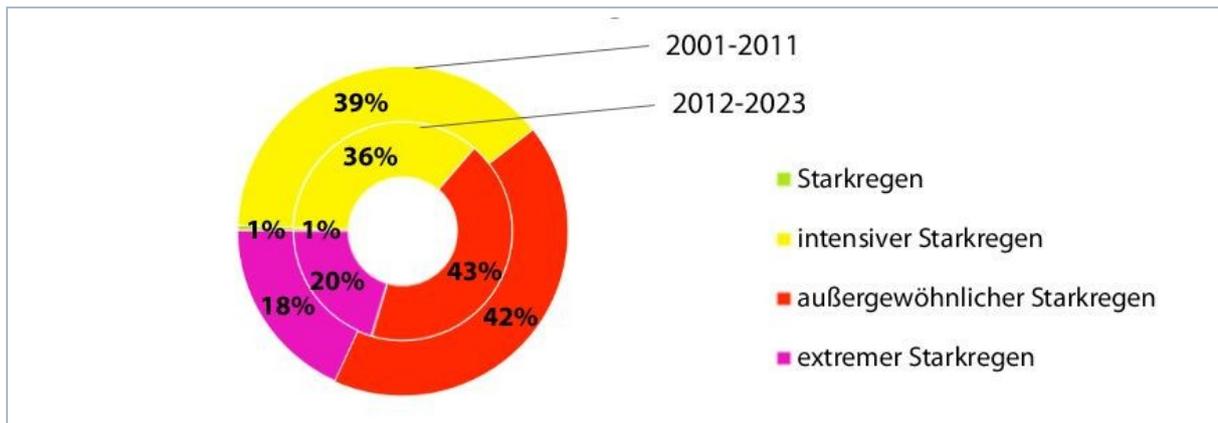


Abbildung 16 Anteil von Ereignissen in den vier Kategorien des Starkregenindex in den Zeiträumen 2001-2011 und 2012-2023. Eingegangen sind Ereignisse mit Intensitätsmaximum in Brandenburg, die die Warnstufe 3 für Unwetter überschreiten (verändert nach CatRaRe-Dashboard, Daten: Lengfeld et al. (2024), Kategorien: Schmitt et al. (2018)).

Dabei sind Extremereignisse nicht an Geländestrukturen gekoppelt und können jedes Gebiet treffen. Aufgrund seiner Topographie sind in Brandenburg weniger reißende Sturzfluten zu erwarten als in den Mittelgebirgen. Unterspülungen, durchflossene Straßen und tagelange Überflutungen wie im Jahr 2017 in Leegebruch können aber ebenso enormen Schaden anrichten. Deshalb gewinnt die Starkregenrisikovorsorge an Bedeutung und wird seit dem Jahr 2023 in Brandenburg gefördert<sup>44</sup>. Zusätzlich gibt es vom Bundesamt für Kartografie und Geodäsie seit Herbst 2024 eine Hinweiskarte Starkregengefahren für ganz Brandenburg. Anhand dieser Karte können potenzielle Gefährdungsbereiche für tiefergehende Analysen für vorsorgende Umsetzungsmaßnahmen identifiziert werden. Geplante Bauprojekte in Gefahrenzonen können so besser vermieden werden.



Regentropfen © Riocool/stock.adobe.com

<sup>44</sup> MLUK 2024c

## Dürre

Wenn ein steigender Anteil des Niederschlags als Starkregen fällt, bedeutet das auch, dass zwischen den Starkregenereignissen weniger Regen fällt. Trockenphasen können häufiger auftreten und länger anhalten, da sich der Niederschlag mehr auf einzelne Extremereignisse konzentriert. In dem Zeitraum von 2015 bis 2023 trat in großen Teilen Brandenburgs Dürre während der Vegetationsperiode auf. Die Dürreperiode war beispiellos seit mindestens einem dreiviertel Jahrhundert, also über den gesamten Zeitraum, für den die Dürremodellierung des UFZ-Dürremonitors<sup>45</sup> vorliegt (Abbildung 17).

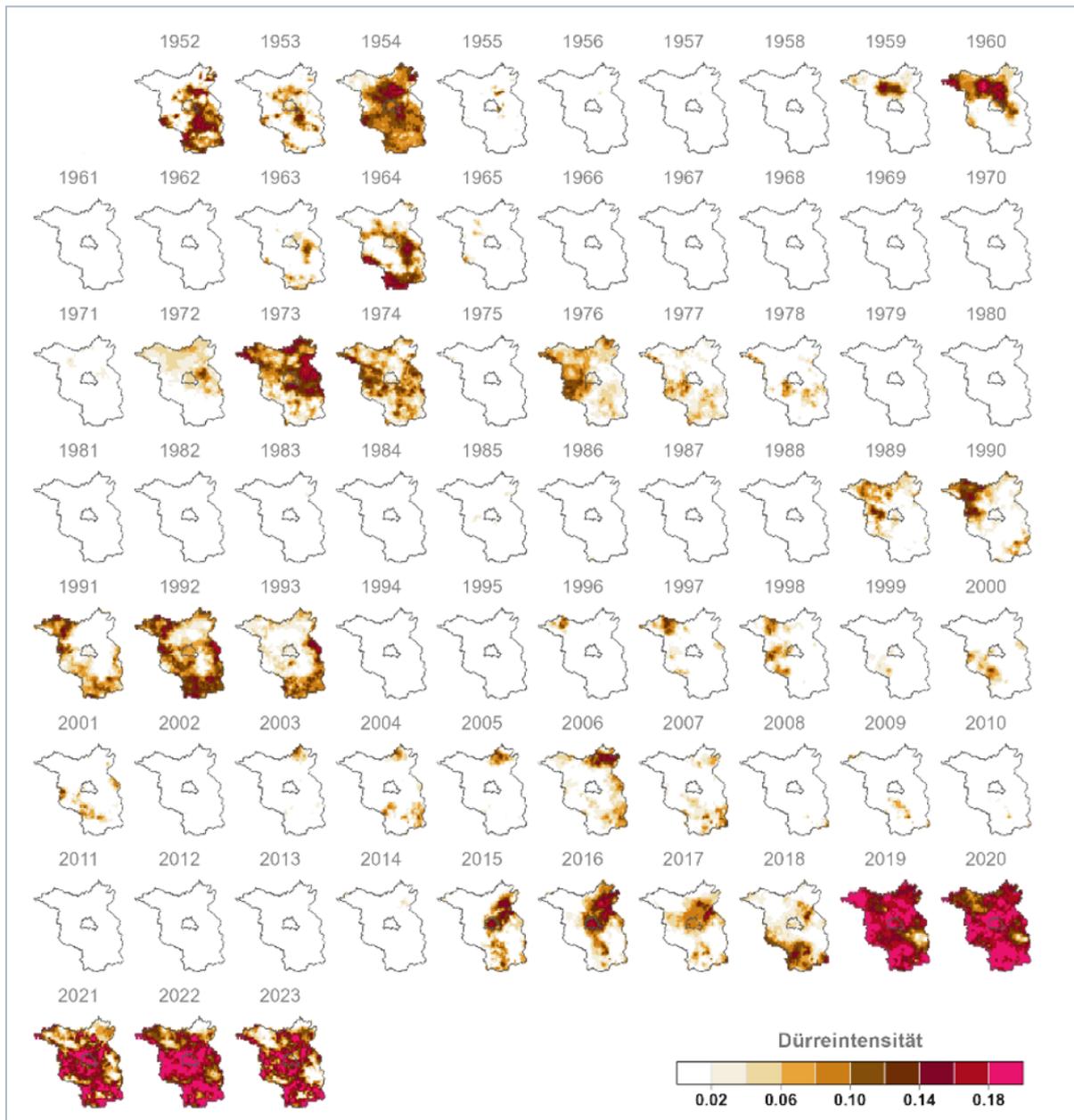


Abbildung 17 Dürreintensität in der Vegetationsperiode (April-September) für die Jahre 1952-2023 im Gesamtboden (Tiefe variable, im Mittel 180 Zentimeter). Die Dürreintensität ist ein dimensionsloses Maß, in das die Länge der Dürreperiode und die absolute Trockenheit im zeitlichen Verlauf, normiert über die Länge der Vegetationsperiode, eingeht. Der Maximalwert der Dürreintensität beträgt 0,2. Daten: UFZ-Dürremonitor, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung

<sup>45</sup> UFZ 2024

In Brandenburg fielen in den letzten Jahrzehnten vor allem die Frühjahrsniederschläge zu gering aus. Sie spielen eine wichtige Rolle für die landwirtschaftlichen Erträge, da sie in der entscheidenden Phase des Wachstumszyklus die Wurzelentwicklung unterstützen und die Aufnahme von Nährstoffen aus dem Boden fördern.

Extreme Trockenheit verursachte mit Abstand die größten Ertragsverluste von allen Extremwetterlagen in den Jahren 1995-2019. Sowohl Frühjahrs- als Sommertrockenheit führten in Brandenburg zu Ertragsverlusten von Winterweizen im Wert von jährlich bis zu 30 Euro pro Hektar im Zeitraum von 1995 bis 2019. Im Extremjahr 2018 lagen die Ertragsverluste um ein Vielfaches höher. Durch die extreme Frühjahrs-trockenheit in Brandenburg betrug sie teilweise über 60 Euro pro Hektar und im selben Jahr durch die anschließende extreme Sommertrockenheit in vielen Teilen zusätzlich über 90 Euro pro Hektar (Abbildung 18).

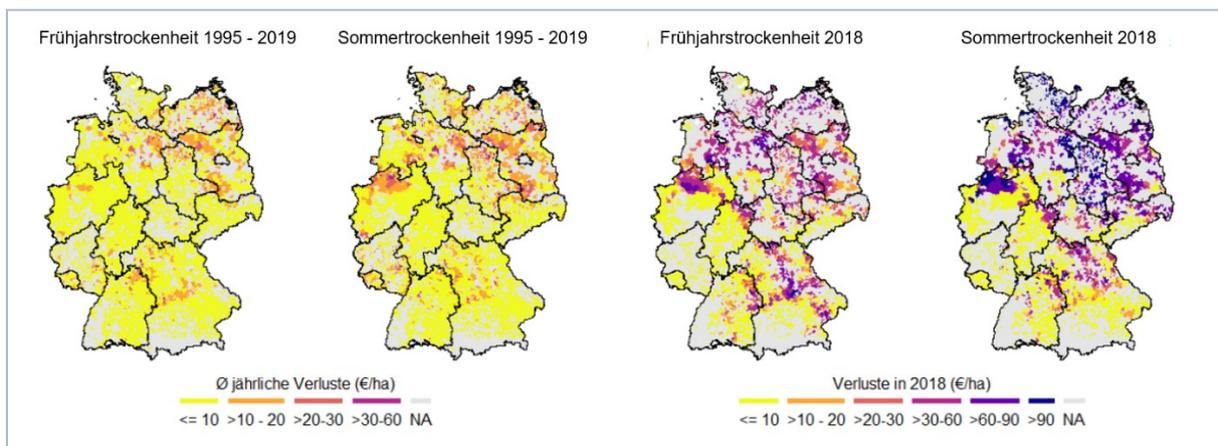


Abbildung 18 Ertragsverluste durch extreme Trockenheit im Frühjahr und Sommer bei Winterweizen im Schnitt über die Jahre 1995-2019 und im Extremjahr 2018 (Darstellung aus Söder et al. 2022)



Dürre-geschädigter Mais bei Strehla, © Rainer Schlep-phorst

# Beispiele für Auswirkungen in Brandenburg



Niedriger Wasserstand Elsensee, © Michael Hupfer

## Wasserhaushalt

Der gesamte Wasserhaushalt Brandenburgs ist durch menschliche Eingriffe überprägt. So sind zirka 80 Prozent des Gewässernetzes künstlich angelegt. Teilweise unterstützt durch den Betrieb von Schöpfwerken führt dies zu einer Verschiebung des Landschaftswasserhaushalts zugunsten des Abflusses und zulasten der Speicherung in der Landschaft und der Grundwasserneubildung. Grundwasserentnahmen sowie das Begradigen und Tieferlegen natürlicher Fließgewässer verstärken diese Wirkung.

Infolge des Klimawandels verringert sich die klimatische Wasserbilanz im Land Brandenburg wahrscheinlich, da durch die steigende Temperatur und Globalstrahlung die Verdunstung zunimmt. Der Anteil des Starkregens nimmt ebenfalls zu. Dieser fließt vermehrt in direkten, kurzfristigen Abflussspitzen ab und steht weniger der Versickerung und Grundwasserneubildung zur Verfügung.

Das Zusammenspiel dieser klimatischen Faktoren mit Landnutzungseingriffen führt schon seit Jahrzehnten zu sinkenden Grund- und Seewasserspiegeln. Infolge dessen gehen auch die Abflüsse zurück, insbesondere die Niedrigwasserabflüsse. Die jüngste Trockenphase in den Jahren 2018 bis 2023 zeigte teils erschreckende Auswirkungen mit ausgetrockneten Oberläufen und Seen. Zusätzlich steigt der Bewässerungsbedarf, vor allem in Trockenwettersituationen. So stiegen die Entnahmen zur Bewässerung aus dem Grundwasser in den trockenen Jahren von 8,3 Millionen Kubikmeter im Jahr 2003 auf bis zu 24,3 Millionen Kubikmeter im Jahr 2018<sup>46</sup>.

