



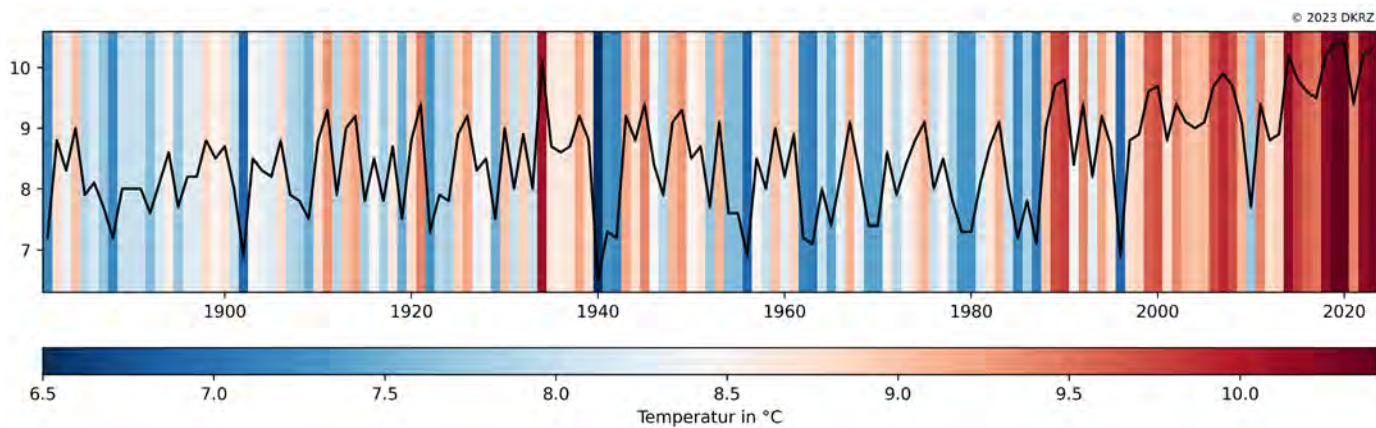
Klimareport Mecklenburg-Vorpommern

**Fakten bis zur Gegenwart -
Erwartungen für die Zukunft**



Warming Stripes

▼ Die farbigen Streifen und die schwarze Linie zeigen die jährliche Durchschnittstemperatur in Mecklenburg-Vorpommern für die Jahre 1881 bis 2023. Dabei steht jeder Streifen für ein Jahr. Die Grafik wurde in Anlehnung einer von Ed Hawkins entwickelten Abbildung erstellt. Datenquelle: Deutscher Wetterdienst.





Inhalt

Vorwort	4
Immer in Veränderung: Wetter und Klima	6
Wetter, Klima und Extreme.....	8
Klimawandel und Klimaprojektionen.....	11
Klimazwillinge	15
Klimamodelle	16
Das Klima in Mecklenburg-Vorpommern heute und morgen	18
Temperatur	20
Niederschlag.....	28
Sonnenschein und Globalstrahlung	34
Wind.....	40
Meerestemperaturen	42
Meeresspiegel.....	44
Gewässer im Klimawandel.....	46
Phänologie	48
Die Entwicklung der Bodenfeuchte.....	52
Arten und Lebensräume im Klimawandel	56
Die Entwicklung der meteorologischen Waldbrandgefahr	60
Extremereignisse	62
Küstenschutz	74
Aktuelle Forschungsthemen zum System Klima	80
Begriffskompass Klima.....	82
Präsenz in der Fläche.....	84
Weblinks	86
Impressum	87



Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

die vorliegende aktualisierte Auflage des Klimareports Mecklenburg-Vorpommern fasst das derzeitige Wissen über das Klima in der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft in kurzer und prägnanter Form zusammen. Es bietet Ihnen als Lesende die Möglichkeit, sich einen fundierten Überblick über die vergangene und zukünftig zu erwartende Klimaentwicklung im nordöstlichsten Bundesland Deutschlands zu verschaffen.

Auch im Nordosten Deutschlands ist der Klimawandel vielfältig sichtbar. 15 der 20 wärmsten Jahre seit Beginn der flächendeckend verfügbaren Klimadaten im Jahr 1881 traten in Mecklenburg-Vorpommern im 21. Jahrhundert auf. Die Jahre 2019 und 2020 waren mit einem Jahresmittel von 10,5 bzw. 10,4 °C die bisher wärmsten Jahre und lagen damit mehr als zwei Grad über dem vieljährigen Jahresmittel des international gültigen Klima-Referenzperiode 1961 - 1990.

Der aktuellste 6. Sachstandsbericht des Weltklimarates (IPCC) lässt bis Ende dieses Jahrhunderts eine weitere deutliche Klimaerwärmung erwarten. Der Klimawandel stellt - insbesondere in Form von häufigerem und zum Teil auch intensiverem Extremwetter - für uns und unsere Nachkommen eine bedeutende Herausforderung dar, zum Beispiel durch vermehrt auftretende Tage mit starker Wärmebelastung oder durch häufigere und intensivere extreme Witterungsereignisse wie langen Dürreperioden oder lokal auftretenden Starkniederschlagsereignisse. Der internationale Rahmen für den Umgang mit dem Klimawandel wurde auf der UN-Klimakonferenz COP21 im Jahr 2015 in Paris vereinbart und zuletzt 2023 auf der Klimakonferenz COP28 in den Vereinigten Arabischen Emiraten in Dubai gemeinschaftlich bekräftigt. Erstmals in der Geschichte der UN-Klimakonferenzen konnten sich die Teilnehmerstaaten auf die globale Abkehr von fossilen Energien einigen und eine geplante Verdreifachung der Kapazitäten an erneuerbaren Energien sowie eine Verdopplung der Energieeffizienzziele bis 2030 beschließen. Voraussetzung für die Umsetzung der definierten Ziele ist ein detailliertes Verständnis des aktuellen Standes der Klimaentwicklung. Um - wie im Klimavertrag von Paris vereinbart - die globale Erderwärmung auf deutlich unter 2 °C zu begrenzen sind allerdings noch umfangreichere Klimaschutzmaßnahmen, als die auf der COP28 beschlossenen, notwendig.

Diese Neuauflage des Klimareportes stellt eine wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Erarbeitung von regionalen Strategien zur Anpassung an die erwarteten Folgen des Klimawandels in Mecklenburg-Vorpommern dar.

Tobias Fuchs

Vorstand Klima und Umwelt des Deutschen Wetterdienstes



Liebe Leserinnen und Leser,

die klimatischen Verhältnisse in unserem Land prägen uns alle, wir haben uns gut damit arrangiert, dass es im Sommer nicht zu heiß und im Winter auch mal knackig kalt ist. Der Klimawandel hat aber auch unser Land schon verändert und die Auswirkungen werden in Zukunft noch deutlicher werden. Worauf müssen wir uns also einstellen? Das Klima der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft wird vom DWD in diesem Klimareport wissenschaftlich fundiert in kurzer und prägnanter Form erläutert. Es soll Ihnen die Möglichkeit geben, sich einen Überblick zu verschaffen, wie sich Umwelt, Gesellschaft, Wirtschaft und Forschung in Mecklenburg-Vorpommern konkret im Angesicht des Klimawandels verändern.

Der Klimawandel ist auch in Mecklenburg-Vorpommern längst Realität. Wussten Sie, dass die Haselblüte im Mittel inzwischen schon drei Wochen früher beginnt als noch vor rund 50 Jahren? Die durchschnittlichen Temperaturen sind seit Beginn der Industrialisierung um ca. 1,7 Grad angestiegen. Auch bei den Niederschlägen steigt die Intensität, vor allem aber verändert sich die jahreszeitliche Verteilung. Projektionen zufolge werden sich diese Trends in Zukunft weiter verstärken. Extremwetterereignisse wie Hitzewellen, Dürren oder auch Starkregen werden zunehmen. Umso wichtiger ist eine gute Datengrundlage, wie sie der vorliegende Klimareport liefert, damit die notwendige Anpassung an den Klimawandel in unserem Bundesland effektiv umgesetzt werden kann.

Gleichzeitig gilt aber: Effizienter Klimaschutz ist die wichtigste Anpassung! Klimaschutzaktivitäten sind dringend notwendig, sie bieten sogar lokale und regionale Chancen und Vorteile für unser Land, diese gilt es zu nutzen. Gleichzeitig können Sie, können wir alle mit unserem Verhalten einen Beitrag leisten und Treibhausgase vermeiden und vermindern: Dazu gehört etwa die bewusste Entscheidung für ÖPNV und Fahrrad oder ressourcenschonendere Konsumgewohnheiten. Daher hat sich das Land das Ziel der Netto-Treibhausgasneutralität gesetzt und wird gleichzeitig die Anpassung an den Klimawandel in allen Bereichen systematisch einbeziehen.

Es geht um nichts weniger als die Freiheit künftiger Generationen, ein gutes Leben führen zu können!

Herzlichst

Ihr

A handwritten signature in blue ink that reads "Till Backhaus". The signature is written in a cursive, slightly slanted style.

Dr. Till Backhaus

Minister für Klimaschutz, Landwirtschaft, ländliche Räume und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern

Immer in Veränderung: Wetter und Klima

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



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

Deutschland liegt klimatisch im Übergangsbereich zwischen dem maritimen Klima Westeuropas und dem kontinentalen Klima in Osteuropa. Damit gehört das Land laut effektiver Klimaklassifikation nach Wladimir Köppen zur warmgemäßigten Klimazone der mittleren Breiten. Das Klima Mitteleuropas wird geprägt durch den wechselnden Einfluss zwischen feuchten, gemäßigt temperierten atlantischen Luftmassen und trockener, im Sommer heißer, im Winter kalter kontinentaler Luft. Die großräumige Zirkulation bestimmt, welche Luftmasse dominiert. Dementsprechend können die Jahreszeiten in einzelnen Jahren sehr unterschiedlich ausfallen. Daraus resultiert die Variabilität des Klimas in Mecklenburg-Vorpommern. Den dominierenden Einfluss stellt die Nähe zum Meer dar. Die hohe Wärmekapazität des Wassers sorgt für relativ milde Winter und mäßig warme Sommer.

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) beobachtet an vielen Orten das Wetter, teilweise seit mehr als 100 Jahren. Registriert werden Parameter wie Temperatur, Niederschlag, Sonnenschein und vieles mehr. Die Beobachtungswerte variieren von Tag zu Tag sowie von Jahr zu Jahr. Neben diesen Variationen können durch die Aufzeichnungen der Messsysteme des Deutschen Wetterdienstes auch langfristige Änderungen erkannt werden. Demnach ist es in Mecklenburg-Vorpommern seit 1881 etwa 1,7 °C wärmer geworden. Gleichzeitig nahm die Anzahl der Frost- und Eistage ab sowie die der Sommertage und Heißen Tage zu.

Die Menge des Niederschlags hat seit 1881 nur leicht um etwa 42 l/m² zugenommen. Dabei sind von der Zunahme insbesondere die Wintermonate betroffen. Die Anzahl der Tage mit mindestens 10 l/m² Niederschlag stieg seit 1951 bis heute nur geringfügig um etwa einen Tag an.

Erfasst wird des Weiteren die Höhe des Meeresspiegels. Auch hier ist eine Änderung zu beobachten: Der absolute Meeresspiegel ist seit 1960 um etwa 9 bis 13 cm an der deutschen Ostseeküste gestiegen.

Hat der Mensch einen Einfluss auf das Klima?

Mit dem Ausstoß von Treibhausgasen und der großflächigen Änderung der Landnutzung greift der Mensch in das natürliche Klimasystem der Erde ein. Die Abbildung unten zeigt den Anstieg der mittleren Konzentration des atmosphärischen CO₂, gemessen am Mauna Loa Observatorium (Hawaii, USA). Ein Schwerpunktthema der weltweiten Forschung ist daher die Analyse der Folgen dieser Eingriffe.

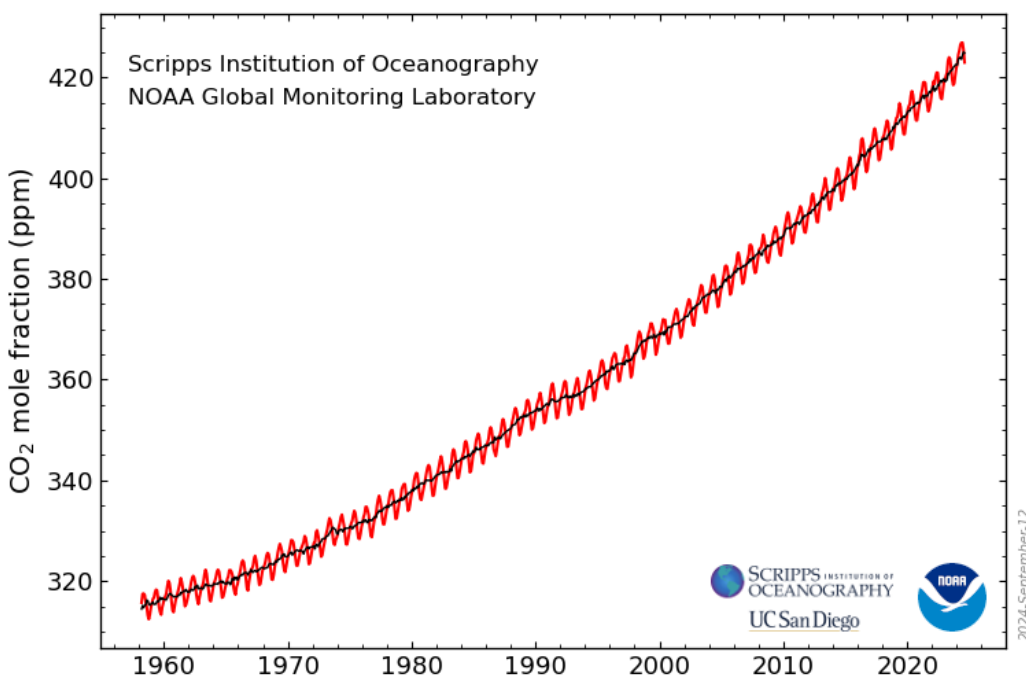
Mit Hilfe von Klimamodellen haben die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen die Auswirkungen auf das globale und regionale Klima auf der Basis von Szenarien untersucht. Für Mecklenburg-Vorpommern ergibt sich je nach gewähltem Szenario eine Erhöhung der Jahresmitteltemperatur von mindestens 1 °C bis hin zu fast 4 °C in den kommenden 80 Jahren. Eine Änderung von nur 1 °C ist laut den Klimamodellen nur bei deutlicher Reduktion der Emission von Treibhausgasen möglich. Bei weiterhin hohen Treibhausgasemissionen ist



eine Änderung von 3 °C bis 4 °C zu erwarten. Damit verbunden nimmt die Anzahl der Frost- und Eistage noch weiter ab, während die Zahl der Sommertage und Heißen Tage deutlich zunimmt.

Verbunden mit dem Temperaturanstieg werden sehr wahrscheinlich die jährlichen Niederschlagsmengen insgesamt weiter zunehmen. Auch die Anzahl der Tage mit mindestens 10 l/m² Niederschlag wird sich nach den Ergebnissen der Klimaprojektionen erhöhen.

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



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

Wetter, Klima und Extreme

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

Wetter - Messungen und Unsicherheit

Das Wetter weckt seit Urzeiten das Interesse der Menschheit. Früher stand die reine Augenbeobachtung im Vordergrund. Heutzutage wird das Wetter weltweit mit Hilfe moderner Messtechnik aufgezeichnet. Dabei werden nicht nur Bodendaten registriert, sondern auch Messungen auf den Meeren oder in der Atmosphäre vorgenommen.

Die Ergebnisse werden für klimatologische Zwecke mittels hochwertiger Verfahren aufbereitet, Klima- und Wirkmodelle für nahtlose Analysen, Vorhersagen, und Projektionen des Klimas in Deutschland weiterentwickelt, sowie deren Ergebnisse in Form von Gutachten, Expertisen, Auskünften und Veröffentlichungen ausgewertet und bewertet.

Der DWD verfügt über eines der dichtesten Beobachtungsnetze auf der Welt. Dieses Messnetz unterliegt

temporären Veränderungen. Stationen werden verlegt, neue aufgestellt, alte abgebaut. Zudem verbessert sich ständig die Messtechnik. Von den Parametern Niederschlag und Temperatur stehen uns die längsten Messreihen zur Verfügung. Es liegen Daten ab 1881 vor, wobei die Messdichte zu Beginn der Aufzeichnungen deutlich geringer war als sie es heute ist. Die Zeitreihen der Sonnenscheindauer, Wind und von Kenntagen wie z. B. Sommertagen beginnen in der Regel 1951. Alle Daten werden vor Veröffentlichung geprüft und auf Plausibilität untersucht. Aus den gewonnenen Stationswerten werden u. a. Rasterdatensätze berechnet, aus denen sogenannte Gebietsmittel für die einzelnen Bundesländer extrahiert werden können.

Unsicherheiten aller hier verwendeten Daten entstehen u. a. durch Messausfälle und Messungenauigkeiten. Insgesamt hat sich die Messgüte mit Weiterentwicklung der Messtechnik über die Jahre verbessert.



▲ Messfeld der Wetterstation Warnemünde. Hier werden unter anderem Luft- und bodennahe Temperaturen sowie Niederschlag, Wind und der Bedeckungsgrad des Himmels gemessen.



Was unterscheidet Wetter von Witterung?

Das Wetter beschreibt den aktuellen physikalischen Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeit. Hierfür werden unter anderem die spürbaren Wetterelemente wie Temperatur, Niederschlag, Wind oder Bewölkung genau beobachtet und aufgezeichnet.

Witterung hingegen fasst den Wetterablauf von mehreren Tagen oder Wochen, selten auch Monaten zusammen. Dabei werden typische Witterungstypen oder auch -verläufe unterschieden, wobei die Charakteristik durch die jeweils vorherrschende Wetterlage bestimmt wird. Die berücksichtigten Zeiträume sind im Gegensatz zum Klima wesentlich kürzer.

Was ist Klima?

Die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) definiert „Klima“ wissenschaftlich präzise als „Synthese des Wetters über einen Zeitraum, der lang genug ist, um dessen statistische Eigenschaften bestimmen zu können“. „Klima“, vom altgriechischen Wort *klíma* für „ich neige“ stammend, spielt auf die Konstellation der Erde im Sonnensystem an, auf die Neigung der Erdachse, den variierenden Abstand unseres Planeten zur Sonne und den damit zusammenhängenden markanten Schwankungen der meteorologischen Bedingungen. Das Klima war in der Vergangenheit nicht konstant. Aus der Erdgeschichte sind Kaltzeiten und Warmzeiten bekannt. Es bestehen vielfältige Wechselwirkungen zwischen der Atmosphäre und der Hydrosphäre (Ozea-

ne, Flüsse, Seen), der Biosphäre (Fauna, Flora), der Lithosphäre (feste, unbelebte Erde) und der Kryosphäre (Eis, Gletscher, Permafrostböden). Die Gesamtheit dieser Komponenten wird Klimasystem genannt.

Das Klima ist immer auf einen Ort bezogen. So ist beispielsweise das Klima von Boltenhagen ein anderes als das von Waren/Müritz. Natürliche Faktoren wie die geografische Lage (z. B. die Nähe zur Küste) und die Oberflächenbeschaffenheit eines Ortes (z. B. Gebirge) bestimmen das lokale Klima. Anthropogene Einflüsse wie Landnutzung (z. B. Wald, Bebauung, Landwirtschaft) haben einen zusätzlichen Einfluss. Um das Klima einer Region zu beschreiben, werden entsprechend den Vorgaben der WMO Zeiträume von mindestens 30 Jahren analysiert.

Die international gültige Referenzperiode umfasst die Jahre 1961 - 1990. Dieser Zeitraum wird verwendet, um langfristige Klimaentwicklungen zu bewerten, da diese Periode von der aktuell beobachteten beschleunigten Erderwärmung nur leicht betroffen ist. Für Aufgaben des Klimamonitorings, wie z. B. monatliche, saisonale oder jährliche Abweichungskarten, die nicht auf die Überwachung des längerfristigen Klimawandels ausgerichtet sind, sowie als Basis für Klimavorhersagen, wird der aktuelle Zeitraum 1991 - 2020 verwendet; dieser spiegelt das „erlebte“ Klima der Bevölkerung wider und wird im weiteren Verlauf Klimanormalperiode genannt.

Klimavariabilität

Das Klima ist als Summe von Wetter und Witterung etwas Variables. Es ist nicht ausreichend, das Klima allein mit einem Mittelwert zu beschreiben. Schon auf der Tagesskala beobachten wir eine hohe Variabilität des Wetters. Diese Variabilität zeigt sich auch bei der Witterung. Gleiches gilt für längere Zeitskalen. So sind im Winter die Temperaturen im Mittel geringer als im Sommer. Aber auch einzelne Jahreszeiten unterscheiden sich. Es gibt milde oder kalte Winter, trockene oder feuchte Sommer. Die beschriebene Variabilität zeigt sich nicht nur bei der Temperatur, sondern sie gilt für alle meteorologischen Elemente, wie z. B. Niederschlag und Sonnenscheindauer. Desgleichen weist ein sich durch den Klimawandel erwärmendes Klima diese Variabilität auf: Es wird nicht jedes Jahr etwas wärmer sein als das vorhergehende. Einzelne Jahre können sowohl wärmer als auch kälter gegenüber dem mittleren Verlauf sein. So war 2019 in Mecklenburg-Vorpommern eines der wärmsten Jahre seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Wie die Abbildung zeigt, wiesen bis auf den Monat Mai alle Monate zum Teil deutlich höhere Mitteltemperaturen auf als während der international gültigen Referenzperiode 1961 - 1990. Der Februar und Juni zeigten dabei mit einer positiven Temperaturabweichung von über vier Grad die größten Unterschiede zum langjährigen Mittelwert.

▼ Monatsmitteltemperaturen von Mecklenburg-Vorpommern. 2019 war eines der wärmsten Jahre seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Bis auf den Mai wiesen alle Monate zum Teil deutlich höhere Mitteltemperaturen gegenüber der Referenzperiode 1961 - 1990 auf. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.



Klimatrend

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



Extremereignisse

Extremereignisse sind sehr seltene Ereignisse, die stark von den mittleren Bedingungen abweichen. Ein Ereignis ist aus vielfältigen Gründen zu einem Extremereignis geworden. Es kann ein auf einen Tag bezogenes Ereignis sein, wie eine Orkanböe, ein längerfristiges Ereignis, wie eine langanhaltende Trockenheit, oder ein für den Zeitpunkt im Jahr sehr untypisches Ereignis. So ist beispielweise eine Temperatur von 20 °C an einem Julitag nicht ungewöhnlich. 20 °C an einem Neujahrstag wären außergewöhnlich und somit ein Extremereignis.