Die seit 2002 laufenden Bemühungen zur Stabilisierung des Landschaftswasserhaushalts<sup>47</sup> werden intensiviert, um den Risiken des fortschreitenden Klimawandels entgegenzuwirken<sup>48</sup>.



Niedriger Wasserstand Seddiner See, © Björn Grüneberg

---

<sup>46</sup> MLUK 2021

<sup>47</sup> MLUK 2024d

<sup>48</sup> MLUK 2022a

## Grundwasser

Um auch zukünftig ein ausreichendes Grundwasserdargebot zu sichern, muss auch weiterhin das Grundwasser flächendeckend hinsichtlich Menge und Güte geschützt und die Grundwasserneubildung verstärkt gefördert werden.

In den Hochflächen, zum Beispiel in der Prignitz, in Teltow, im Barnim und im Fläming, sind langjährig und großräumig fallende Grundwasserstände zu verzeichnen (Abbildung 19). Dies sind die Grundwasserneubildungsgebiete, aus denen das Wasser unterirdisch in die Entlastungsgebiete mit der entsprechenden Vorflut fließt. Aufgrund dieser unterirdischen Wasserbewegung überwiegen in den Urstromtälern und Niederungen gleichbleibende Grundwasserstände ohne Trend. Lokal fallende Trends südwestlich des Stadtgebiets von Berlin sind teilweise durch die Einstellung der Bewirtschaftung der Rieselfelder verursacht. Die wenigen Bereiche mit steigenden Trends gehen auf lokale Einflussnahmen wie den Wiederanstieg des Grundwasserspiegels in Braunkohlegebieten oder die verminderte Grundwasserförderung an Wasserwerksstandorten zurück<sup>49</sup>.

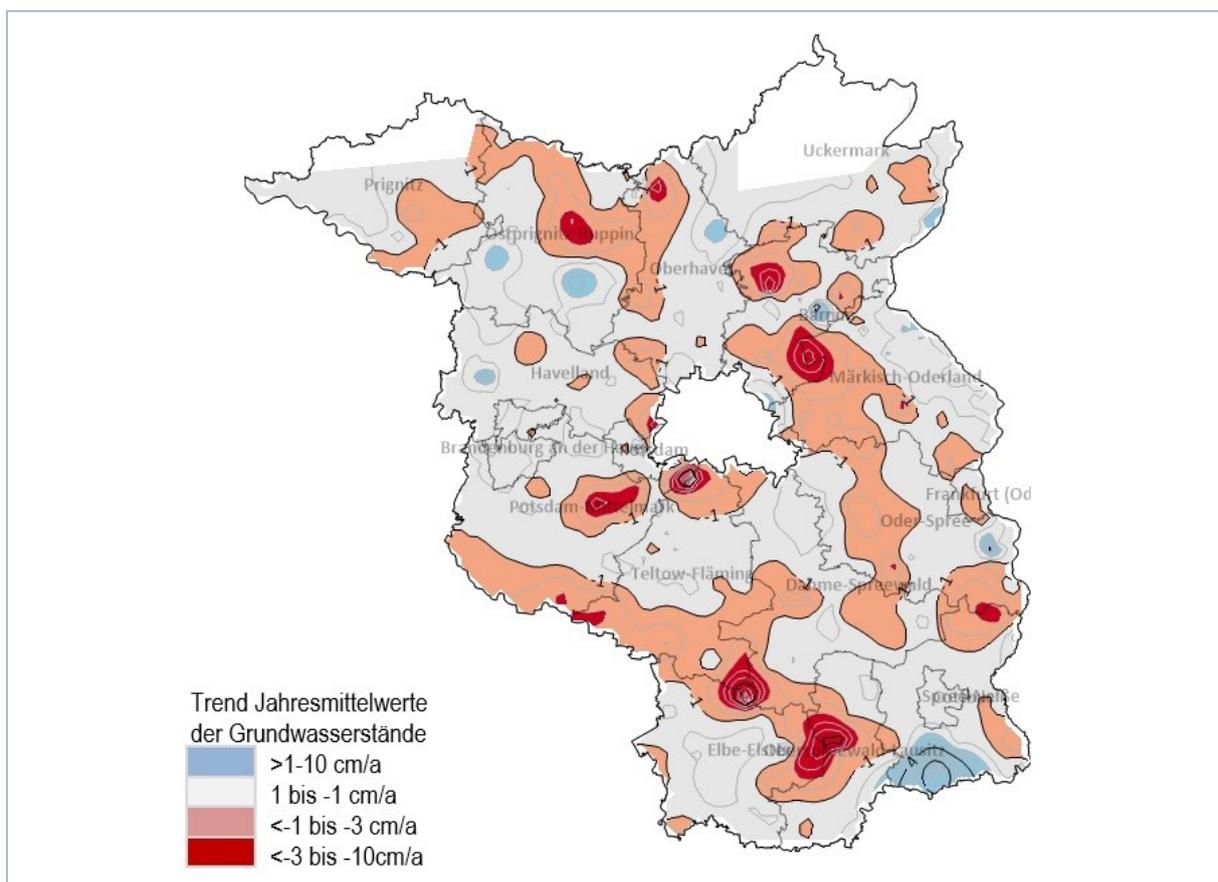


Abbildung 19 Trend der Jahresmittelwerte der Grundwasserstände der oberen Grundwasserleiter in cm/a für die Zeitreihe 1976-2020 (lineare Regression). Interpolation von 1.250 Grundwasserpegeln mit Messwerten aus Zeitreihen über mindestens 30 Jahre. In Teilen der Landkreise Uckermark und Prignitz sind zu wenig lange Zeitreihen für eine Bewertung vorhanden (weiße Flächen) (LfU, W12).

Die Ursache der fallenden Grundwasserstände in den Bildungsgebieten ist Gegenstand der aktuellen wissenschaftlichen Diskussion. Auffällig ist, dass vor allem die Grundwasserpegel mit großen

<sup>49</sup> MLUK 2022b

Flurabständen unter bindigen Böden langfristig fallende Trends zeigen<sup>50</sup>. Neben den Klimaänderungen wie steigender potenzieller Verdunstung und veränderter Niederschlagsvariabilität sind landnutzungsbedingte Eingriffe in den Wasserhaushalt ein wichtiger Faktor. Drainagen, Gräben und die Entwässerung von Binneneinzugsgebieten auf den Hochflächen wurden im Zuge der Melioration in den 1960er bis 1980er Jahren verstärkt landesweit durchgeführt und führen zu verringerten Sickerwasserraten. Auch Grundwasserentnahmen verursachen sinkende Grundwasserstände.

Um die Auswirkungen des zu erwartenden Klimawandels auf die zukünftige Grundwasserneubildung abzuschätzen, wurden sechs Klimasimulationen aus dem brandenburgischen Klimaprojektionsensemble für das Emissionsszenario RCP 8.5 (siehe Kapitel 1 Szenarien) als Klimaantrieb für ein Wasserhaushaltsmodell<sup>51</sup> verwendet. Die sechs Simulationen wurden so ausgewählt, dass die Bandbreite der Temperatur- und Niederschlagsveränderungen des Brandenburg-Ensembles bis Ende des Jahrhunderts weitgehend vertreten ist. Im Mittel kommen die Modellläufe mit Klimasimulationsantrieb zum Ergebnis einer etwa 30-prozentigen Abnahme der Grundwasserneubildung als Bilanzgröße bis Mitte und Ende des Jahrhunderts gegenüber dem Zeitraum 1991 bis 2020 (Abbildung 20a). Bei reiner Betrachtung der Bildungsgebiete mit positiver Grundwasserneubildung zeigen die Klimasimulationen im Mittel eine Abnahme der Grundwasserneubildung um zirka 20 Prozent gegenüber dem Zeitraum 1991 bis 2020 bis Mitte und Ende des Jahrhunderts (Abbildung 20b). In den grundwassernahen Niederungen und Gewässerflächen mit negativer Grundwasserneubildung (Zehrungsgebiete) wird im Mittel der Klimasimulationen eine weitere Abnahme der Grundwasserneubildung, also Zunahme der Zehrung, gegenüber den Jahren 1991 bis 2020 um zirka 30 Prozent bis Mitte und rund 60 Prozent bis Ende des Jahrhunderts erwartet (Abbildung 20c).

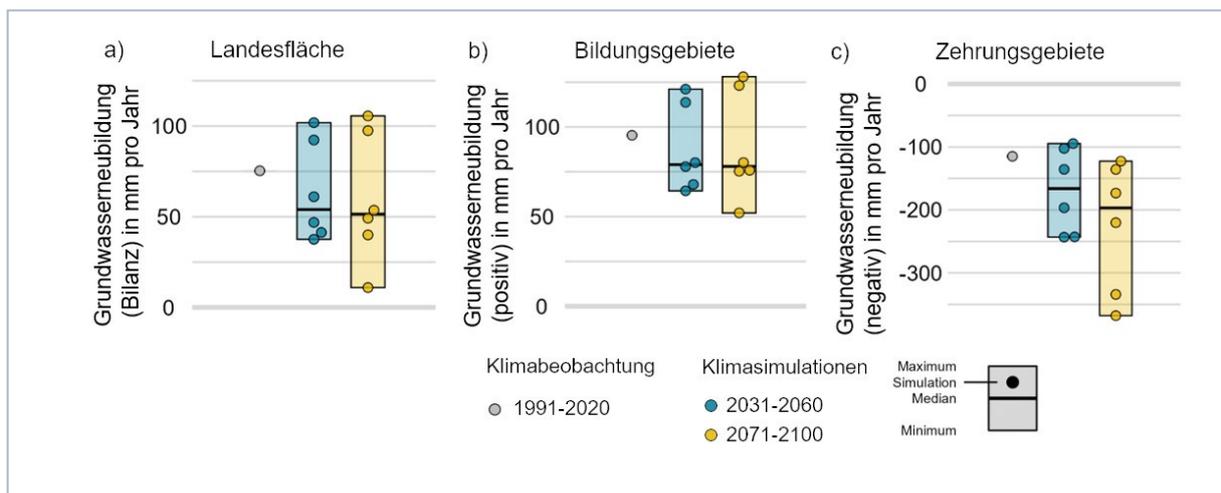


Abbildung 20 Ergebnisse des Wasserhaushaltsmodells mit unterschiedlichen Klimaantrieben aus Klimabeobachtungsdaten und Klimasimulationen für die landesweite Grundwasserneubildung als a) Bilanzgröße auf der Landesfläche, b) in Bildungsgebieten mit positiver Grundwasserneubildung und c) in Zehrungsgebieten mit negativer Grundwasserneubildung im Mittel der Jahre 1971 bis 2000.

Die starke zukünftige Abnahme der Grundwasserneubildung in den Niederungen und Gewässerflächen im Mittel der Klimasimulationen bis Mitte des Jahrhunderts wird in Abbildung 21 verdeutlicht. Auffällig ist die große Spannbreite der Modellierungsergebnisse aus den sechs Klimasimulationen. Da in Brandenburg der Großteil des Niederschlags wieder verdunstet, ist die Grundwasserneubildung klimatisch bedingt grundsätzlich gering und reagiert sehr sensitiv auf Niederschlagsänderungen. In der trockensten Klimasimulation genügt eine Niederschlagsabnahme um 15 Prozent, um die

<sup>50</sup> Lischeid et al. 2021

<sup>51</sup> Büro für Angewandte Hydrologie (BAH), 2022

Grundwasserneubildung in der Bilanz über die gesamte Landesfläche um 86 Prozent und in den Bildungsgebieten um 46 Prozent zu verringern. In der niederschlagsreichsten Klimasimulation führt eine Niederschlagszunahme von 11 Prozent zu einer Erhöhung der Grundwasserneubildung um 40 Prozent in der Bilanz und um 34 Prozent in den Bildungsgebieten.

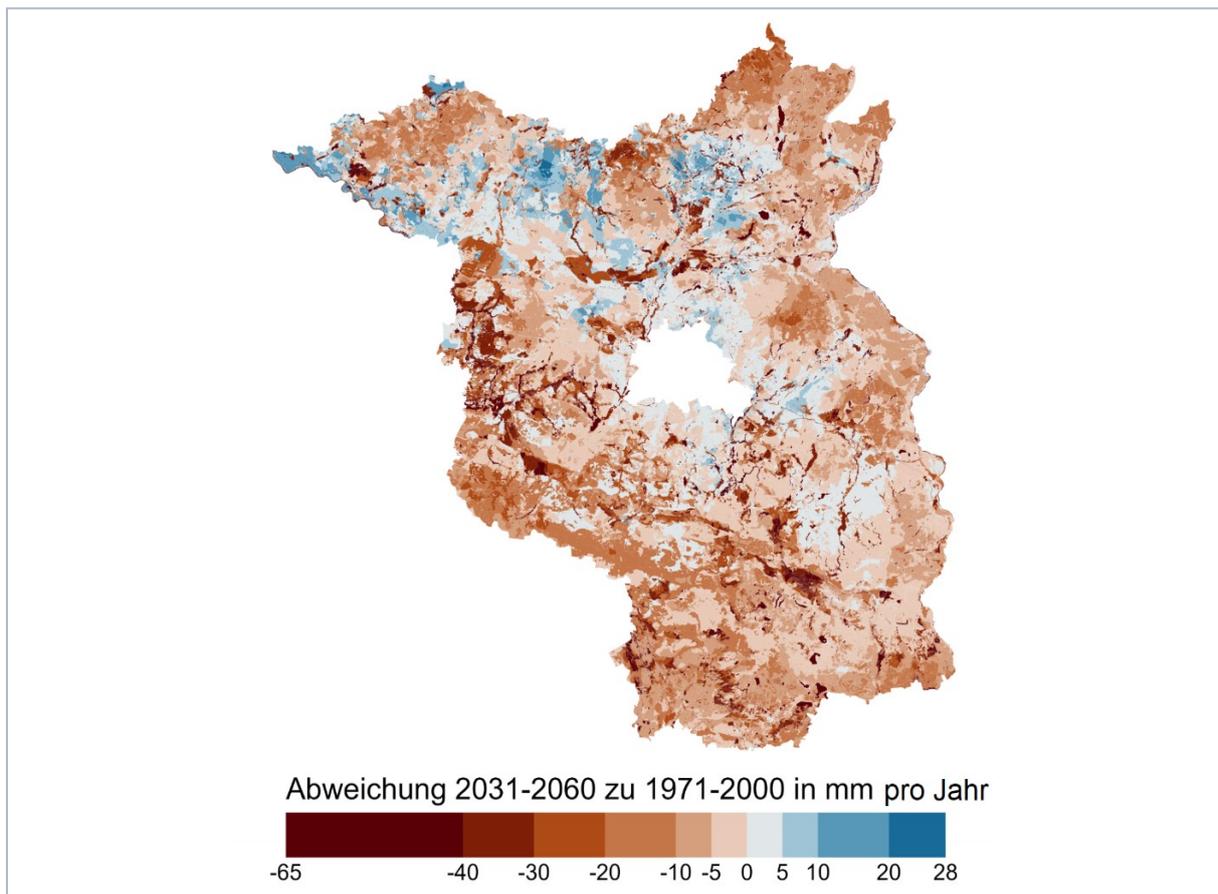


Abbildung 21 Änderung der Grundwasserneubildung bis Mitte des Jahrhunderts im Vergleich zum Zeitraum 1991 bis 2020 im Mittel der sechs Klimasimulationen als Antrieb des Wasserhaushaltsmodells.

Bei der Klimaanpassung muss, aufbauend auf den Empfehlungen der Bund-Länder-Fachgespräche zur Klimamodellierung und Klimaanpassung, zusätzlich zu den Beobachtungen der Vergangenheit stets die Bandbreite der Szenarienergebnisse vorsorglich berücksichtigt werden<sup>52</sup>. Für Anpassungsmaßnahmen mit Zielkonflikten, beispielweise Entnahmeregelungen oder Umstellung der Landnutzung, muss jedoch entschieden werden, ob sich das Land an ein optimistischeres oder pessimistischeres Szenario innerhalb der Bandbreite anpasst. Hier wird aufgrund des Wertes des gefährdeten Schutzguts, zum Beispiel Trinkwasserverfügbarkeit, sowie der negativen Auswirkungen bei unzureichender beziehungsweise übermäßiger Anpassung zu entscheiden sein. Insbesondere bei hohem Schadenspotenzial und bei Extremereignissen wie Trockenphasen sollte das Szenario mit den ungünstigsten Änderungen als Planungsgrundlage angenommen werden. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, mit welchen Folgekosten eine gegebenenfalls nötige Nachjustierung der Maßnahme verbunden wäre.

Möglicherweise setzt sich die im Niederschlag bereits beobachtete Zunahme der Variabilität fort, sodass sich in Zukunft immer längere und intensivere Trockenphasen mit Dauerregen und Starknie-

<sup>52</sup> BLFG KA 2024

derschlägen abwechseln. Angesichts dieser zukünftigen zusätzlichen Gefährdung durch den Klimawandel steht Brandenburg vor der Herausforderung, den seit Jahrhunderten stark durch menschliche Eingriffe beeinträchtigten Landschaftswasserhaushalt zu stabilisieren.

Der Wasserrückhalt in der Landschaft, vor allem in den Bildungsgebieten der Hochflächen, muss gestärkt werden. Übermäßige Entwässerungsgräben und Drainagen müssen zurückgebaut werden. An verbleibenden Gräben müssen die Stauanlagen ertüchtigt werden. Zusätzlich müssen in hydrogeologisch geeigneten Gebieten gezielt Maßnahmen zur Förderung der Grundwasserneubildung, wie beispielsweise Versickerungsflächen, vorangetrieben werden. Dies kann nur gelingen, wenn Nachhaltigkeit und Nutzungsverträglichkeit zusammen mitgedacht werden.

## Abfluss

Die Abflüsse im Land Brandenburg zeigen langfristig abnehmende Trends<sup>53</sup>. Da der Abfluss in Brandenburg bei Mittel- und Niedrigwasserverhältnissen überwiegend aus Grundwasser gespeist wird, sinken mit den Grundwasserständen auch die Abflüsse der Fließgewässer. Der Zusammenhang zwischen der Füllung des Grundwasserleiters und den mittleren Abflüssen ist in Abbildung 22 beispielhaft für die Nuthe dargestellt<sup>54</sup>.

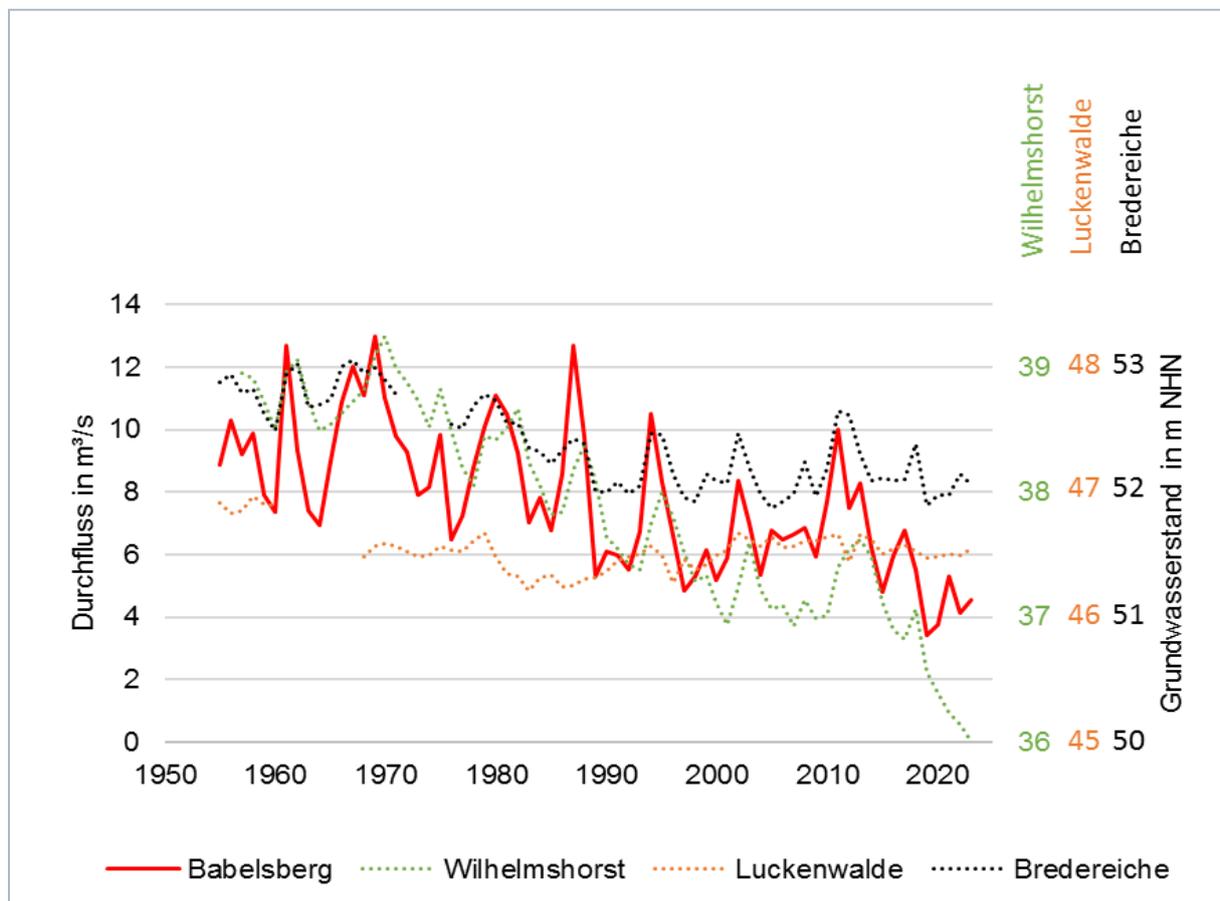


Abbildung 22 Jährlicher mittlerer Durchfluss am Pegel Babelsberg-Drewitz (Nuthe) im Vergleich zur Entwicklung der Jahresmittelwerte des Grundwasserstandes an den Messstellen Wilhelmshorst (Messstellenkennzahl (MKZ) 36441980) und Luckenwalde Stadtbad (MKZ 39441178), jeweils im Einzugsgebiet der Nuthe sowie der Messstelle Bredereiche (MKZ 28453495) im Norden von Brandenburg liegend. Darstellung verändert nach LfU W12 2021

<sup>53</sup> LfU 2016b, MLUK 2022

<sup>54</sup> LfU 2021

Die meisten Abflüsse an den Pegeln in Brandenburg sind stark durch menschliche Eingriffe im Oberlauf geprägt, die eine Zeitreihenanalyse erschweren. Die Datenreihe des mittleren Abflusses der Nuthe am Pegel Babelsberg-Drewitz (1954-2020) wurde jedoch für eine Trendanalyse als geeignet eingestuft. Der abnehmende Trend der Abflusspende von -1,3 Millimeter pro Jahr ist sowohl im Sommer- als auch im Winterhalbjahr hochsignifikant<sup>55</sup>.

Die Ergebnisse des Wasserhaushaltsmodells aus den Klimasimulationen zeigen, dass durch die Auswirkungen des Klimawandels in Zukunft noch deutlich gravierendere Niedrigwasserereignisse auftreten könnten. Dies verdeutlichen die mittleren Niedrigwasserabflüsse (MNQ) als 30-jährige Mittelwerte der jährlichen Niedrigwasserabflüsse für fünf Pegel in Brandenburg (Abbildung 23). Im Mittel der Klimasimulationen kommt es an den Pegeln zu teilweise starken Abnahmen des MNQ bis Mitte und Ende des Jahrhunderts im Vergleich zum Zeitraum 1991 bis 2020. Die extreme Bandbreite zwischen den sechs Klimasimulationen verdeutlicht, wie sensibel der Niedrigwasserabfluss auf klimatische Änderungen reagiert. Die Interpretation und der Umgang mit dieser Bandbreite wurde bereits bezüglich der Grundwasserneubildung diskutiert (siehe vorheriger Abschnitt) und ist übertragbar, da sich der Niedrigwasserabfluss ausschließlich aus Grundwasser speist.

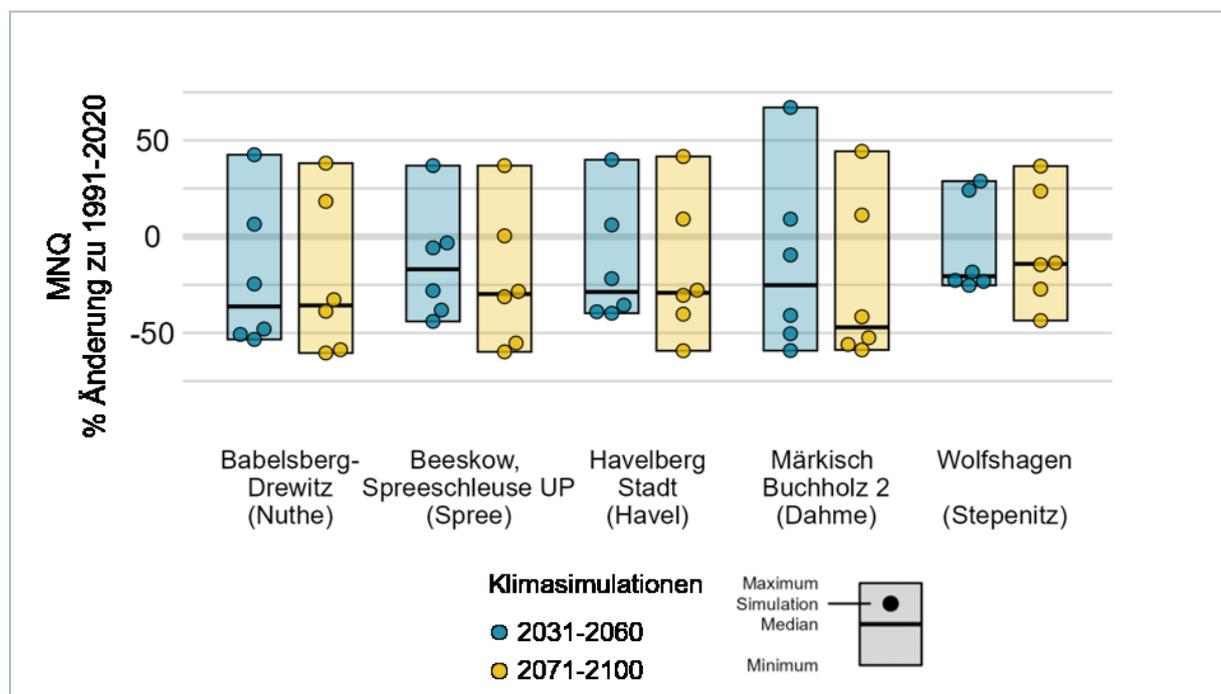


Abbildung 23 Ergebnisse des durch Klimasimulationen angetriebenen Wasserhaushaltsmodells für die Veränderung des mittleren Niedrigwasserabflusses (MNQ) gegenüber dem Zeitraum 1991 bis 2020. Dargestellt sind 30-jährige Mittelwerte der jährlichen Niedrigwasserabflüsse an fünf Pegeln.