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

Klimawandel und Klimaprojektionen

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



Klimafaktor Mensch

Der Mensch wirkt auf vielfältige Weise auf das Klima ein. Wesentlich sind zwei Bereiche: Durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen entstehen unter anderem große Mengen an Kohlenstoffdioxid, das direkt in die Atmosphäre entweicht. Durch z. B. Abholzung, Aufforstung und Versiegelung verändert der Mensch die Landnutzung auf der regionalen und globalen Skala. Nur unter der gemeinsamen Berücksichtigung der natürlichen Einflüsse sowie derjenigen, die auf den Menschen zurückzuführen sind, können die beobachteten Änderungen des globalen Klimas erklärt werden.

Es ist nicht möglich, den Einfluss des Menschen auf das Klima der nächsten Jahre und Jahrzehnte im Detail vorherzusagen. Möglich sind aber Annahmen über den wahrscheinlichen Verlauf der Einflussnahme. Die-

se Annahmen werden in der Wissenschaft Szenarien genannt. In den letzten Jahren wurde eine Vielzahl denkbarer Szenarien entwickelt, die einen mehr oder minder starken Einfluss des Menschen auf das Klima beschreiben. In Vorbereitung auf den 5. Sachstandsbericht des Weltklimarats der Vereinten Nationen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) wurden vier repräsentative Szenarien oder „Konzentrationspfade“ (Representative Concentration Pathways, RCPs) ausgewählt. Hierbei handelt es sich um Szenarien, die den Verlauf von Treibhausgaskonzentrationen und den Einfluss von Aerosolen (kleinen Partikeln in der Atmosphäre wie z. B. Rußflocken) gemeinsam als Strahlungsantrieb beschreiben. Der Begriff Strahlungsantrieb ist vereinfacht als „zusätzliche/erhöhte Energiezufuhr“ für die Erde zu bezeichnen.

Die Szenarien werden RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 und RCP8.5 genannt. Hierbei steht die jeweilige Zahl (z. B. 8.5) für die „zusätzliche“ der Erde zur Verfügung stehende Energie von $8,5 \text{ W/m}^2$ im Jahr 2100 gegenüber der solaren Einstrahlung in den Jahren 1861 - 1880. Dieser Zeitraum repräsentiert den Zustand des Klimas, bevor der Mensch wesentlichen Einfluss auf die Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre genommen hat (nachfolgend vorindustrielles Niveau genannt). Für den 6. Sachstandsbericht wurden die vorhandenen Szenarien weiterentwickelt. Die möglichen ökonomischen und gesellschaftlichen Entwicklungspfade (Shared Socioeconomic Pathways, SSPs), die zu den unterschiedlichen RCP-Pfaden führen könnten, werden mit sogenannten Narrativen beschrieben. Diese Narrative beinhalten die sozioökonomischen, demographischen, technologischen, politischen, institutionellen und Lebensstil-Trends. Genutzt werden fünf Entwicklungspfade (SSP1 bis SSP5).

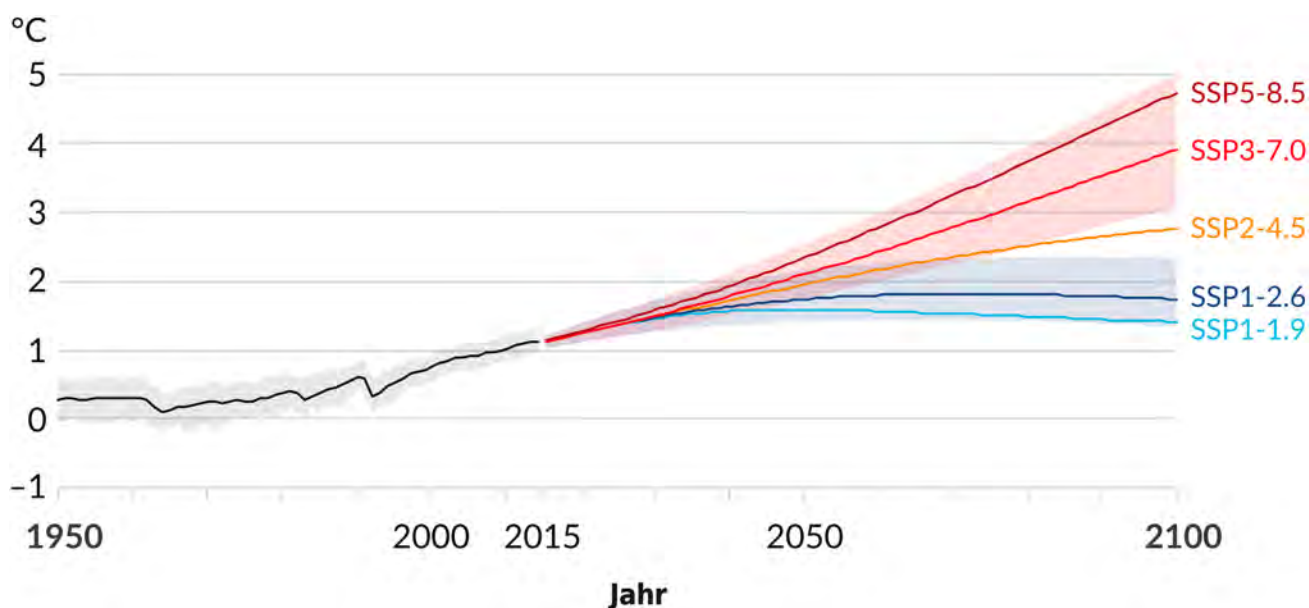
Diese SSPs beschreiben einen nachhaltigen (SSP1) und einen mittleren (SSP2) Weg sowie einen Weg regionaler Rivalitäten (SSP3) und einen fossiler Entwicklung (SSP5). Die beiden Szenarienprojekte wurden so konzipiert, dass sie sich gegenseitig ergänzen. Die RCPs legen Pfade für die Treibhausgaskonzentrationen fest und damit auch das Ausmaß der Erwärmung, die bis zum Ende des Jahrhunderts eintreten könnte. Die SSPs hingegen geben die Bühne vor, auf der Emissionsredu-



▲ Zugefrorener Hafen der Müritz in Waren im Dezember 2021.

zierungen erreicht oder nicht erreicht werden könnten. Ein Klimaszenario ist daher immer eine Kombination aus einem RCP und einem SSP.

Beispiele für diese Kombinationen sind SSP1-1.9 oder SSP5-8.5. Dabei kann meist mehr als ein SSP zu einer Entwicklung eines RCP führen. Regionale Datensätze für die SSP- und RCP-Szenarien liegen aktuell noch zu wenige vor. Daher werden in diesem Bericht die regionalen Ergebnisse auf Basis der RCPs vorgestellt.



▲ Änderungen der globalen Oberflächentemperatur in °C im Vergleich zum Zeitraum 1850 bis 1900, ermittelt durch Kombination von CMIP6-Modellsimulationen mit Beobachtungen, die auf der simulierten Erwärmung in der Vergangenheit beruhen. Änderungen im Vergleich zum Zeitraum 1850 - 1900 auf der Grundlage von 20-jährigen Mittelungszeiträumen werden berechnet, indem $0,85 \text{ °C}$ (der beobachtete Anstieg der globalen Oberflächentemperatur zwischen 1850 - 1900 und 1995 - 2014) zu den simulierten Änderungen im Vergleich zu 1995 - 2014 addiert werden. Sehr wahrscheinliche Bereiche sind für SSP1-2.6 und SSP3-7.0 angegeben (Quelle: IPCC AR6 WGI SPM.8).

In Kombination mit den RCPs werden im 6. Sachstandsbericht des Weltklimarates fünf dieser Szenarien mit höherer Priorität betrachtet: SSP1-1.9 und SSP1-2.6 sind Szenarien, welche einen Pfad wählen, der die globale Erwärmung entsprechend des Pariser Klimaabkommens bis zum Jahr 2100 auf unter 1,5 °C bzw. 2 °C über dem vorindustriellen Niveau begrenzt. Die Szenarien SSP2-4.5 und SSP3-7.0 beschreiben unterschiedliche moderate Emissionswege. Die stärkste Beeinflussung durch den Menschen wird durch das SSP5-8.5-Szenario dargestellt. Hier wird davon ausgegangen, dass jeder weitere Gewinn an Lebensstandard durch die Nutzung fossiler Energieträger erreicht wird.

Wie entwickelt sich unsere Emissions-Zukunft?

In diesem Klimareport werden Ergebnisse von Simulationsrechnungen für Mecklenburg-Vorpommern auf Basis eines Klimaschutzszenarios (RCP2.6) und eines Hochemissionszenarios (RCP8.5) gezeigt.

Das Klimaschutzszenario (RCP2.6) basiert auf Annahmen, die der 2-Grad-Obergrenze entsprechen. Ziel ist eine Welt, in der im Jahr 2100 die globale Erwärmung nicht mehr als 2 °C im Vergleich zum vorindustriellen Niveau beträgt. Dafür wird ein Szenarien-verlauf angenommen, der mit einer sehr starken und sehr schnellen Reduktion der Emission von Treibhausgasen gegenüber dem heutigen Zustand verbunden ist. Der Höchstwert des Strahlungsantriebes wird vor dem Jahr 2050 mit 3,0 W/m² erreicht. Danach sinkt er kontinuierlich auf 2,6 W/m² im Jahr 2100 (siehe Abbildung zu den jährlichen Emissionen). Hierzu ist ein Wandel zu einer Welt notwendig, deren Energieversorgung nicht mehr auf der Verbrennung von fossilen Kohlenstoffvorräten basiert. Noch vor dem Jahr 2080 dürfen keine wesentlichen Emissionen von Treibhausgasen mehr vorhanden sein (Null-Emission).



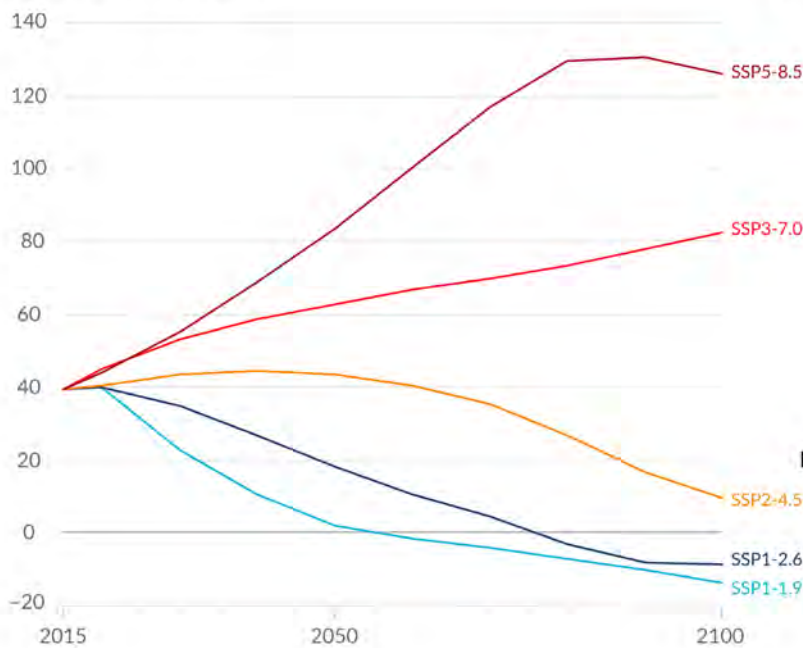
▲ Schnee und Eis in Warnemünde - für zukünftige Generationen kaum noch zu erleben?

erlich auf 2,6 W/m² im Jahr 2100 (siehe Abbildung zu den jährlichen Emissionen). Hierzu ist ein Wandel zu einer Welt notwendig, deren Energieversorgung nicht mehr auf der Verbrennung von fossilen Kohlenstoffvorräten basiert. Noch vor dem Jahr 2080 dürfen keine wesentlichen Emissionen von Treibhausgasen mehr vorhanden sein (Null-Emission).