Die Modellergebnisse beziehen sich auf das reine Klimasignal, ohne Berücksichtigung zusätzlicher Veränderungen in den Einzugsgebieten und der Bewirtschaftung. Kommen neben dem Klimasignal auch massive menschliche Eingriffe in den Wasserhaushalt hinzu, können die Auswirkungen deutlich gravierender werden. Von den in Abbildung 23 gezeigten Flusspegeln betrifft das insbesondere die Spree.

In der Lausitz im Einzugsgebiet der Spree wird beispielsweise seit mehr als 100 Jahren Braunkohle abgebaut. Der Braunkohlenabbau verbunden mit der Grundwasserfreimachung der Lagerstätten führte zu großräumigen Grundwasserabsenkungen und Aufhöhung der Abflüsse durch Ableitung

<sup>55</sup> LfU 2021

der gehobenen Wassermengen. Mit dem gesetzlich verankerten Braunkohleausstieg in 2038 werden die Sumpfungswassermengen weiter stetig herabgefahren und voraussichtlich Mitte des Jahrhunderts vollständig eingestellt. Dadurch gehen die Stützungsmengen in vielen Oberflächengewässern der Region schlussendlich bis auf null zurück. Parallel wird der Grundwasserwiederanstieg zu diesem Zeitpunkt noch nicht vollständig abgeschlossen sein, so dass viele Fließgewässer beziehungsweise Fließgewässerabschnitte noch keinen Grundwasseranschluss aufweisen. Dadurch kommt es zu Versickerungsverlusten beziehungsweise ist eine Abflussbildung im Gewässer über das Grundwasser noch nicht vorhanden.

Entsprechend der Klimasimulationen zu steigenden Temperaturen und somit zu steigender Verdunstung wird sich die Wiederauffüllung des Grundwasserdefizites in der Lausitz und somit der Wiederanschluss der Oberflächengewässer an das Grundwasser möglicherweise deutlich verzögern. Aktuell kann nicht abgeschätzt werden, wie lange dieser Prozess aufgrund der Klimaänderungen dauern wird.



Niedrigwasser an der Elbe bei Dömitz © Karin Jähne/stock.adobe.com

## Vegetationsentwicklung

Der immer früher einsetzende Blühbeginn der Pflanzen und die zunehmende Dauer der Vegetationsperiode ist deutlich zu beobachten. Für die Landwirtschaft kann eine verlängerte Vegetationsperiode von Vorteil sein, wenn teilweise höhere Erträge generiert werden können. Gleichzeitig steigt mit den höheren Temperaturen im Frühling und dem vorverlagerten Blühbeginn das Risiko von Spätfrostschäden, was vor allem im Obstbau – wie im Jahr 2024 - zu enormen Ernteverlusten führen kann.



Haselnussblüte © LianeM/stock.adobe.com

## Phänologie

Zunehmende Temperaturen wirken sich auf die Phänologie, also die im Jahresablauf periodisch wiederkehrenden Wachstums- und Entwicklungserscheinungen, der Pflanzen aus. Am Zeitpunkt von Entwicklungsstadien lässt sich der Anfang der phänologischen Jahreszeiten bestimmen. Der Blühbeginn der Hasel etwa markiert den Beginn der Vegetationsphase und den Beginn des Vorfrühlings. Die weiteren Jahreszeiten können am Beispiel ausgewählter Pflanzen durch den Zeitpunkt des Blühbeginns der Blühtentfaltung, dem Beginn der Fruchtreife, der Blattverfärbung oder des Blattfalls monitorisch ermittelt werden. Das Ende der Vegetationsphase wird durch den Blattfall der Stieleiche markiert. Insbesondere der Beginn der Vegetationsperiode, aber auch die anderen Frühlingsphasen, darunter das Aufbrechen der Knospen, die Entfaltung der Blätter und die Blüte der Pflanzen (Vor-, Erst- und Vollfrühling), zeigen eine ausgeprägte Sensibilität gegenüber Temperaturschwankungen. Eine Verlängerung der Vegetationszeit zwischen Blühbeginn der Hasel und Blattfall der Stieleiche ist bereits zu beobachten (Abbildung 24).

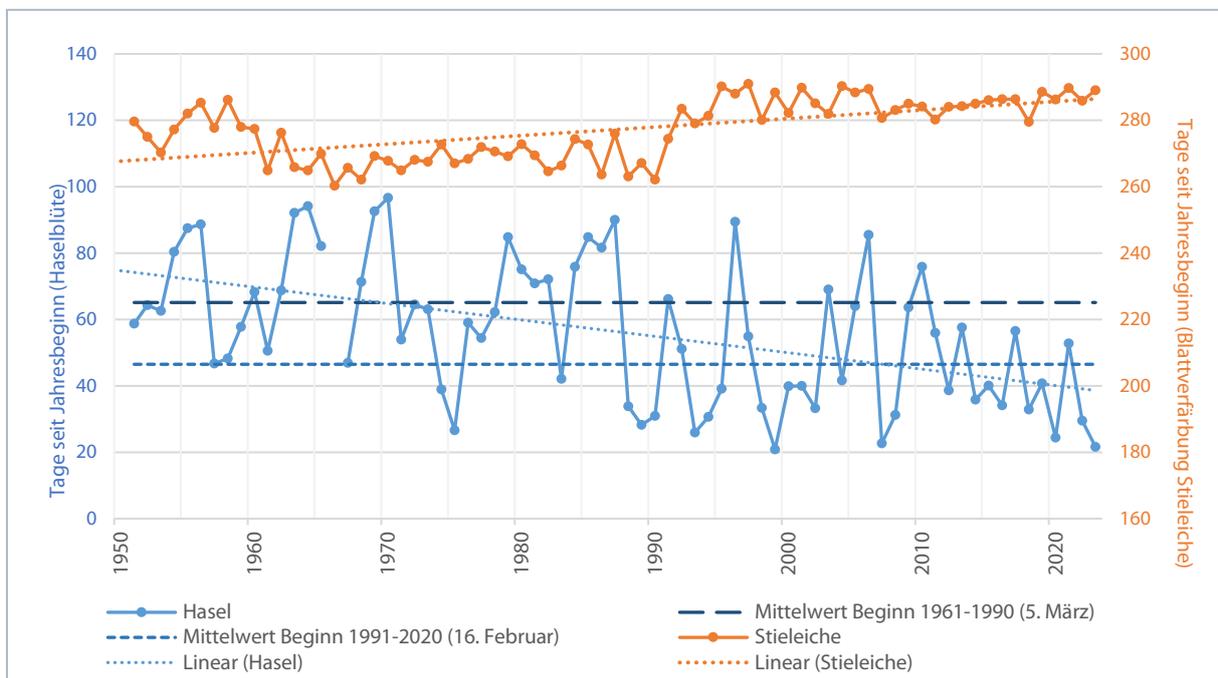


Abbildung 24 Blühbeginn Hasel und Blattverfärbung Stieleiche (Deutscher Wetterdienst) von 1950-2024

Besonders auffällig ist die starke Verkürzung des Winters von 113 Tagen im Vergleichszeitraum 1961-1990 auf 89 Tage im Zeitraum der jüngeren Vergangenheit 2014-2023 (Abbildung 25). Die Verkürzung des Winters ist insbesondere auf den früher einsetzenden Vorfrühling zurückzuführen. Während im Vergleichszeitraum der Vorfrühling noch etwa im März begann, startet der Vorfrühling mittlerweile bereits in der ersten Februarhälfte. Während sich die Sommerdauer insgesamt nicht verändert, verlagert sich der Zeitraum weiter nach vorn und beginnt bereits Mitte Mai. Der Herbst verlängerte sich besonders stark von 68 Tagen im Vergleichszeitraum auf 89 Tage in der jüngsten Dekade. Gleichzeitig verlagert sich der Blühbeginn der Pflanzen zeitlich immer weiter nach vorn. Die Landwirtschaft kann teilweise von der verlängerten Vegetationsperiode und höheren Durchschnittstemperaturen profitieren. An vielen Standorten geht dieser potenzielle Vorteil jedoch durch die möglicherweise zunehmend eingeschränkte Wasserverfügbarkeit wieder verloren.

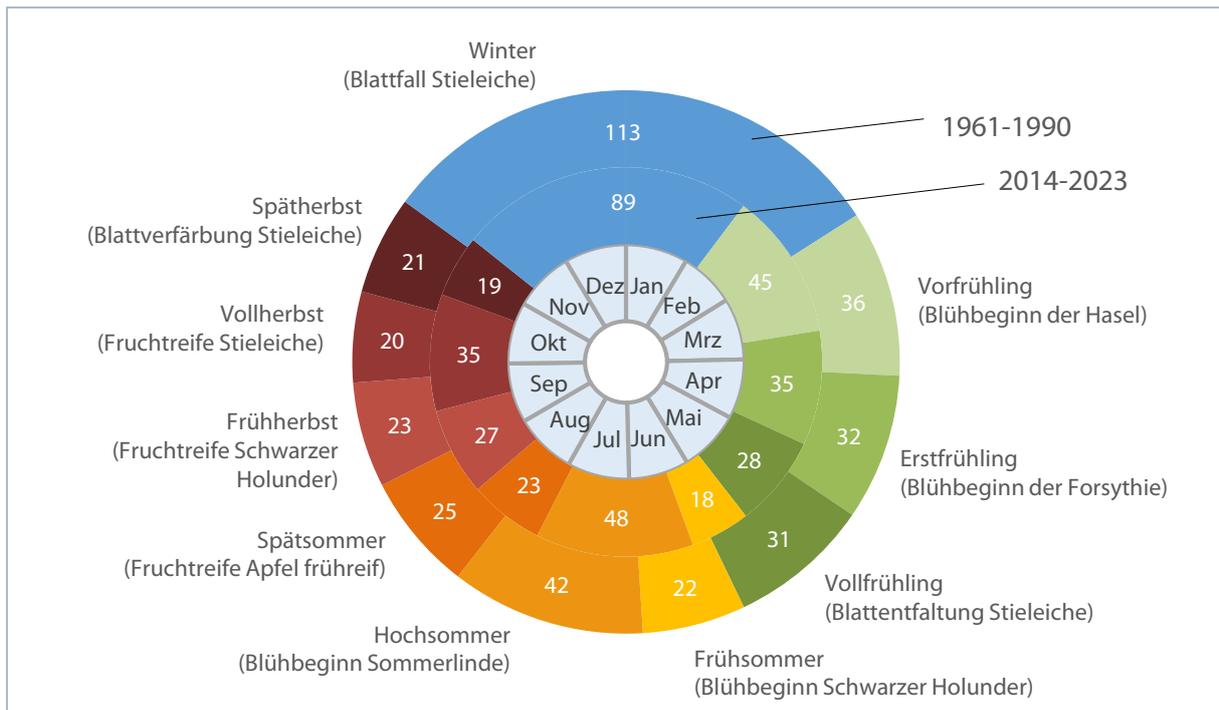


Abbildung 25 Phänologische Uhr für die Klimareferenzperiode 1961 bis 1990 (Außenring) im Vergleich zum Zeitraum 2014 bis 2023 (Daten des DWD, eigene Darstellung)

## Spätfrost

Der vorverlagerte Vegetationsbeginn kann insbesondere problematisch für die Landwirtschaft, den Obstbau und den Wald sein. Je früher die Vegetationsperiode beginnt, desto höher ist das Risiko, dass Pflanzen mit Spätfrost konfrontiert werden. Spätfrost kann an landwirtschaftlichen Kulturen erhebliche Schäden verursachen, wenn diese im frostempfindlichen Stadium auftreten, wenngleich die Gesamtzahl von Frosttagen im voranschreitenden Klimawandel einen rückläufigen Trend zeigt. Der Deutsche Wetterdienst erwartet für den ostdeutschen Raum, dass zum Beispiel für die Süßkirsche zunächst das Spätfrostisiko zurückgehen wird, in Zukunft aber wieder ansteigen wird, da sich der Blühbeginn weiter verfrühen wird<sup>56</sup>. Im Wald schaden Spätfroste vor allem jungen Baumbeständen, beeinflussen die Blüte der Waldbäume und die Saatgutverfügbarkeit. Im April 2024 kam es zu Spätfrosten, die bei den Brandenburger Obstbauern teilweise zu Ernteaufschlägen von über 90 Prozent führten. Besonders betroffen sind in Brandenburg die Kirschen, Äpfel und Birnen, die in tiefliegenden Regionen und Senken angebaut werden<sup>57</sup>. Auch der Weinanbau hat hohe Ernteverluste zu vermelden. Für Brandenburg werden die Schäden durch Spätfrost im Jahr 2024 auf zehn bis 14 Millionen Euro geschätzt. Bereits im Jahr 2019 kam es in Brandenburg zu Auszahlungen von „Frosthilfen“ in Höhe von 1,7 Millionen Euro.