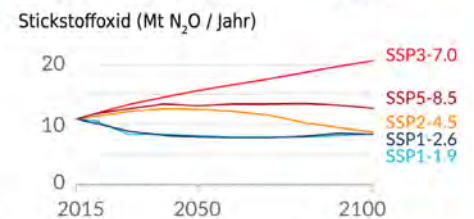
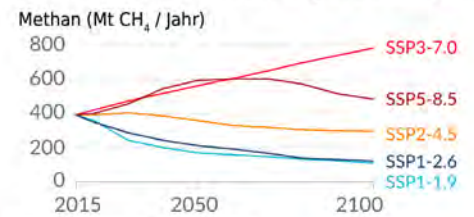


▲ Seebrücke Sellin.

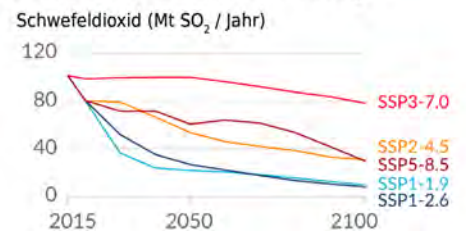
Kohlendioxid (Gt CO₂ / Jahr)



Ausgewählte Beiträge von Nicht-CO₂-Treibhausgasen



Ein Luftschadstoff- und Aerosolbeitrag



▲ Jährliche Emissionen über den Zeitraum 2015 bis 2100. Dargestellt sind die Emissionsverläufe für Kohlenstoffdioxid (CO₂, Gt CO₂ pro Jahr, linke Seite), sowie für Methan (CH₄, Mt CH₄ pro Jahr, rechte Seite oben) und Stickstoffoxide (N₂O, Mt N₂O pro Jahr, rechte Seite Mitte) und Schwefeldioxid (SO₂, Mt SO₂ pro Jahr, rechte Seite unten) (Quelle: IPCC AR6 Technical Summary, 2021, Fig. TS.4).

Das Hochemissionsszenario (RCP8.5) beschreibt eine Welt, in der die Energieversorgung im Wesentlichen auf der Verbrennung fossiler Kohlenstoffvorräte beruht. Der Ausstoß von Treibhausgasen wird sich gegenüber heute mit einem stetigen Anstieg des Strahlungsantriebes bis hin zum Jahr 2100 erhöhen.

Zu Vergleichszwecken wird im Folgenden ein weiteres Szenario erwähnt, das SRES-Szenario A1B. Es beschreibt eine Welt mit starkem ökonomischem Wachstum und einer Bevölkerungszunahme bis zur Mitte des Jahrhunderts sowie einem Rückgang danach. Auf diesem Szenario beruhen die Klimaprojektionen des 4. Sachstandsberichtes des IPCC. Ein Großteil des in den letzten Jahren kommunizierten möglichen kommenden Klimawandels basiert auf diesem Szenario.

Was wäre wenn? - Klimaprojektionen

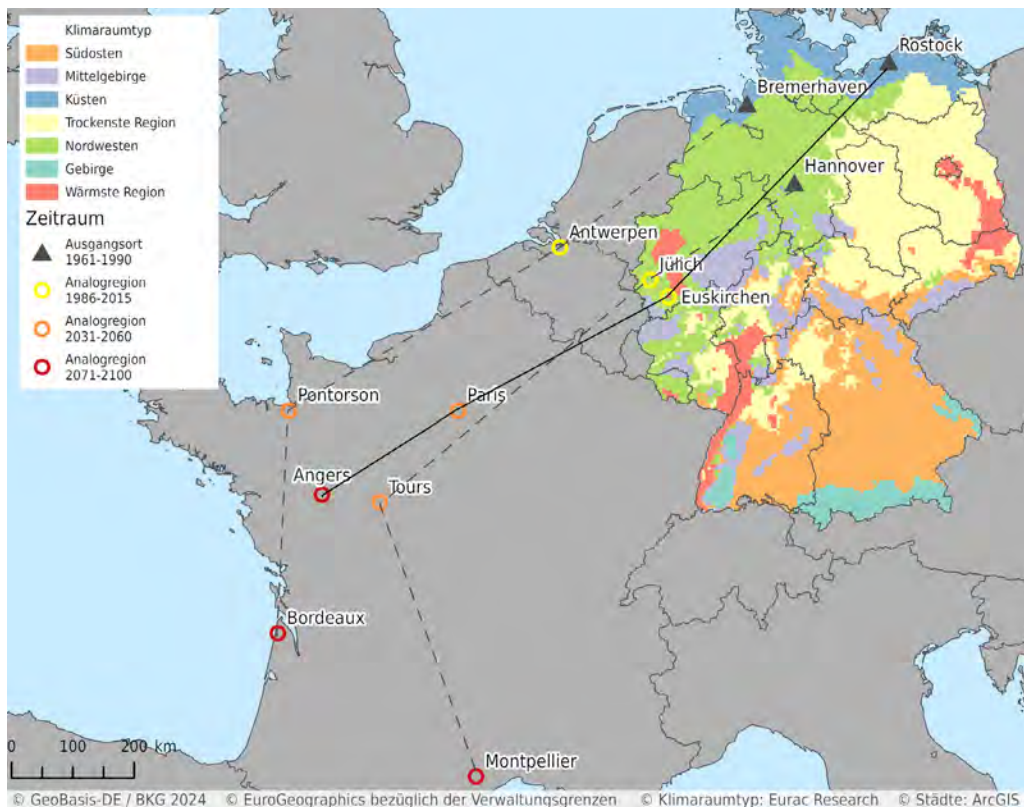
Wird ein globales Klimamodell dazu genutzt, den möglichen Klimawandel auf Basis eines Szenarios zu berechnen, so erfolgt das im Rahmen einer Klimaprojektion. Eine Klimaprojektion darf nicht mit einer Vorhersage verwechselt werden. Sie ist eine „Was wäre wenn“-Rechnung auf der Basis des gewählten Szenarios. Die Klimaprojektionen für die verschiedenen Szenarien

helfen, die zu erwartenden Klimaveränderungen in eine Bandbreite einzuordnen, zum Beispiel durch die Frage: Welches sind die minimal zu erwartenden Änderungen, welches die maximalen? Letztendlich werden die realen Veränderungen wahrscheinlich innerhalb dieser Bandbreite liegen.

Für diesen Bericht werden Ergebnisse von 32 Klimaprojektionen verwendet, die den Zeitraum 1971 bis 2100 umfassen. Um den Unterschied zwischen dem heutigen und einem zukünftigen Zustand zu berechnen, werden jeweils zwei 30-Jahres-Zeiträume genutzt. Für jeden Zeitraum wird ein mittlerer Zustand berechnet. Als Bezugszeitraum für das beobachtete Klima dienen die Jahre 1971 bis 2000 aus den Modellen. Für die Zukunft werden zwei Zeiträume analysiert. Sie werden im Weiteren kurzfristiger und langfristiger Planungshorizont genannt. Der kurzfristige Planungshorizont beschreibt den mittleren Zustand der Jahre 2031 bis 2060. Die Jahre 2071 bis 2100 werden als Grundlage für den langfristigen Planungshorizont genutzt. Die zukünftigen Änderungen werden als ein mittlerer Wert und als Bandbreite angegeben. Beschrieben wird die Bandbreite über den geringsten und höchsten Änderungswert aus den vorhandenen Datensätzen.

Klimazwillinge

Durch den fortschreitenden Klimawandel nähern sich die klimatischen Bedingungen verschiedener Regionen in Deutschland denen, die derzeit in südwestlicheren Gebieten herrschen, an. Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen gehen davon aus, dass in den kommenden 30 Jahren Verlagerungen von bis zu 500 Kilometern möglich sind.



▲ Verschiebung der klimatischen Bedingungen in Rostock im Vergleich zu Hannover und Bremerhaven: Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft.

Eine Studie aus dem Jahr 2021 zeigt, dass sich bereits „heute“ (Untersuchungszeitraum 1986 - 2015) Gebiete in Deutschland um mehrere hundert (100 - 600) Kilometer klimatisch nach Südwesten verschoben haben. Hierzu wurden Temperatur- und Niederschlagsdaten aus dem Zeitraum 1961 - 1990 ausgewertet und mit denen in anderen europäischen Regionen verglichen. Lokale Klimaveränderungen können durch räumliche Vergleiche veranschaulicht werden - so genannte Klimazwillinge. Unter anderem wurde die Hansestadt Rostock als Teil der Studie untersucht. So hat Rostock „heute“ ein Klima wie vor etwa 50 Jahren (1961 - 1990) die nordrhein-westfälische Stadt Euskirchen. Grundlage der Studie ist das „pessimistische“ Szenario RCP8.5, in dem die jährliche Emission von

Treibhausgasen im Laufe des 21. Jahrhunderts noch deutlich steigt.

Ohne nachhaltige Klimaschutzmaßnahmen wird dieser Prozess weiter andauern. In den nächsten Jahrzehnten werden sich mittlere Temperaturen weiter erhöhen und Niederschlagsmuster (Zunahme von Starkniederschlagsereignissen, von Niederschlag in den Wintermonaten oder von Dürreperioden im Sommer) verändern. Dies führt zu einer Verlagerung der klimatischen Bedingungen deutscher Städte in südlichere Breiten, größtenteils nach Frankreich, wo ähnliche Niederschlagsmengen wie in Deutschland registriert werden. Somit wäre der Klima-

zwilling von Rostock für den Zeitraum 2031 - 2060 im Bereich der französischen Hauptstadt Paris zu finden. Zum Ende des Jahrhunderts (2071 - 2100) ist eine weitere Verschiebung anzunehmen. Klimaprojektionen besagen, dass sich die zukünftigen Temperaturen in Rostock denen im heutigen Angers annähern.

Diese Entwicklung wird existierende Ökosysteme und Infrastrukturen vor große Herausforderungen stellen. Die Auswirkungen auf Flora und Fauna und somit am Ende auf uns Menschen sind derzeit nicht abschätzbar.

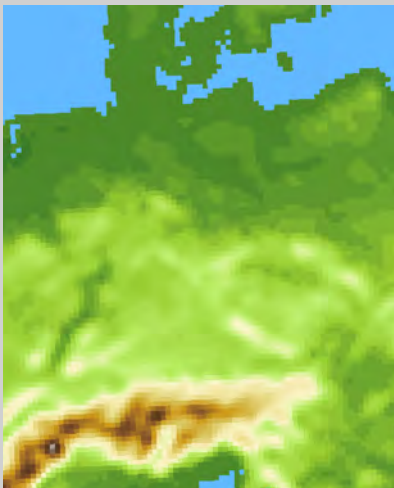
Literatur

UBA, EURAC (2021) Klimatische Zwillingstädte in Europa.