Um den Klima-Kennwert „Spätfrost“ zu berechnen, wird für jede Gitterzelle innerhalb Brandenburgs der Zeitpunkt des letzten Frosttags mit dem aus einem Temperatursummenmodell berechneten Beginn der Apfelblüte verglichen. Beginnt die Apfelblüte vor dem letzten Frosttag, ist der Wert eins, andernfalls null. So ergibt sich pro Jahr ein Flächenanteil Brandenburgs zwischen 0 und 100 Prozent auf dem das definierte Kriterium „Auftreten von Spätfrost“ erfüllt wurde. Der 30-jährige Mittelwert des Kennwerts im Bezugszeitraum beträgt 10 Prozent. Auf diesem Anteil der Landesfläche war damals durchschnittlich das Spätfrostkriterium erfüllt. Seitdem hat der Wert deutlich zugenommen. In

<sup>56</sup> DWD 2023

<sup>57</sup> Wenzel 2024

einigen Jahren war ein Großteil der Landesfläche potenziell von Spätfrost betroffen (Abbildung 26). Die langjährigen Daten zeigen allerdings auch, dass es Mitte des vorigen Jahrhunderts ebenfalls eine Phase mit hohem Spätfrostisiko gab. Die Klimasimulationen zeigen einen Trend hin zu größerem Spätfrostisiko mit fortschreitendem Klimawandel. Bei ungebremstem Klimawandel wäre ab Mitte dieses Jahrhunderts eine deutliche Erhöhung des Spätfrostaufkommens zu erwarten.

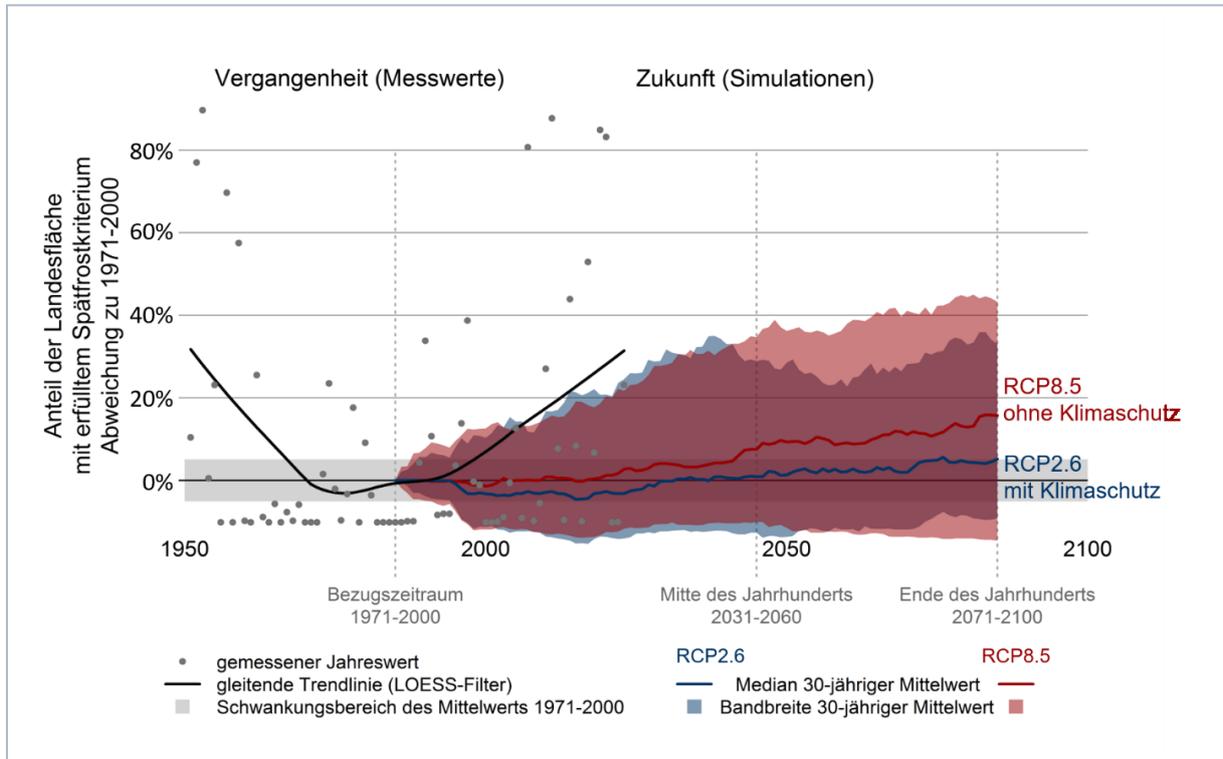


Abbildung 26 Abweichung des aus Beobachtungsdaten errechneten Flächenanteils in Brandenburg mit potenziellem Spätfrostaufkommen pro Jahr (graue Punkte, gleitender Trend: schwarze Linie) von 1951 bis 2023 gegenüber dem Bezugszeitraum der Klimaprojektionen 1971 bis 2000. Die 30-jährigen Mittelwerte der Simulationen zeigen die beiden Verläufe „ohne Klimaschutz“ (rot, Szenario RCP 8.5) und gemäß „2-Grad-Obergrenze“ (blau, Szenario RCP 2.6). Als Klimaänderung gegenüber dem Bezugszeitraum wird eine Abweichung dann interpretiert, wenn sie außerhalb des Schwankungsbereichs des 30-jährigen Mittelwerts 1971 bis 2000 (grauer Balken) liegt. Daten: DWD, E-OBS und LfU

Apfelblüten mit Eis bedeckt © notistia/stock.adobe.com



## Forstwirtschaft

Die zunehmende Trockenheit in Verbindung mit hohen Temperaturen und Hitzewellen birgt für die Forstwirtschaft in Brandenburg ein großes Schadpotenzial, vor allem, wenn wie in den Jahren 2018 bis 2020 und 2022 mehrere außergewöhnlich trockene Jahre aufeinanderfolgen.

Die Waldzustandserhebungen bestimmen seit dem Jahr 1991 den Gesundheitszustand der Waldbäume. Anhand des Kronenzustands und der Kronenverlichtung kann abgeschätzt werden, wie hoch der Anteil der Waldfläche ist, der gesund, gefährdet oder geschädigt ist. Seit dem Jahr 2018 und dem Beginn der Trockenheit sind die Schadanteile der Laub- und Nadelbäume auf hohem Niveau. Davor war der Wald das letzte Mal im Jahr 2017 gut mit Wasser versorgt<sup>58</sup>. Erst das Jahr 2023 hat mit überdurchschnittlichen Niederschlägen die Wasserversorgung und den Zustand der Wälder verbessert. Insgesamt ging der Flächenanteil von deutlichen Schäden von 20 Prozent im Vorjahr 2022 auf 16 Prozent leicht zurück. Im Jahr 2019 lag dieser Anteil noch bei 37 Prozent. Dies ist der höchste Wert seit Beobachtungsbeginn 1991. Der Anteil der Waldbäume ohne Schäden wuchs vom Jahr 2022 zum Jahr 2023 von 8 Prozent auf 25 Prozent an.

Dürreschäden im Wald sind seit dem Jahr 2018 vor allem an Waldverjüngungen zu sehen. Die Jungbäume sind in ihren ersten Lebensjahren besonders anfällig für Trockenheit, da sie noch ein nur geringes Wurzelvolumen, beziehungsweise eine geringe Wurzeltiefe aufweisen. Die Versorgung mit Wasser ist für die Jungbäume somit erschwert. Zu Beginn einer Dürre wie im Jahr 2018, reagieren die Bäume in den ersten Monaten noch moderat auf die Trockenheit. In den Folgejahren jedoch ist eine sehr viel stärkere Reaktion der Bäume zu beobachten<sup>59</sup>. Auch in Brandenburg wurden die Schäden der Dürre an Eiche, Kiefer und Buche erst im Jahr 2019 wirklich ersichtlich<sup>60</sup>. Die Jungbäume reagieren schon zu Beginn der Trockenheit deutlich auf die Umweltbedingungen. Bereits im Jahr 2018 war ein Anstieg der Schäden an Waldverjüngungen zu beobachten.

In Brandenburg steigt durch die Klimaveränderungen auch die Gefahr von Waldbränden. Die längeren Trockenphasen und die höheren Temperaturen führen dazu, dass die Waldbrandgefahr in den Sommermonaten deutlich zunimmt. Besonders gefährdet sind die großen Kiefernwälder, die aufgrund ihrer Beschaffenheit leicht entflammbar sind. Im Jahr 2022 wurde ein besonders hoher Anstieg der Waldbrandgefahr in den Monaten Juni bis August beobachtet, was auf die extremen Witterungsbedingungen zurückzuführen ist. Vor allem in den stark von Trockenheit betroffenen Regionen wie der Lausitz und dem Fläming wurde eine Zunahme der Waldbrandflächen verzeichnet. Der Klimawandel verstärkt diese Gefährdung und stellt die Forstwirtschaft vor enorme Herausforderungen in Bezug auf Prävention und Brandbekämpfung.

Die zunehmende Trockenheit in Brandenburgs Wäldern erhöht auch das Risiko für Sturmschäden. Durch die anhaltenden Dürreperioden verlieren Bäume an Stabilität, da ihre Wurzeln in den ausgetrockneten Böden weniger Halt finden. Besonders gefährdet sind geschwächte Kiefern und Laubbäume, die aufgrund der Trockenheit anfälliger für Windbruch und Windwurf werden.

---

<sup>58</sup> Landesbetrieb Forst Brandenburg (LFB) 2023a

<sup>59</sup> Reiner mann et al. 2019

<sup>60</sup> LFB 2023b

## Waldbrände

Brandenburg ist sehr anfällig für **Waldbrände**. Landesweit ereignen sich etwa ein Drittel aller Waldbrände in Deutschland. Rund 37 Prozent der Fläche des Landes ist Wald, das sind rund 1,1 Millionen Hektar, wobei die Hauptbauart Kiefer rund 70 Prozent des Baumbestands ausmacht.

Während sich das menschliche Verhalten, die Landschaftsstruktur, die Artenzusammensetzung des Waldes sowie die Feuerüberwachungs- und Feuerlöschkapazitäten eher langsam verändern, variieren die Witterungsbedingungen sowie die Menge und Qualität des brennbaren Materials von Jahr zu Jahr. Ein besonders intensives Brandgeschehen in einzelnen Jahren, das vom längerfristigen Trend abweicht, lässt sich daher auf den spezifischen Witterungsverlauf dieser Jahre zurückführen. Steigende Temperaturen und rückläufige Niederschläge in den Frühjahrs- und Sommermonaten, leichte Sandböden, die das Wasser nur schwer speichern können, erhöhen die Waldbrandgefahr in Brandenburg. Durch Gewitter ausgelöste Waldbrände spielen dabei eine nur untergeordnete Rolle, da diese in Mitteleuropa in der Regel mit Niederschlägen einhergehen.



Waldbrand nahe Münchehofe © Freiwillige Feuerwehr Birkholz

Im Jahr 2018 wurden in Brandenburg fast 1.700 Hektar Wald durch Waldbrände geschädigt oder vernichtet, was in etwa der dreifachen Fläche des langjährigen Mittels entspricht (Abbildung 27)<sup>61</sup>. Auch das Jahr 2022 lag mit einer Waldbrandfläche von zirka 1.400 Hektar und 507 Waldbränden weit über dem Durchschnitt<sup>62</sup>. Vor allem in den Wäldern um Treuenbrietzen und Beelitz im Landkreis Potsdam-Mittelmark waren im Juni 2022 große Feuer mit mehreren 100 Hektar ausgebrochen. Im Jahr 2023 reihte sich an einen sehr nassen März und April ein außergewöhnlich trockener Mai, in dessen Folge es zu einem 700 Hektar großen Landschaftsbrand bei Jüterbog in Teltow-Fläming kam. Die Brandbekämpfung in dem Gebiet war durch Munitionsbelastung erschwert, sodass die Löschkaktivitäten rund zwei Wochen in Anspruch nahmen.

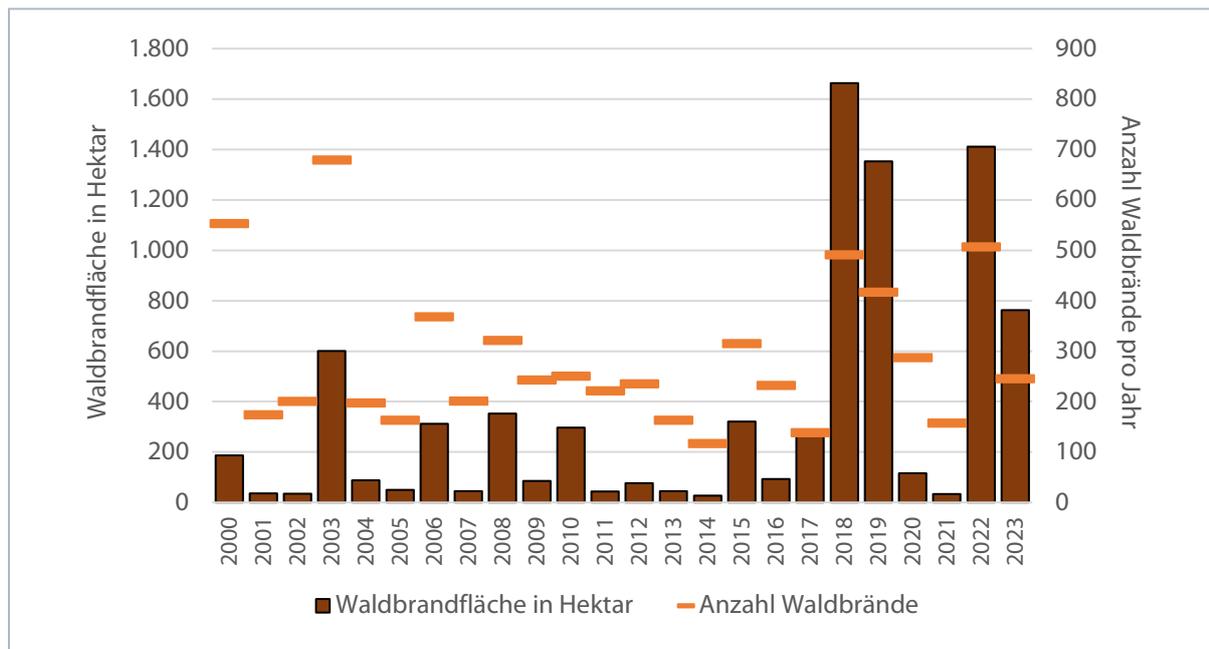


Abbildung 27 Waldbrandflächen und -anzahl in Brandenburg im Zeitraum 2000 bis 2023

## Sturmschäden

Neben Hitze und Trockenheit könnte auch die Gefahr von Wind- und Sturmschäden im Wald im Zuge des Klimawandels zunehmen. Da aber bisher dazu noch keine klaren Trends erkennbar und Projektionen zum Auftreten von Stürmen und Starkwinden mit großen Schwankungsbreiten behaftet sind, ist eine Folgenabschätzung hier schwierig. Stürme wie „Xavier“ im Herbst 2017 verursachten jedoch in Brandenburg große Schäden und das zu einem Zeitpunkt, als die Laubwälder noch voll belaubt waren, was sie anfälliger für Windbruch und Folgeschäden macht<sup>63</sup>.

Der Klimawandel hat erhebliche Auswirkungen auf Wälder und einer der sichtbarsten Aspekte sind Sturmschäden. Stürme in Kombination mit den veränderten klimatischen Bedingungen können zu schweren Schäden und Verlusten in Waldgebieten führen und stellen eine wachsende Herausforderung für die Forstwirtschaft dar. Durch den Klimawandel treten häufiger extreme Wetterereignisse auf, die auf anfällige und geschwächte Wälder treffen. Brandenburgische Wälder sind von zunehmender Trockenheit, aber auch von einer Zunahme von Schädlingen und Krankheiten betroffen. Wärmere Temperaturen und veränderte klimatische Bedingungen begünstigen das Wachstum und

<sup>61</sup> MLUL 2018

<sup>62</sup> MLUK 2022

<sup>63</sup> UBA 2021b

die Ausbreitung von Schädlingen wie Borkenkäfern. Diese können die Gesundheit der Bäume beeinträchtigen und ihre Widerstandsfähigkeit gegen Stürme verringern, da sie insbesondere durch Trockenheit vorgeschädigte Baumbestände schwächen.

Sturmereignisse können große Schadholzmengen verursachen. Die seit dem Jahr 1998 durch Stürme verursachten Schadholzmengen zeigten ihre Höhepunkte im Jahr 2007 mit dem Orkantief „Kyrill“ mit über 600.000 Kubikmeter und dem Sturmtief „Xavier“ im Jahr 2017 mit über 1 Million Kubikmeter Bruch- und Wurfholz. „Xavier“ war vor allem für die Laubwälder verheerend, da sie im Herbst im belaubten Zustand getroffen wurden und dadurch erheblich höheren Windwiderstand boten. Die drei Winterstürme „Ylenia“, „Zeynep“ und „Antonia“ verursachten im Februar 2022 eine Schadholzmenge von über 900.000 Kubikmeter. Im August 2023 verursachte ein starkes Gewitter in Brandenburg an der Havel Orkanböen von 147 Kilometern pro Stunde. Abgedeckte Dächer und umgeworfene Bäume waren die Folge.



Sturmschäden Sturm Xavier in Buchenwald Grumsin, © Dr. Michael Luthardt

## Gesundheit

Extreme Wetter- und Witterungsereignisse, beispielsweise Hitzewellen und Tropennächte, können sich gesundheitlich auswirken und klinisch bedeutsame Symptome auslösen oder verstärken.

Einzelne Hitzetage können bereits eine erhebliche Belastung für den menschlichen Organismus darstellen. Verschlimmert wird dies jedoch bei Hitzewellen, wenn es über mehrere Tage hinweg sehr heiß ist und auch die Nächte kaum Abkühlung bringen. Eine Hitzewelle oder Hitzeperiode ist definiert als ein Zeitraum von mindestens drei aufeinanderfolgenden Tagen mit Temperaturen oberhalb des 95. Perzentils im Bezugszeitraum. Die Perzentile ist in der medizinischen Statistik ein Maß für die Streuung einer statistischen Verteilung, die nach Rang oder Größe der Einzelwerte sortiert ist.

Im Bezugszeitraum 1971-2000 sind jährlich durchschnittlich 2,3 Hitzeperioden aufgetreten und diese waren durchschnittlich 4,8 Tage lang. In der jüngeren Vergangenheit 1991-2020 waren es bereits durchschnittlich 3,4 Hitzeperioden pro Jahr. Im Mittel der Klimaszenarien könnten zur Mitte des Jahrhunderts 4,5, bis zum Ende des Jahrhunderts 6,4 Hitzeperioden jährlich auftreten. Diese wären etwa sechs beziehungsweise etwa acht Tage lang, wenn der Treibhausgasausstoß nicht massiv verringert wird. Bei Einhaltung der 2-Grad-Obergrenze erhöht sich die Häufigkeit und Dauer der Hitzewellen im Mittel der Klimaszenarien nur noch leicht gegenüber der jüngeren Vergangenheit.

Mit steigenden Temperaturen verlängert sich die Vegetationsphase und somit die Flugzeiten einiger Pollenarten. Vor allem für Allergiker, aber ebenfalls für Asthmatiker verlängern sich die Belastungszeiten mit Pollen.

## Hitzebelastung

Die Auswirkungen dieser Veränderungen auf die menschliche Gesundheit sind komplex und ernst zu nehmen. Mögliche Folgen für die Gesundheit können von Hitzschlägen und Dehydration bis hin zu einem erhöhten Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie Atemwegserkrankungen reichen. Ebenso können bei zahlreichen Medikamenten teils schwerwiegende Nebenwirkungen ausgelöst werden.

Die häufigste Ursache für Todesfälle durch Hitze sind Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Nach Schätzungen sind knapp 1 Prozent aller jährlichen Todesfälle im Zeitraum 1993 bis 2015 in Deutschland auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen zurückzuführen<sup>64</sup>. Die Morbidität an Herz-Kreislauf-Erkrankungen, also das Verhältnis der Erkrankten zur Gesamtbevölkerung, steigt während einer Hitzeperiode um 2,2 Prozent pro 1 Grad Temperaturzunahme<sup>65</sup>.

Besonders gefährdete Bevölkerungsgruppen wie ältere Menschen, Kinder und Personen mit Vorerkrankungen sind einem erhöhten Risiko ausgesetzt<sup>66</sup>. Des Weiteren führen höhere Temperaturen zu einer Zunahme der Luftschadstoffbelastung, zum Beispiel durch Rauchentwicklung durch Waldbrände und die verstärkte Bildung von bodennahem Ozon. Vor allem für Personen mit Atemwegserkrankungen wie Asthma kann dies zu gesundheitlichen Problemen führen und das Risiko von Herz-Kreislauf-Erkrankungen erhöhen<sup>67</sup>. In Hitzeperioden wird regelmäßig ein deutlicher Anstieg der Sterbefälle beobachtet. Gleichzeitig steigen auch die Neuerkrankungen durch Hitze (Morbidität), vor al-

---

<sup>64</sup> Huber et al. 2020

<sup>65</sup> Phung et al. 2016

<sup>66</sup> Winklmayr et al. 2023

<sup>67</sup> Breitner-Busch et al. 2023

lem im Zusammenhang mit Flüssigkeitsmangel. Im vergangenen Jahrzehnt ist eine Häufung hitzebedingter Sterbefälle in Brandenburg zu erkennen (Abbildung 28). Im Jahr 2018 starben in Brandenburg 362 Menschen aufgrund von starker Hitzebelastung, im Jahr 2022 waren es 224 Todesfälle<sup>68</sup>.

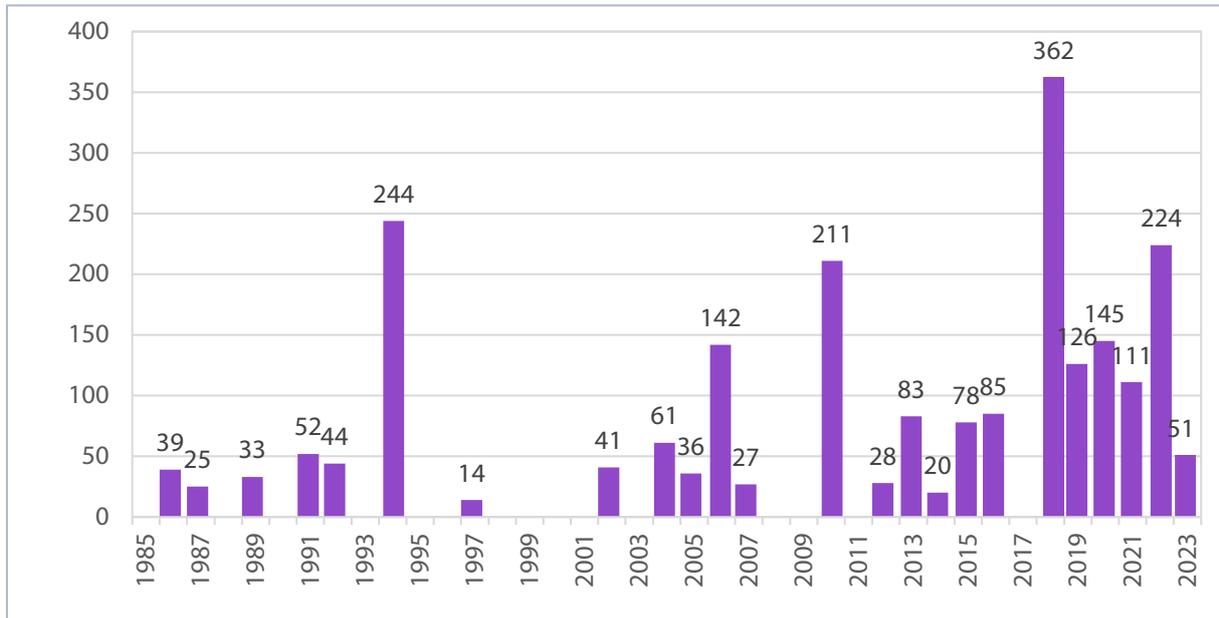
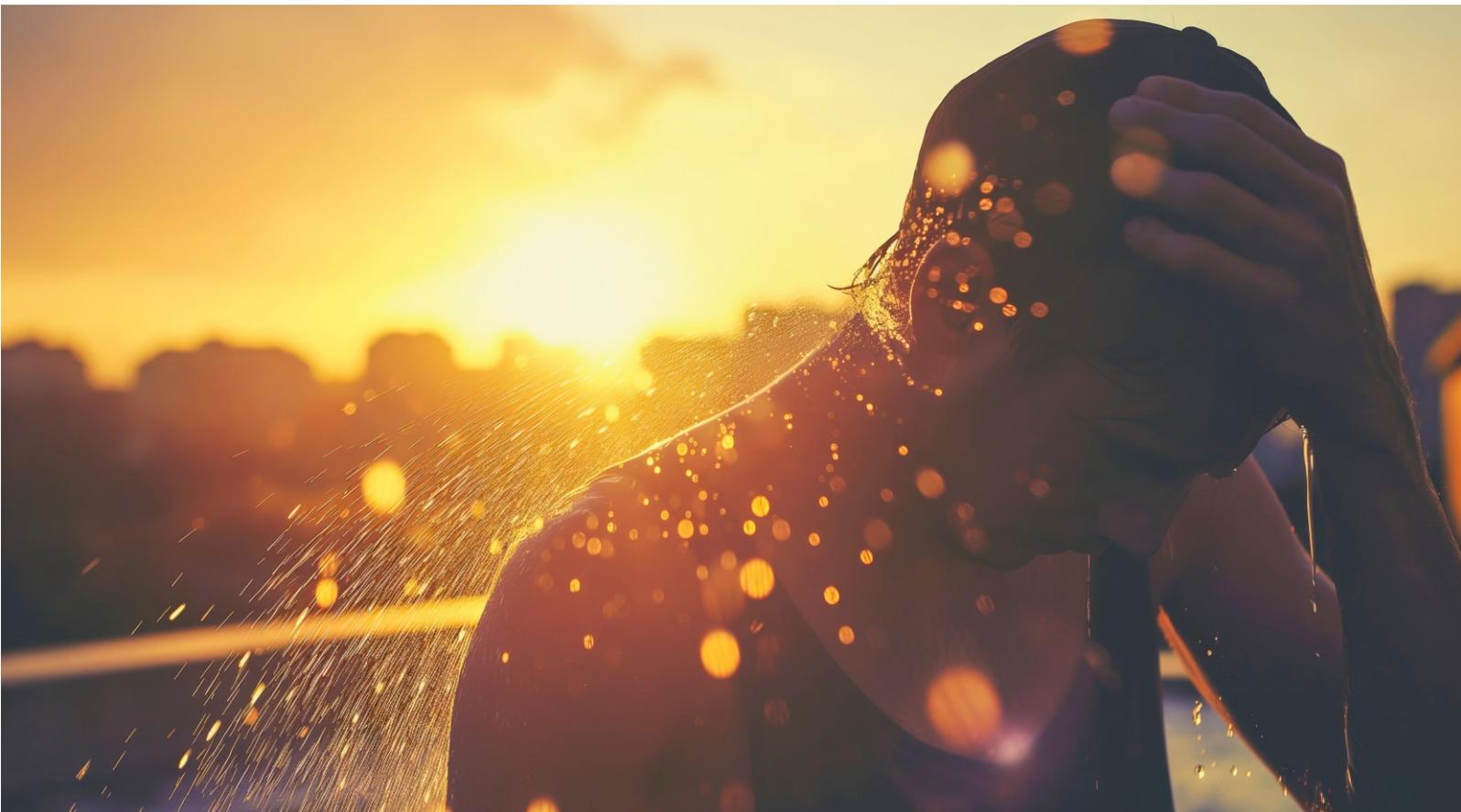