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



▲ Globales Klimamodell (sehr grob) $1,875^\circ$ (ca. 200 km)



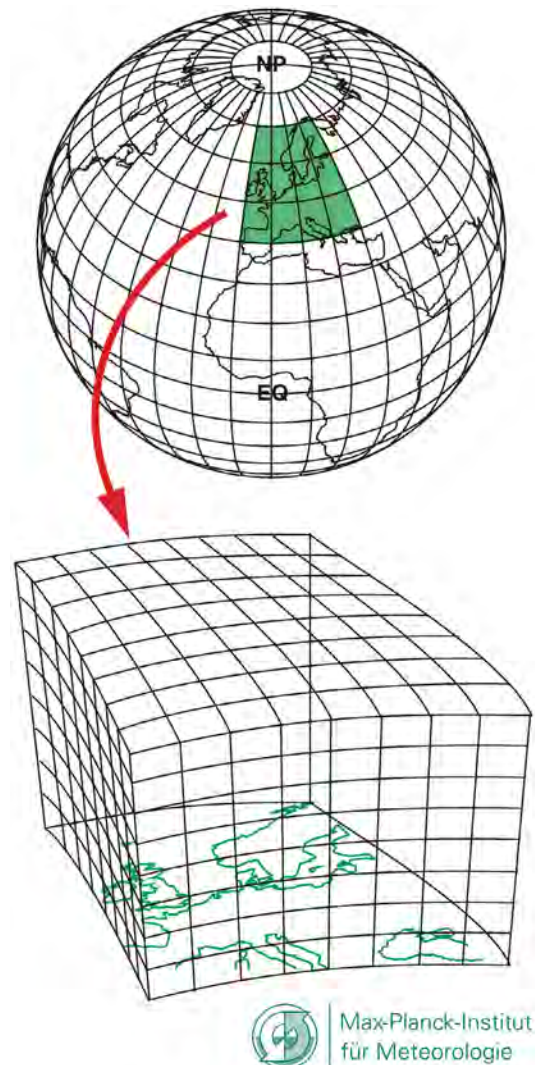
▲ Regionales Klimamodell (grob) $0,44^\circ$ (ca. 50 km)



▲ Regionales Klimamodell (fein) $0,11^\circ$ (ca. 12,5 km)

Viele Modelle, viele Ergebnisse

Weltweit werden von einer Vielzahl von Forschungsgruppen Klimamodelle mehr oder weniger unabhängig voneinander entwickelt. Einzelne Modellkomponenten werden dadurch unterschiedlich beschrieben, was wiederum zu unterschiedlichen Ergebnissen führt. Ursache hierfür sind die für die Entwicklung eines Modells notwendigen vereinfachten Grundannahmen gegenüber den in der Natur ablaufenden Prozessen. Die vorhandene Bandbreite des Ensembles (entsprechend einer Gruppe von Klimaprojektionen) ist ein wichtiger Hinweis auf die Güte des Verständnisses der unterschiedlichen Wechselwirkungen auf der Erde. Je größer die Bandbreite ist, desto vorsichtiger sollten Aussagen zum Beispiel über beschriebene Änderungssignale formuliert werden.



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

Das Klima in Mecklenburg-Vorpommern heute und morgen

In Deutschland gibt es unterschiedliche Klimaverhältnisse. Diese werden einerseits durch den Übergang vom maritimen zum kontinentalen Einfluss und andererseits durch die naturräumlichen Strukturen, die im Wesentlichen durch das Relief geprägt sind, charakterisiert. Für Deutschland wurden zwölf klimatisch unterschiedliche Modellregionen definiert. Für jede Region wurden die Klimaparameter bestimmt und Klimaprojektionen durchgeführt.



▲ Herbstlicher Nebel über Mecklenburg-Vorpommern.



▲ Kartenausschnitt der Modellregion Mecklenburg-Vorpommern und Lage der Orte Boltenhagen und Teterow.

Mecklenburg-Vorpommern ist ein Teil der Modellregion „Nordostdeutsches Tiefland“, die sich von der Ostseeküste bis an den Nordostrand des Harzes erstreckt. Sie ist von der Nähe zum Meer und einer niedrigen Geländehöhe geprägt. Die Klimaverhältnisse in einer Region lassen sich am besten durch Flächenmittelwerte der meteorologischen Parameter charakterisieren. Mittels mathematischer Methoden werden dafür die Messwerte der Stationen innerhalb dieses Gebietes flächig zu Gebietsmittelwerten interpoliert.

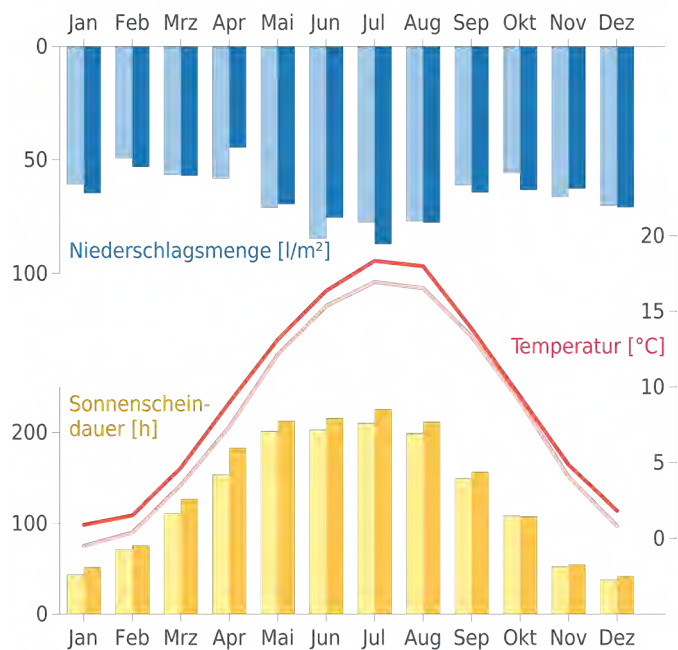
Die Klimadiagramme zeigen die Mittelwerte von Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer der international gültigen Referenzperiode 1961 – 1990 sowie der aktuellen Klimanormalperiode 1991 – 2020 im Vergleich. Hier sind Diagramme für Mecklenburg-Vorpommern und für Deutschland denen der beiden Orte Boltenhagen und Teterow gegenübergestellt. Erfahrungsgemäß kann das Klima einzelner Orte in einer

Region sehr unterschiedlich sein und vom Flächenmittel abweichen. Dies zeigen die Klimadiagramme der Orte Boltenhagen und Teterow. Während Boltenhagen im Nordwesten des Landes aufgrund seiner direkten Ostseelage milde Winter und kühle Sommer sowie besonders vom Spätsommer bis Frühwinter höhere Niederschläge aufweist, macht sich an der landeinwärts gelegenen Station Teterow der kontinentalere Einfluss u. a. durch niedrigere Winter- und leicht höhere Frühjahrs- und Sommertemperaturen bemerkbar. Aufgrund der geringeren konvektiven Bewölkung in den Sommermonaten scheint an der Küste im späten Frühjahr und Sommer außerdem häufiger die Sonne als im Binnenland.

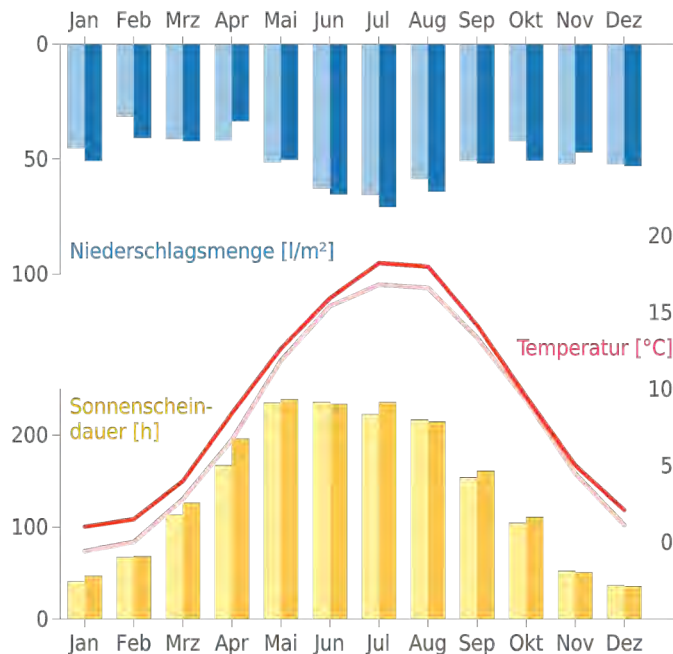
Auf den nachfolgenden Seiten werden die Veränderungen des Klimas in Mecklenburg-Vorpommern in der Vergangenheit und mögliche zukünftige Entwicklungen für verschiedene Parameter betrachtet.

▼ Vergleich der vieljährigen Mittelwerte 1961 – 1990 und 1991 – 2020. Dargestellt sind Deutschland, Mecklenburg-Vorpommern, Boltenhagen und Teterow. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.