Abbildung 28 Anzahl der hitzebedingten Exzess-Sterbefälle in Brandenburg von 1985 bis 2023 (Berechnung der Übersterblichkeit durch Hitze durch das Amt für Statistik Berlin-Brandenburg)



Hitzeerschöpfter junger Mann © MVProductions/stock.adobe.com | KI-generiert

<sup>68</sup> Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (AFS B-BB) 2024

## Pollenbelastung

Mit der verlängerten Vegetationsphase (siehe Kapitel 3, Phänologie) kommt es außerdem zu einer verfrühten Blüte einiger frühblühenden Pflanzenarten, die allergenrelevante Blütenpollen produzieren (Hasel, Erle, Birke). Durch verlängerte Flugzeiten und vermehrte Pollenproduktion nimmt die Pollenbelastung zu. Dies kann zu einer Zunahme von allergischen Reaktionen und Asthmaanfällen führen. Die saisonale Verlängerung und Intensivierung der Pollensaison beeinträchtigt die Lebensqualität vieler Menschen. Die Belastung des Gesundheitssystems durch allergiebedingte Krankheiten wird sich erhöhen<sup>69</sup>.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Produktion von Pollen sind vielschichtig und Gegenstand aktueller Forschung. Für Birkenpollen ist seit Jahrhundertbeginn deutschlandweit ein zunehmender Trend zu beobachten (Abbildung 3). Auch bei anderen Pflanzenarten führt die steigenden CO<sub>2</sub>-Konzentration zu einer erhöhten Produktion von Pollen, beispielsweise bei bestimmten Gräsern und Ambrosia.<sup>70</sup> Mastjahre, in denen verstärkte Pollenproduktion stattfindet, können ebenfalls im fortschreitenden Klimawandel häufiger auftreten.<sup>71</sup>

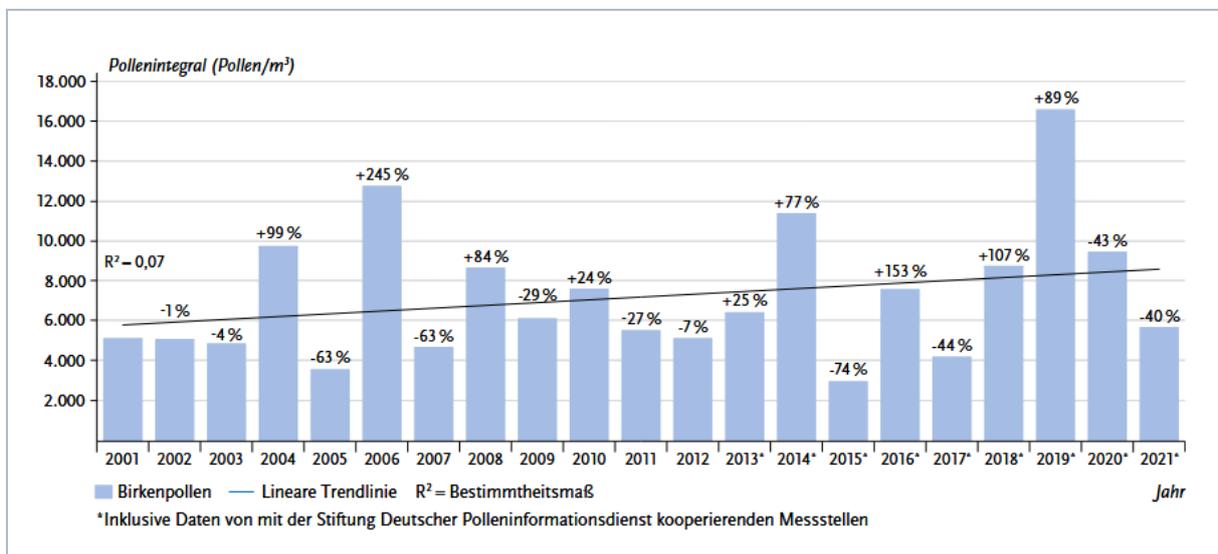


Abbildung 3-11 Mittlere Anzahl gemessener Birkenpollen an verschiedenen Stationen in Deutschland mit Trendlinie. Die Prozentangaben zeigen die jeweilige Veränderung gegenüber dem Vorjahr an (Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst)

<sup>69</sup> Bergmann et al. 2023

<sup>70</sup> Ziska und Caulfield 2000, Albertine et al. 2014

<sup>71</sup> Hacket-Pain et al. 2021, Nussbaumer 2020

# Abkürzungsverzeichnis

a - Jahr

AfS B-BB – Amt für Statistik Berlin-Brandenburg

AMOC – Atlantic Meridional Overturning Circulation

ATV-DVWK – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall

BAH – Büro für Angewandte Hydrologie

BEHG - Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG)

CH<sub>4</sub> – Methan

cm - Zentimeter

CO<sub>2</sub> – Kohlenstoffdioxid

DWD – Deutscher Wetterdienst

EU – Europäische Union

EU ETS – EU-Emissionshandelssystem

ET<sub>0</sub> - Referenzverdunstung

FCKW – Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe

ha - Hektar

i.A. – in Ausarbeitung

IIASA – International Institute for Applied System Analysis

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

K - Kelvin

LFB – Landesbetrieb Forst Brandenburg

LfU – Landesamt für Umwelt Brandenburg

LNHS – Landesnachhaltigkeitsstrategie

LOESS – Locally estimated weighted Scatterplot Smoothing

m<sup>3</sup> – Kubikmeter

mm – Millimeter

MIL – Ministerium für Infrastruktur und Landesplanung

MKZ – Messstellenkennzahl

MLUK – Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz

MLUL – Ministerium für ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft

MNQ – mittlerer Niedrigwasserabfluss

MWAE – Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie

NDCs – Nationally Determined Contributions

NHN - Normalhöhennull

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

ÖPNV – Öffentlicher Personennahverkehr

ppm – parts per million

T<sub>max</sub> - Tagesmaximaltemperatur

T<sub>min</sub> - Tagesminimaltemperatur

UBA – Umweltbundesamt

UfZ – Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung

R<sup>2</sup> - Bestimmtheitsmaß

RCP – Repräsentative Konzentrationspfade

s - Sekunde

SDGs – Sustainable Development Goals

SRI – Starkregenindex

W/m<sup>2</sup> – Watt pro Quadratmeter

WMO – World Meteorological Organization

WWA – World Weather Attribution

% – Prozent

# Quellen

Albertine J.M., Manning W.J., Dacosta M. et al. (2014): Projected carbon dioxide to increase grass pollen and allergen exposure despite higher ozone levels. PLoS ONE 9(11): e111712

Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (AfS B-BB) (2024): Hitzebedingte Sterblichkeit 2023 in der Hauptstadtregion. Todesfälle durch Hitze auf durchschnittlichem Niveau. 27.05.2024 <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/news/2024/hitzebedingte-sterblichkeit> [aufgerufen am: 19.06.2024]

Armstrong McKay D. I., Staal A., Abrams J. F., Winkelmann R., Sakschewski B., Loriani S., Fetzer I., Cornell S.E., Rockström J., Lenton T. M. (2022): Exceeding 1.5°C global warming could trigger multiple climate tippingpoints. Science, 377(6611). <https://doi.org/10.1126/science.abn7950>

Büro für Angewandte Hydrologie (BAH 2022) ArcEGMO – Das hydrologische Modellierungssystem. <https://arcegmo.de/>

Bergmann K.-Ch., Brehler R., Endler Ch., Höflich C., Kespohl S., Plaza M., Raulf M., Standl M., Thamm R., Traidl-Hoffmann C., Werchan B. (2023): Auswirkungen des Klimawandels auf allergische Erkrankungen in Deutschland. In: Journal of Health Monitoring 2023 8 (S4). DOI 10.25646/11645

Bund-Länder-Fachgespräch Klimaanpassung (BLFG KA) (2024): Klimaprojektionen in der Planungspraxis - Eine Handreichung des Bund-Länder-Fachgesprächs. In Vorbereitung

Breitner-Busch S., Mücke H.-G., Schneider A., Hertig E. (2023): Auswirkungen des Klimawandels auf nicht-übertragbare Erkrankungen durch erhöhte Luftschadstoffbelastungen der Außenluft. In: Journal of Health Monitoring 2023 8 (S4). DOI 10.25646/11645

Climate Action Tracker (2024): The CAT Thermometer. <https://climateaction-tracker.org/global/cat-thermometer/>. [aufgerufen am: 05.06.2024]

Cornes RC., van der Schrier G., van den Besselaar E.J.M., Jones P.D. (2018): An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Data Sets, Journal of Geophysical Research: Atmospheres 123(17), S. 9391-9409.

Christensen P., Gillingham K., Nordhaus W. (2018): Uncertainty in forecasts of long-run economic growth, PNAS 115(21), S. 5409-5414.

Ditlevsen P. und Ditlevsen S. (2023): Warning of a forthcoming collapse of the Atlantic meridional overturning circulation. nature communications. Published: 25 July 2023. <https://www.nature.com/articles/s41467-023-39810-w>

Deutscher Wetterdienst (2019): Klimareport Brandenburg. 1. Auflage. Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, Deutschland. [https://lfu.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Klimareport\\_Brandenburg\\_2019.3992071.pdf](https://lfu.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Klimareport_Brandenburg_2019.3992071.pdf)

Deutscher Wetterdienst (DWD 2023): Phänologie im Klimawandel – Teil 2: Veränderung des Schadfrostisikos. [https://www.dwd.de/DE/wetter/thema\\_des\\_tages/2023/4/15.html](https://www.dwd.de/DE/wetter/thema_des_tages/2023/4/15.html) [aufgerufen am: 12.08.2024]

Deutscher Wetterdienst (DWD 2024a): Climate Data Center CDC-OpenData Bereich [https://opendata.dwd.de/climate\\_environment/](https://opendata.dwd.de/climate_environment/) [aufgerufen am: 12.08.2024]

Deutscher Wetterdienst (DWD 2024b) Radarniederschlag. [https://www.dwd.de/DE/fachnut-zer/wasserwirtschaft/radarniederschlag/\\_node.html](https://www.dwd.de/DE/fachnut-zer/wasserwirtschaft/radarniederschlag/_node.html) [aufgerufen am: 25.06.2024]

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DVWK 2002): ATV-DVWK-Regelwerk / ATV-DVWK, Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall. – Hennef GFA, Ges. zur Förderung der Abwassertechnik. Früher u.d.T.: Abwassertechnische Vereinigung: ATV-Regelwerk. Merkblatt M 504. Verdunstung in Abhängigkeit von Landnutzung, Bewuchs und Boden. ISBN 3-936514-03-8

Fowler H. J., Lenderink G., Prein A. F., Westra S., Allan R. P., Ban N., ... & Zhang X. (2021): Anthropogenic intensification of short-duration rainfall extremes. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(2), 107-122. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00128-6> [aufgerufen am: 12.08.2024]

Hackett-Pain A. and Bogdziewicz M. (2021): Climate change and plant reproduction: Trends and drivers of mast seeding change. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 376(1839):20200379

Haslinger K. and Mayer K. (2022): Early spring droughts in Central Europe: indications for atmospheric and oceanic drivers. *Atmospheric Science Letters*, 24, e1136.

Höning D., Willeit M., Calov R., Klemann V., Bagge M., Ganopolski A. (2023): Multistability and Transient Response of the Greenland Ice Sheet to Anthropogenic CO<sub>2</sub> Emissions. *Geophysical Research Letters*, 50(6). <https://doi.org/10.1029/2022GL101827>

Huber V., Krummenauer L., Peña-Ortiz C., Lange S., Gasparrini A., Vicedo-Cabrera A. M., Garcia-Herrera R., Frieler K. (2020): Temperature-related excess mortality in German cities at 2 °C and higher degrees of global warming. *Environmental Research* 2020. Vol. 186:109447. July 2020. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935120303406>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2013): The Physical Science Basis. IPCC Working Group I Contribution to AR5; Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA pp.1029-1136

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2014): Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2021): *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J.B.R., Maycock, T.K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R. and Zhou, B. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Kautz L. A., Martius O., Pfahl S., Pinto J. G., Ramos A. M., Sousa P. M. & Woollings T. (2022): Atmospheric blocking and weather extremes over the Euro-Atlantic sector—a review. *Weather and climate dynamics*, 3(1), 305-336.