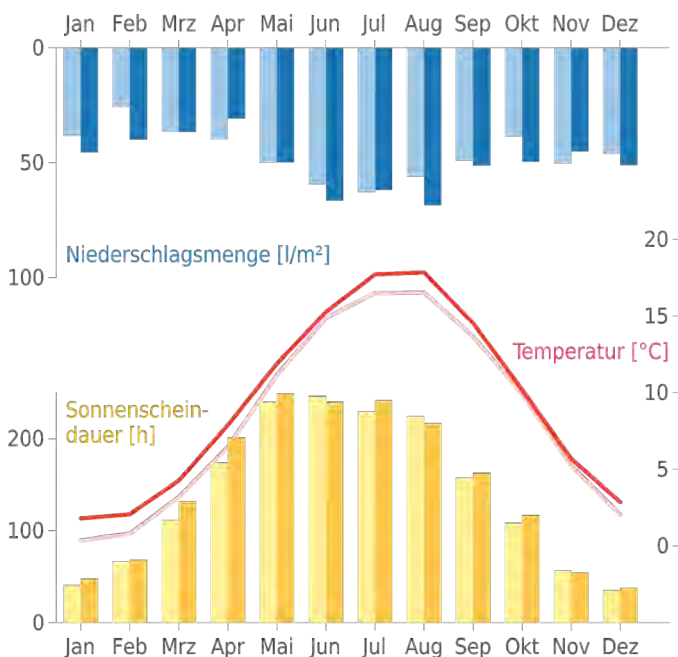
Deutschland



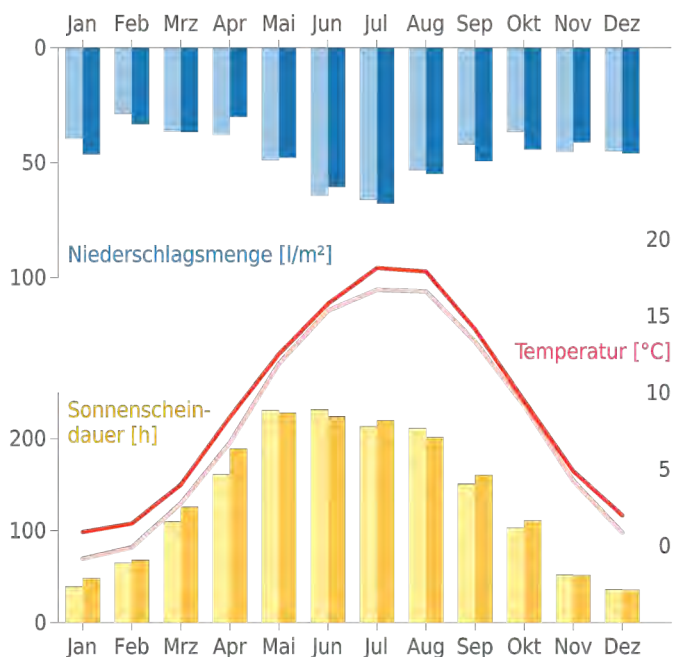
Mecklenburg-Vorpommern



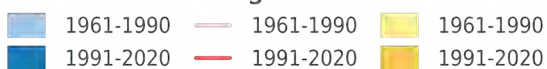
Boltenhagen



Teterow



Legende



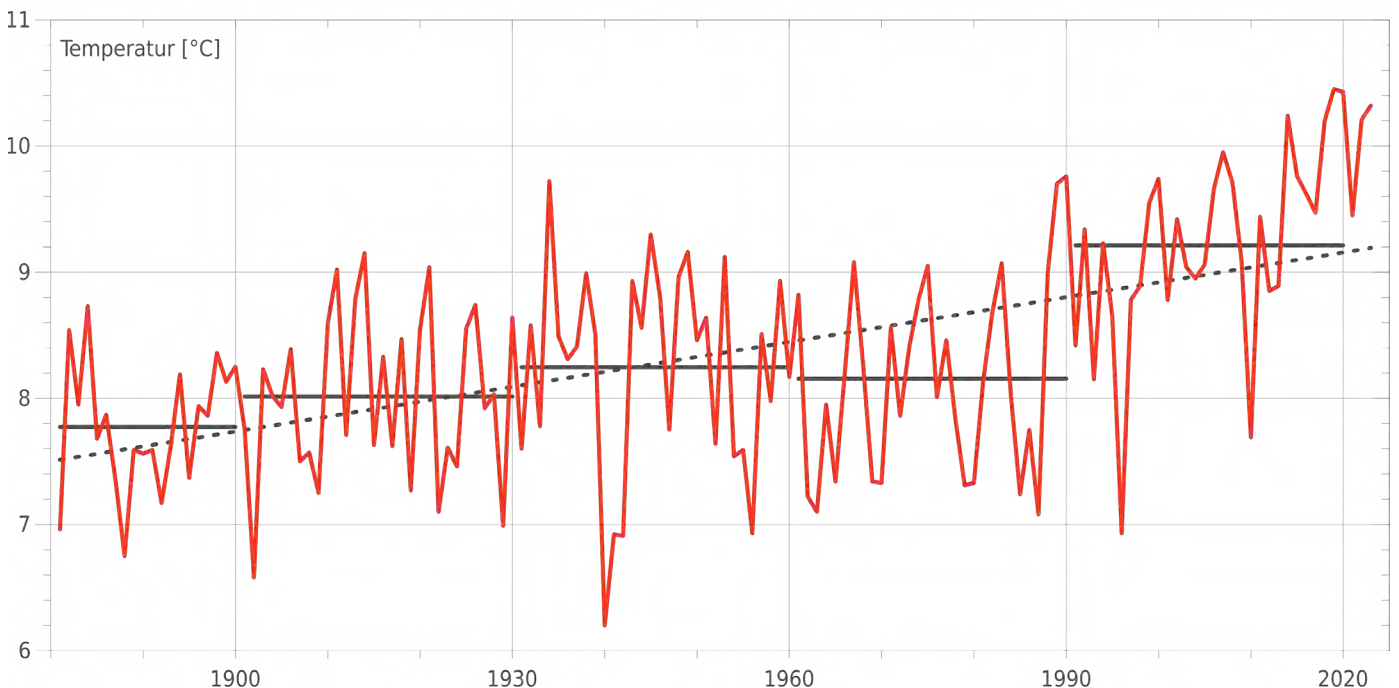
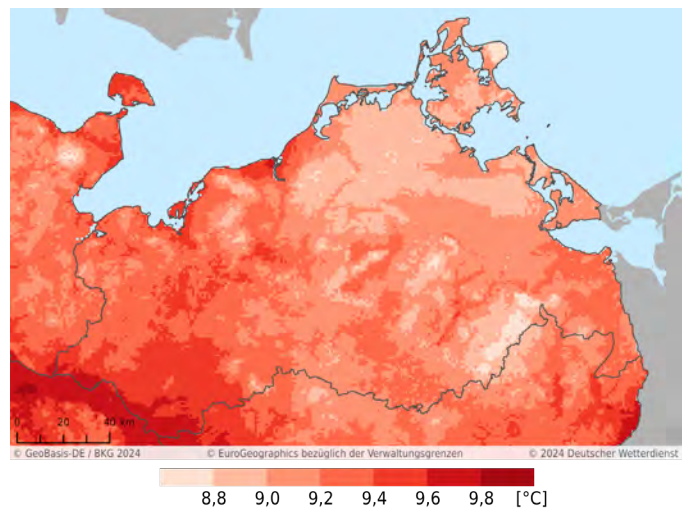
Temperatur

Die Jahresdurchschnittstemperatur in Mecklenburg-Vorpommern beträgt für den aktuellen 30-Jahreszeitraum 1991 – 2020 9,2 °C. Höhere Durchschnittstemperaturen gibt es besonders im südwestlichen und westlichen Binnenland und entlang der westlichen Ostseeküste, kühlere Bedingungen finden sich dagegen in den östlicheren Landesteilen.

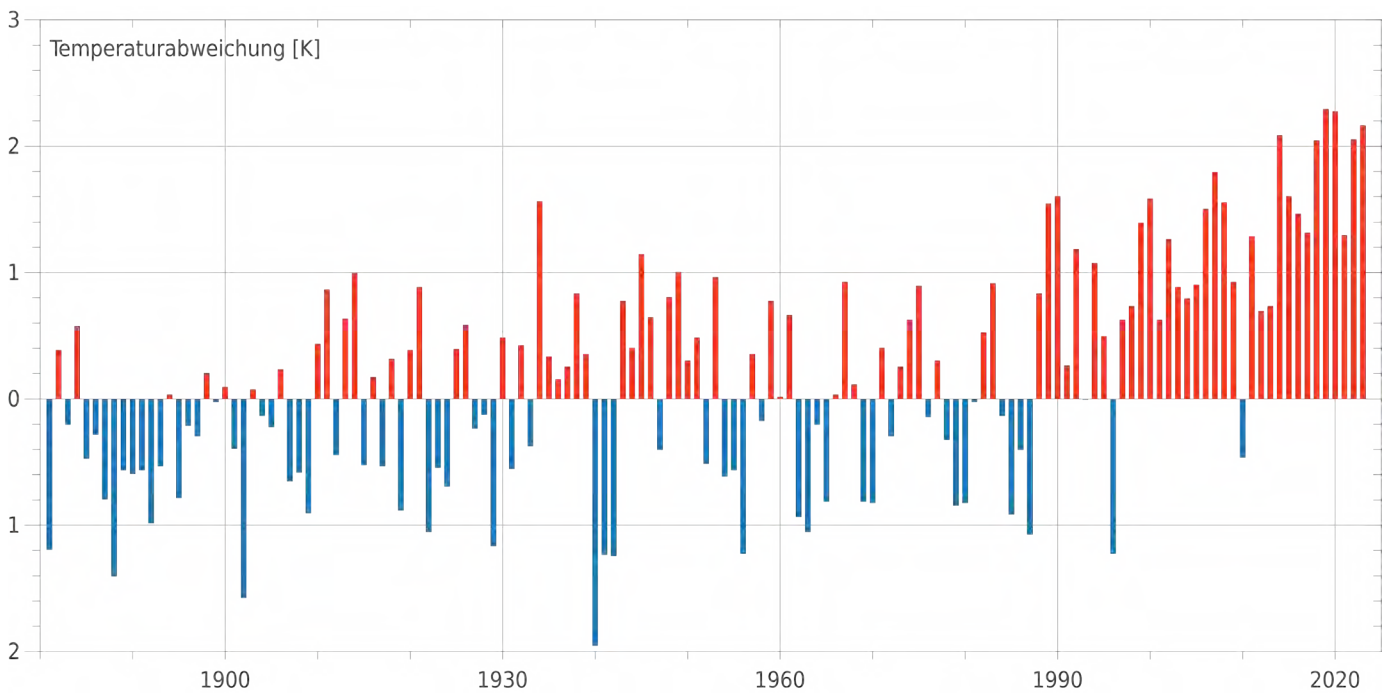
Veränderungen der Lufttemperatur seit 1881

In Mecklenburg-Vorpommern ist das Jahresmittel der Temperatur seit 1881 bis heute um etwa 1,7 °C gestiegen. Auch der vieljährige Mittelwert ist von 8,2 °C aus der Referenzperiode 1961 – 1990 auf mittlerweile 9,2 °C im aktuellen 30-Jahreszeitraum 1991 – 2020 angestiegen. 2019 und 2020 waren mit 10,5 bzw. 10,4 °C die bisher wärmsten Jahre in Mecklenburg-Vorpommern. In der Rangfolge der 16 wärmsten Jahre stammen nur vier Jahre aus der Zeit vor 2000.

► Jahresmitteltemperatur in Mecklenburg-Vorpommern im Zeitraum 1991 – 2020 als Flächendarstellung der Rasterwerte (1 km x 1 km) Umgebung; gemittelt aus Rasterdaten (1 km x 1 km) der Jahre 1991 – 2020.



▲ Es ist wärmer geworden in Mecklenburg-Vorpommern: Jahresmittelwerte der Temperatur (Gebietsmittelwerte) von 1881 – 2023 (rote Kurve). Die gestrichelte Linie zeigt den linearen Trend an und die schwarzen horizontalen Linien die 30-jährigen Mittelwerte. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.



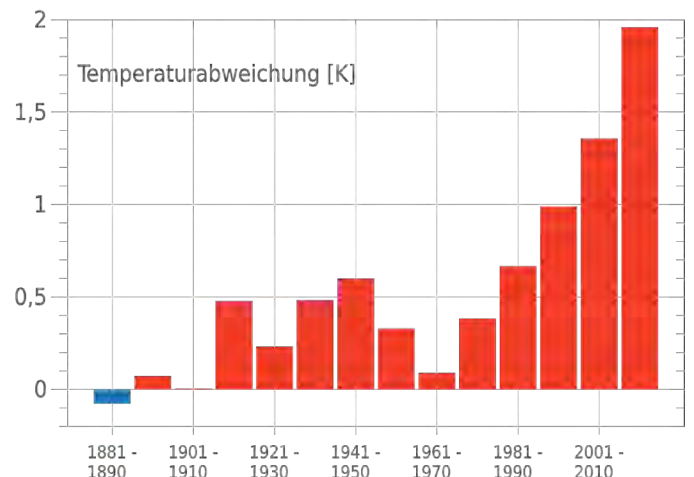
▲ Jährliche Temperaturabweichung in Mecklenburg-Vorpommern 1881 – 2023 gegenüber dem Referenzzeitraum 1961 – 1990. Die roten Balken zeigen positive und die blauen negative Abweichungen. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.

Die Klimavariabilität und der allmähliche Temperaturanstieg werden besonders deutlich, wenn die Jahresmittelwerte zu Dekadenmittelwerten zusammengefasst werden. Die Abbildung der Dekadenmittelwerte zeigt, dass vom Ende des 19. Jahrhunderts bis 1910 die Temperatur im Wesentlichen konstant blieb. Im Zeitraum 1910 bis 1950 und insbesondere im Zeitraum seit Mitte der 1980er Jahre ist ein verstärkter Anstieg der Temperatur zu beobachten, während die dazwischenliegenden Jahre weitestgehend auf demselben oder etwas niedrigerem Niveau der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts verharrten. In der Dekade zwischen 1961 und 1970 sanken die Lufttemperaturen sogar noch einmal in Bereiche des frühindustriellen Niveaus ab.

▼ Die 16 wärmsten Jahre in Mecklenburg-Vorpommern.

Jahr	Temperatur [°C]
2019	10,45
2020	10,43
2023	10,32
2014	10,24
2022	10,21
2018	10,20
2007	9,95
1990	9,76
2015	9,76
2000	9,74
1934	9,72
2008	9,71
1989	9,70
2006	9,66
2016	9,62
1999	9,55

Die Abweichung der Dekadenmittelwerte vom frühindustriellen Referenzzeitraum 1881 - 1910 zeigt die 1960er Jahre als letzte kühlere Dekade. Danach ist jede Dekade deutlich wärmer als die vorhergehende. In Mecklenburg-Vorpommern war die letzte Dekade 2011 - 2020 zwei Kelvin wärmer als die Dekade zu Beginn der Aufzeichnungen. Temperaturänderungen werden in Kelvin (K) angegeben. Ein Kelvin entspricht einem Grad Celcius.



▲ Abweichungen der Dekadenmittelwerte in Mecklenburg-Vorpommern 1881 – 2020. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.

Kenntage

Kenntage wie Sommer- oder Frosttage vermitteln Temperaturverhältnisse oftmals anschaulicher. Daher wird die Entwicklung dieser beiden Kenntage seit 1951 an dieser Stelle näher betrachtet.

Ein Sommertag liegt dann vor, wenn die höchste Temperatur des Tages 25 °C erreicht bzw. überschreitet. Die Anzahl der Sommertage als 30-jähriges Flächenmittel stieg in Mecklenburg-Vorpommern von 20 Tagen in der Referenzperiode 1961 – 1990 auf 29 im Zeitraum 1991 – 2020, also um 9 Tage. Deutschlandweit liegen die Vergleichswerte bei 27 bzw. 40 Tagen, was einem Anstieg von 13 Tagen entspricht. Die geringere Anzahl in Mecklenburg-Vorpommern ist der nördlichen Lage geschuldet. Der lineare Trend der Sommertage 1951 bis heute zeigt für das Gebiet Mecklenburg-Vorpommern ein Plus von 21 zusätzlichen Tagen auf. Die höchste Anzahl wurde 2018 mit 59 Tagen registriert.

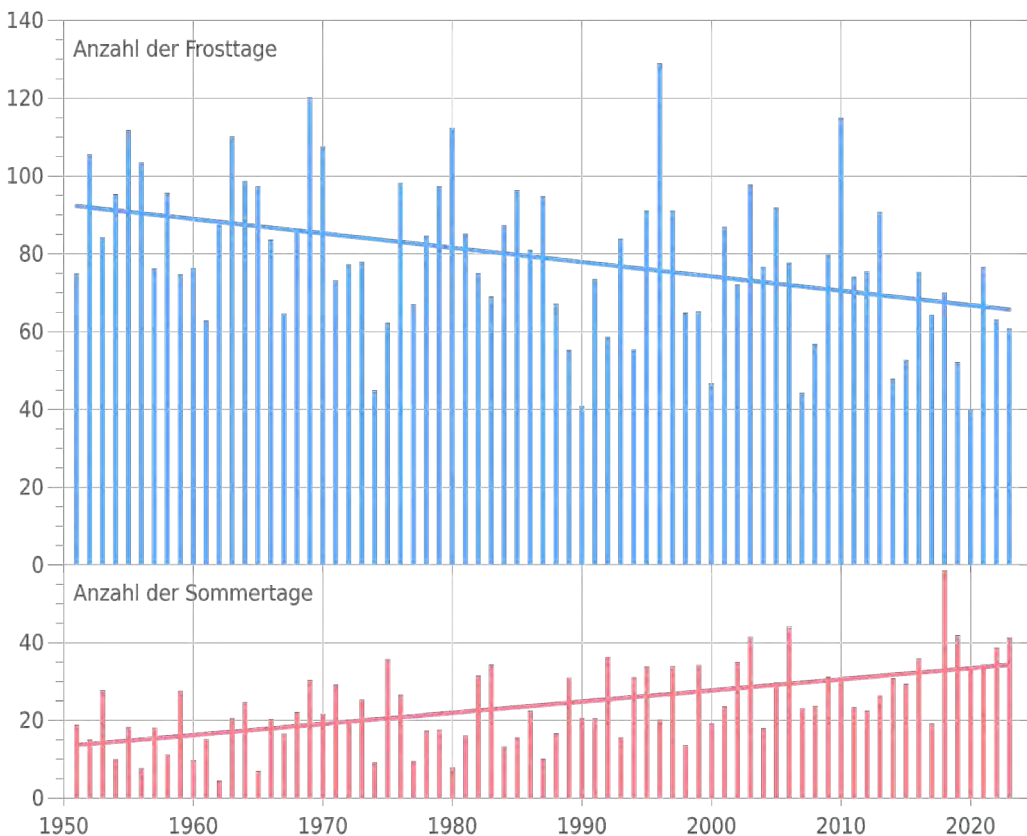
Die ausgleichend auf die Temperaturen wirkende Meeresnähe zeigt sich auch in der geringeren Anzahl von Frosttagen im nordöstlichsten Bundesland im Vergleich zu Deutschland. Ein Tag wird zu einem Frosttag,

wenn die tägliche Tiefsttemperatur 0 °C unterschreitet. So gibt es in Mecklenburg-Vorpommern für die Referenzperiode 1961 – 1990 im Mittel 82 Frosttage im Jahr, in Deutschland dagegen 91. Die Anzahl der Frosttage ging im Bundesland innerhalb des Zeitraumes 1991 – 2020 mit 9 Tagen ähnlich zurück wie mit 9,5 Tagen deutschlandweit. Im Gesamtzeitraum von 1951 bis 2023 ist im Trend ein Rückgang um 27 Frosttage für Mecklenburg-Vorpommern festzustellen.

Regionale Unterschiede

Das Klima im Norden Deutschlands ist noch stark vom Meer, besonders dem Atlantik, geprägt. Dabei ändern sich die Temperaturverhältnisse mit zunehmender Entfernung vom Atlantik von Westen nach Osten. Je weiter man nach Osten kommt, umso kontinentaler wird das Klima, d. h. der Meereseinfluss wird geringer.

Ein maritim geprägtes Klima zeichnet sich, im Vergleich zum kontinental geprägten Klima, durch deutlich geringere Temperaturschwankungen, sowohl im Jahres- als auch im Tagesverlauf aus. Ursache ist die größere Wärmespeicherfähigkeit des Meeres gegenüber den Landflächen.



▲ Die Zahl der Sommertage nimmt in Mecklenburg-Vorpommern zu, Frosttage werden seltener. Die Darstellung zeigt die Jahreswerte von 1951 – 2023 sowie den jeweiligen linearen Trend. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.





Die Landoberfläche wird durch die Sonnenstrahlung relativ schnell erwärmt und gibt einen großen Teil der aufgenommenen Energie jedoch schnell wieder an die Atmosphäre ab. Die Erwärmung des Wassers geht dagegen deutlich langsamer vor sich. Das Wasser wird durch Wind und Wellen durchmischt, wodurch die an der Oberfläche erwärmten Wasserteilchen nach unten transportiert und von unten durch kühlere ersetzt werden, die sich dann erwärmen können. Dadurch kommt im Vergleich zum Boden der Landoberfläche die sommerliche Erwärmung bis in tiefere Schichten des Wasserkörpers.

Während im Sommer die Wärme an Land nur bis etwa 8 m Tiefe in den Erdboden eindringt, kann sie in der Ostsee je nach Windverhältnissen bis zu über 20 m tief gelangen. Dies entspricht der Tiefe der sommerlichen winddurchmischten Deckschicht, die Temperaturen von 20 °C erreichen kann. Außerdem ist diese vom Wind verursachte Vermischung sehr viel effektiver als die molekulare Wärmeleitung im Erdboden, bei der unterhalb von einigen Metern nur noch ein Bruchteil der Wärme ankommt. Die im Sommer vom Meer so gespeicherte Wärmeenergie kann im Winter allmählich wieder abgegeben werden. Deshalb sind die Temperaturen

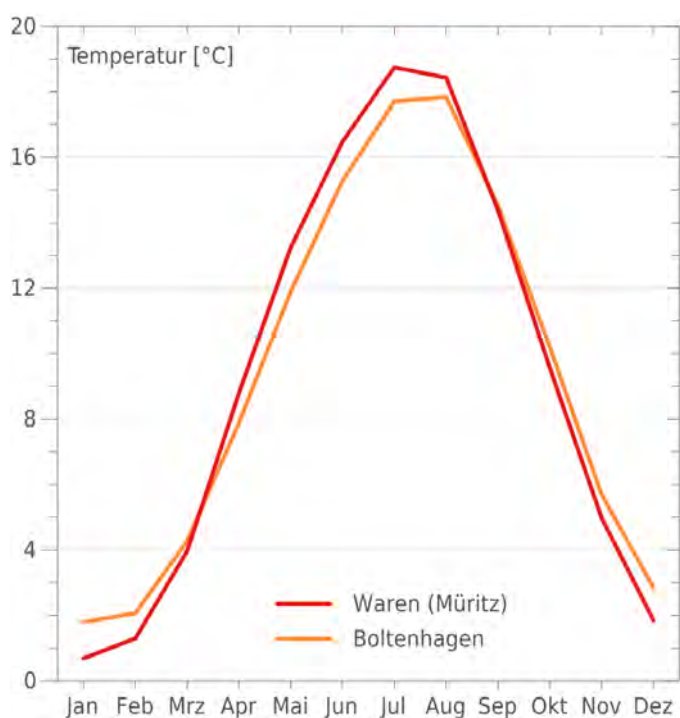
an Orten, die in Meeresnähe liegen, ausgeglichener. Nicht nur der Atlantik, sondern auch die Ostsee weist diesen ausgleichenden Einfluss auf das Temperaturverhalten auf.

Dieser Effekt zeigt sich auch bei der Betrachtung einzelner Bereiche Mecklenburg-Vorpommerns. Sowohl bezüglich der Jahresmitteltemperaturen als auch der Sommer- und Frosttage sind regionale Unterschiede festzustellen, die auf die unterschiedliche Nähe zum Meer zurückgeführt werden können. Die Jahresmittel-

▼ Jahresmitteltemperaturen ausgewählter Stationen. Datenbasis: Stationswerte des DWD.

	1961 - 1990	1991 - 2020
Boltenhagen	8,4	9,3
Boizenburg	8,4	9,4
Arkona	7,9	8,9
Waren/Müritz	8,1	9,4
Ueckermünde	8,2	9,3
Gebietsmittel	8,2	9,2

temperatur des aktuellen 30-Jahreszeitraumes 1991 – 2020 der Station Boizenburg liegt mit 9,4 °C um 0,2 Grad über der von Boltenhagen mit 9,3 °C. Die Werte beider Stationen liegen damit noch über der Gebietsmitteltemperatur von Mecklenburg-Vorpommern. Im Vergleich dazu sind die Jahresmitteltemperaturen an den östlicheren Stationen Arkona und Waren/Müritz mit Werten von 8,9 °C und 9,4 °C niedriger als an der entsprechenden westlicheren Binnen- bzw. Küstenstation. Im Vergleich zur Referenzperiode 1961 – 1990 sind die Jahresmitteltemperaturen an allen betrachteten Stationen gestiegen.