Kornhuber K., Klönne U., Kellou D., Schlußner C.-F. (Climate Analytics gGmbH, Berlin 2024): Kippunkte und kaskadische Kippdynamiken im Klimasystem. Hrsg. Umweltbundesamt *Climate Change* 08/2024 [https://ca1-clm.edcdn.com/assets/08\\_2024\\_cc\\_kippunkte\\_und\\_kaskadische\\_kippdynamiken.pdf?v=1706797594](https://ca1-clm.edcdn.com/assets/08_2024_cc_kippunkte_und_kaskadische_kippdynamiken.pdf?v=1706797594)

Lengfeld, K., Winterrath, T., Weigl, E., Walawender, E., Becker, A. (2024): Starkregenereignisse Version 2024.01 mit Überschreitung der DWD-Warnstufe 3 für Unwetter basierend auf RADKLIM-RW

Version 2017.002 Parameter und Polygone der Starkregenereignisse in Deutschland version v2024.01. Deutscher Wetterdienst, 2024, [doi:10.5676/DWD/CatRaRE\\_W3\\_Eta\\_v2024.01](https://doi.org/10.5676/DWD/CatRaRE_W3_Eta_v2024.01)

Landesamt für Umwelt (LfU 2016a) – Klimareport Brandenburg 2016. Das Klima von gestern, heute und in Zukunft. Darstellung der Entwicklung des Klimawandels im 20. Jahrhundert aktuellen Probleme und von Szenarioergebnissen zum Ende des 21. Jahrhundert. Fachbeiträge des LfU Heft Nr. 150. [https://lfu.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/fb\\_150.pdf](https://lfu.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/fb_150.pdf)

Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU 2016b): Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie Beiträge des Landes Brandenburg zu den Bewirtschaftungsplänen und Maßnahmenprogrammen der Flussgebietseinheiten Elbe und Oder für den Zeitraum 2016 – 2021. <https://lfu.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/WRRL-Bericht2016.pdf>

Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU 2021) Trendanalyse für Abflusszeitreihen im Land Brandenburg. [https://lfu.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/LfU\\_Trendanalyse\\_2021.pdf](https://lfu.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/LfU_Trendanalyse_2021.pdf)

Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU 2022): Ein Klimaprojektionsensemble für Brandenburg. <https://lfu.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Klimaprojektionsensemble-Brandenburg.pdf>

Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU 2024a): Abschätzung der Treibhausgasemissionen im Land Brandenburg 2023. Vorläufiger Bericht. Potsdam, 20.03.2024 <https://lfu.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Treibhausgasemissionen-2023.pdf>

Landesbetrieb Forst Brandenburg (LFB 2023a): Waldzustandsbericht des Landes Brandenburg 2023. Hrsg.: Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK) Referat Öffentlichkeitsarbeit. Dezember 2023. <https://forst.brandenburg.de/lfb/de/service/publikationen/detail/~11-12-2023-waldzustandsbericht-2023>

Landesbetrieb Forst Brandenburg (LFB 2023b): Waldschutzbericht 2022. Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde. Oktober 2023. <https://forst.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/ws2022.pdf>

Linke, C. et al, (2024): Leitlinien zur Interpretation regionaler Klimamodelldaten des Bund-Länder Fachgespräches „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“, Potsdam, März 2024. <https://lfu.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Leitlinien-Klimamodelldaten.pdf>

Lischeid G., Dannowski R., Kaiser K., Nützmann G., Steidl J. & Stüve P. (2021): Inconsistent hydrological trends do not necessarily imply spatially heterogeneous drivers. Journal of Hydrology, 596, 126096.

Helmholtzzentrum für Umweltforschung (UFZ 2024): Dürremonitor Deutschland. <https://www.ufz.de/index.php?de=37937> [aufgerufen: 23.01.2024]

Ministerium für Infrastruktur und Landesplanung (MIL) (2023): Radverkehrsstrategie 2030 des Landes Brandenburg. <https://mil.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Radverkehrsstrategie%202030%20des%20Landes%20Brandenburg.pdf>

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK 2021): Landesniedrigwasserkonzept Brandenburg. <https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Landesniedrigwasserkonzept-Brandenburg.pdf>

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK 2022): Bericht zur Lage und Entwicklung der Forstwirtschaft in Brandenburg 2019-2021. Potsdam. <https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Bericht-Lage-Forstwirtschaft-2019-2021-WEB.pdf>

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK 2022a): Gesamtkonzept zur Anpassung an den Klimawandel im Politikfeld Wasser. <https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Gesamtkonzept-Wasser.pdf>

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK 2022b): Wasserversorgungsplanung Brandenburg - Sachlicher Teilabschnitt mengenmäßige Grundwasserbewirtschaftung. [https://lfu.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Wasserversorgungsplan\\_barrierefrei.pdf](https://lfu.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Wasserversorgungsplan_barrierefrei.pdf)

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK 2023): Strategie des Landes Brandenburg zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels. <https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Klimaanpassungsstrategie-Brandenburg-LF.pdf>

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK 2024a): Klimaschutz in Brandenburg - auf dem Weg zur Netto-Null. <https://mluk.brandenburg.de/mluk/de/klimaschutz/klimaschutz/>

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK 2024b): Bioökonomie: Für ein nachhaltiges und zukunftsfähiges Wirtschaften. <https://mluk.brandenburg.de/mluk/de/klimaschutz/biooekonomie/>

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK 2024c): Förderprogramm Klimaanpassung 2023 - Bereich Starkregenvorsorge <https://mluk.brandenburg.de/mluk/de/service/foerderung/wasser/starkregenvorsorge/>

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK 2024d): Landschaftswasserhaushalt. <https://mluk.brandenburg.de/mluk/de/umwelt/wasser/wassermengenbewirtschaftung/landschaftswasserhaushalt/>

Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft (MLUL 2018): Waldbrandstatistik 2018. Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde Fachbereich Waldschutz und Wildökologie. <https://forst.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/wbra2018.pdf>

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie (MWAE 2021): Maßnahmenkonkrete Strategie für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft im Land Brandenburg. 29.10.2021. [https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/Wasserstoffstrategie\\_Brandenburg\\_2021.pdf](https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/Wasserstoffstrategie_Brandenburg_2021.pdf)

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie (MWAE 2022): Energiestrategie 2040 <https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/Energiestrategie2040.pdf>

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie des Landes Brandenburg (MWAE 2024): Industriestrategie Brandenburg [https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/Industriestrategie\\_Bbg\\_15\\_04\\_2024.pdf](https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/Industriestrategie_Bbg_15_04_2024.pdf)

National Oceanic and Atmospheric Administration, Global Monitoring Laboratory (NOAA 2024): Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/> und <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/gr.html> [aufgerufen am 24.06.2024]

Nussbaumer A. (2020): Mast behaviour in European forest tree species: Triggers, inhibitors, and resource dynamics mechanisms. Doctoral dissertation: ETH Zurich.

Phung D., Thai P. K., Guo Y., Morawska L., Rutherford S., Chu C. (2016): Ambient temperature and risk of cardiovascular hospitalization: An updated systematic review and meta-analysis. *Sci Total Environ* 550:1084–1102

Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK 2024): Planetare Grenzen – Ein sicherer Handlungsraum für Menschen. <https://www.pik-potsdam.de/de/produkte/infothek/planetare-grenzen/planetare-grenzen> [aufgerufen am: 19.08.2024]

Rauhe M., Steiner H., Riediger U., Mazurkiewicz A., Gratzki A. (2013): A Central European precipitation climatology – Part I: Generation and validation of a high-resolution gridded daily data set (HYRAS), *Metereologische Zeitschrift* Vol. 22(3), S. 235–256.

Reinermann S., Gessner U., Asam S., Kuenzer C., Dech S. (2019): The effect of droughts on vegetation condition in Germany: An analysis based on two decades of satellite earth observation time series crop yield statistics, *Remote Sensing* 11, 1783

Richardson K., Steffen W., Lucht W., Bendtsen J., Cornell S.E., Donges J.F., Drüke M., Fetzer I., Bala G., von Bloh W., Feulner, G., Fiedler S., Gerten D., Gleeson T., Hofmann M., Huiskamp W., Kumm M., Mohan C., Nogués-Bravo D., Petri S., Porkka M., Rahmstorf S., Schaphoff S., Thonicke K., Tobian A., Virkki V., Weber L. & Rockström J. (2023): Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances* 9, 37. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>

Robinson A., Calov R., Ganopolski A. (2012): Multistability and critical thresholds of the Greenland ice sheet. *Nature Climate Change*, 2(6), 429–432. <https://www.nature.com/articles/nclimate1449>

Schmitt T. G., Krüger M., Pfister A., Becker M., Mudersbach C., Fuchs L., Hoppe H., Lakes I. (2018): Einheitliches Konzept zur Bewertung von Starkregenereignissen mittels Starkregenindex. *KW Korrespondenz Abwasser, Abfall* (65) Nr. 2. DOI: 10.3242/kae2018.02.002

Schwalm C., Glendon S., Duffy P. (2020): RCP8.5 tracks cumulative CO<sub>2</sub> emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117(33), 19656–19657

Söder M., Berg-Mohnicke M., Bittner M., Ernst S., Feike T., Frühauf C., Golla B., Jänicke C., Jorzig C., Leppelt T., Liedtke M., Möller M., Nendel C., Offermann F., Riedesel L., Romanova V., Schmitt J., Schulz S., Seserman D.-M., Shawon A.R. (2022): Klimawandelbedingte Ertragsveränderungen und Flächennutzung (KlimErtrag). Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 234 p, Thünen Working Paper 198, [DOI:10.3220/WP1659347916000](https://doi.org/10.3220/WP1659347916000) [aufgerufen am: 13.06.2024]

Umweltbundesamt (UBA 2021a): Niedrigwasser, Dürre und Grundwasserneubildung – Bestandsaufnahme zur gegenwärtigen Situation in Deutschland, den Klimaprojektionen und den existierenden Maßnahmen und Strategien. Abschlussbericht von: Riedel T., Nolte C., aus der Beek T., Liedtke J., IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gGmbH, 45476 Mülheim an der Ruhr

Umweltbundesamt (UBA 2021b): Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland. Teilbericht 2: Risiken und Anpassung im Cluster Land. Dessau-Roßlau.

van Vuuren D. P., Edmonds J., Kainuma M., Riahi K., Thomson A., Hibbard K., Hurtt G. C., Kram T., Krey V., Lamarque J.-F., Masui T., Meinshausen M., Nakicenovic N., Smith S. J., Rose S. K. (2011): The representative concentration pathways. An overview. In: *Climatic Change* 109 (1–2), S. 5–31. DOI: 10.1007/s10584–011–0148-z.

Van Westen R. M., Kliphuis M., Dijkstra H. A. (2024): Physics-based early warning signal shows that AMOC is on tipping course. *Science advances* Vol.10 No.6 [www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adk1189](https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adk1189)

Wang S. (2023): There Is No Climate Tipping Point. The Breakthrough Institute. <https://thebreakthrough.org/journal/climate-change-banned-words/climate-tipping-point-real>.

Wenzel, Simon (2024): Brandenburger Obstbauern hoffen auf finanzielle Hilfen vom Land. rbb24 (24.05.2024)  
<https://www.rbb24.de/wirtschaft/beitrag/2024/05/brandenburg-bauern-obsternte-ausfall-aepfel-kirschen-frost.html>  
[aufgerufen am: 03.06.2024]

Winklmayr C., Matthies-Wiesler F., Muthers S., Buchien S., Kuch B., an der Heiden M., Mücke H.-G. (2023): Ergänzung zu: Hitze in Deutschland: Gesundheitliche Risiken und Maßnahmen zur Prävention. In: *Journal of Health Monitoring* 2023 8 (S4).

World Meteorological Organization (WMO) (2023): The Global Climate 2011-2020 A decade of accelerating climate change. WMO-No. 1338.

World Meteorological Organization (WMO) (2024): WMO Global Annual Decadal Climate Update 2024-2028. <https://library.wmo.int/records/item/68910-wmo-global-annual-to-decadal-climate-update> [aufgerufen: 05.08.2024]

World Weather Attribution (WWA) (2023): <https://www.worldweatherattribution.org/climate-change-fuelled-extreme-weather-in-2023-expect-more-records-in-2024/>  
[aufgerufen: 17.01.2024]

Ziska L.H. and Caulfield F.A. (2000): Rising CO<sub>2</sub> and pollen production of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.), a known allergy-inducing species: Implications for public health. *Aust J Plant Physiol* 27:893–898

**Ministerium für Landwirtschaft,  
Umwelt und Klimaschutz  
des Landes Brandenburg**

Referat Öffentlichkeitsarbeit,  
Internationale Kooperation

Henning-von-Tresckow-Straße 2 - 13, Haus 5  
14467 Potsdam

Telefon: 0331 866-7237  
E-Mail: [bestellung@mluk.brandenburg.de](mailto:bestellung@mluk.brandenburg.de)



<https://mluk.brandenburg.de>  
<https://agrar-umwelt.brandenburg.de>  
<https://vimeo.com/mlukbrandenburg>  
[https://de.linkedin.com/company/  
mluk-des-landes-brandenburg](https://de.linkedin.com/company/mluk-des-landes-brandenburg)