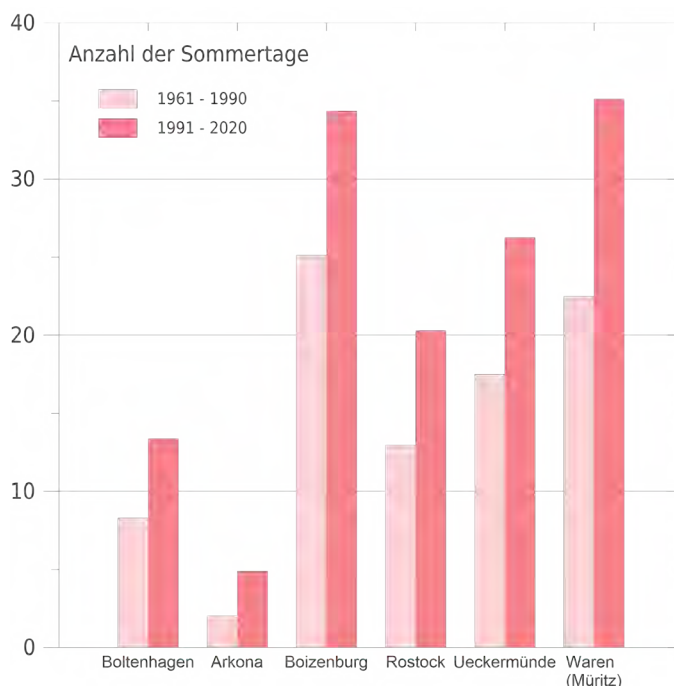
▲ Die Jahrgänge der Lufttemperatur an den Stationen Boltenhagen und Waren/Müritz (Mittelwerte 1991 – 2020) zeigen den maritimeren bzw. kontinentaleren Einfluss. Datenbasis: Stationswerte des DWD.

Auch die Jahrgänge der Temperatur der Küsten- und Binnenstationen unterscheiden sich. Stellvertretend wurden hier die Jahrgänge der Lufttemperatur für Waren/Müritz und Boltenhagen grafisch dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass an der Küste, aufgrund der noch kühlen Ostsee, die Sommertemperaturen nach einer verzögert einsetzenden Erwärmung im Frühjahr leicht gedämpft ausfallen, während die Herbst- und Wintermonate milder sind. In diesen Monaten profitieren die Küstenregionen von der noch relativ warmen Ostsee, die sich merklich langsamer abkühlt und damit zu einem gedämpften Temperaturrückgang in der kälteren Jahreszeit führt.

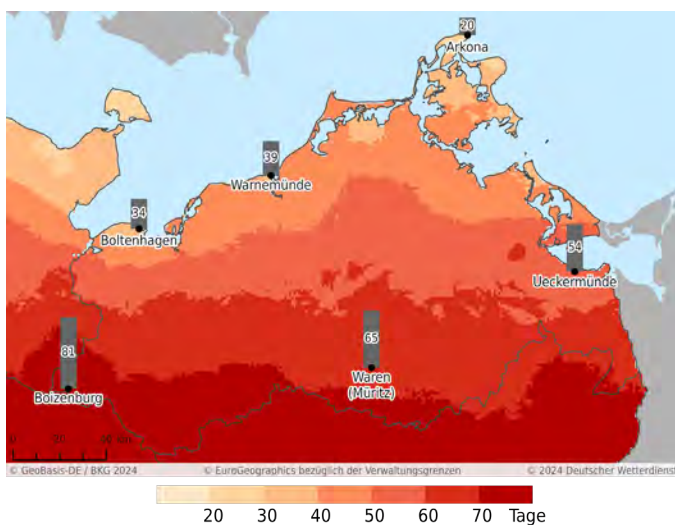
Regionalität auch bei den Kenntagen

Auch bei Betrachtung der Sommer- und Frosttage zeigt sich der binnenwärts abnehmende Einfluss der Ostsee. So war an den Küstenstationen Boltenhagen, Warnemünde und Arkona im Referenzzeitraum 1991 – 2020 nur an 13, 20 bzw. 5 Tagen im Jahr mit einer Lufttemperatur von mindestens 25 °C zu rechnen. Diese Zahlen liegen deutlich unter dem Gebietsmittelwert von Mecklenburg-Vorpommern mit 29 Tagen. Dagegen traten an den Stationen des Binnenlandes Boizenburg und Waren mit 34 bzw. 35 Sommertagen im Jahr häufiger Sommertage als im Mittel über das gesamte Bundesland auf. Auch die Station Ueckermünde zeigte trotz ihrer Lage am Oderhaff noch 26 Sommertage jährlich. Der Trend der Sommertage für die Einzelstationen deckt sich mit dem Trend für das Gebietsmittel. So stieg die Zahl der Sommertage im Zeitraum 1991 – 2020 an den Küstenstationen um 5 (Boltenhagen), 7 (Warnemünde) bzw. 3 (Arkona) und an den binnenwärts gelegenen Stationen Boizenburg und Waren um 9 bzw. 12 Tage gegenüber dem Zeitraum 1961 – 1991. Auch die Station Ueckermünde weist einen Anstieg um 8 Sommertage im Jahr auf.

Während an der westlichen Binnenstation Boizenburg im Zeitraum 1961 – 1990 81 Frosttage im Jahr beobachtet wurden, waren es an den Küstenstationen Boltenhagen bzw. Warnemünde nur 69 bzw. 66 Tage. Dagegen fiel diese Zahl an der östlicheren Binnenstation Waren/Müritz mit 85 Tagen im Jahr merklich höher

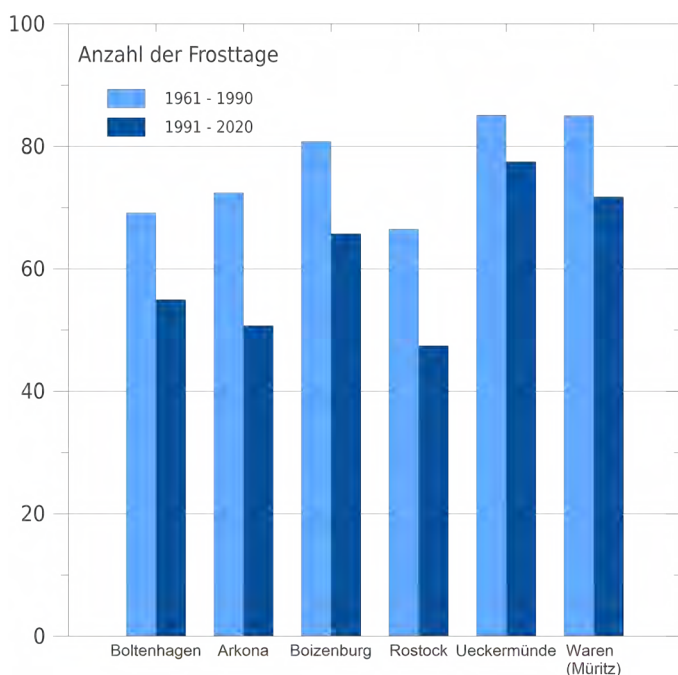


▲ Zahl der Sommertage: Mittelwerte 1961 – 1990 und 1991 – 2020 an verschiedenen Stationen, Datenbasis: Stationswerte des DWD.



▲ Zahl der Sommertage in Mecklenburg-Vorpommern im Jahr 2018 als Flächendarstellung der Rasterwerte (1 km x 1 km) sowie an verschiedenen Stationen.

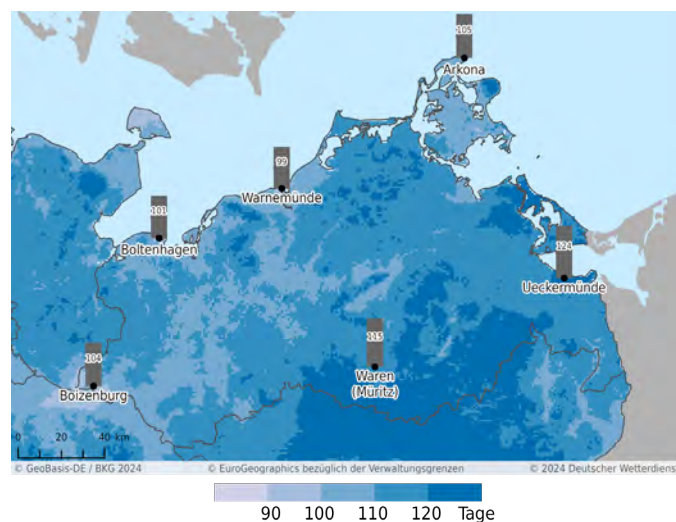
aus. Die Station Arkona mit 72 Frosttagen zeigt nur geringe Unterschiede zur westlicheren Station Boltenhagen. Somit macht sich auch bei den Frosttagen der dämpfende Einfluss der Ostsee auf die Temperaturextreme mit einer merklich geringeren Anzahl an Frosttagen bemerkbar. In Ueckermünde hat im Winter die Nähe zum Oderhaff einen geringeren Einfluss. An dieser Station wurden mit durchschnittlich 85 ebenso viele Frosttage registriert wie an der Station Waren/Müritz, aber 13 Tage mehr als in Arkona. 2018 wurde der bisher höchste Wert an Sommertagen im Gebietsmittel



▲ Zahl der Frosttage: Mittelwerte 1961 - 1990 und 1991 - 2020 an verschiedenen Stationen, Datenbasis: Stationswerte DWD.

für Mecklenburg-Vorpommern erreicht. In diesem Jahr wurde beispielsweise im Südwesten des Landes der Normalwert aus der Referenzperiode 1961- 1990 um mehr als 60 Sommertage übertroffen. Die regionale Verteilung dieses Jahres zeigt ein Maximum im Südwesten und Süden des Landes, während die geringste Anzahl im Nordosten auftrat.

Im Gegensatz zu den Sommertagen nahm, wie auch der Trend der Gebietsmittelwerte zeigt, im Zeitraum 1991 - 2020 die Zahl der Tage mit Frost ab. So treten in Boltenhagen nur noch 55, in Boizenburg 66, in Warnemünde 47, in Arkona 51, in Waren/Müritz 72 und in Ueckermünde 78 Frosttage jährlich auf.

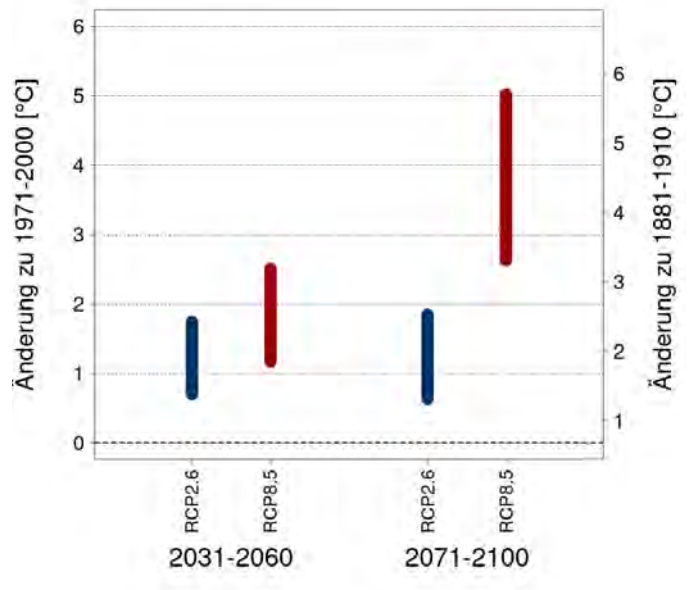


▲ Zahl der Frosttage in Mecklenburg-Vorpommern im Jahr 2010 als Flächendarstellung der Rasterwerte (1 km x 1 km) sowie an verschiedenen Stationen.

Deutliche Unterschiede zu den langjährigen Mittelwerten zeigten die sehr kalten Wintermonate des Winters 2009/2010. In diesem Winter wurde ab Mitte Dezember 2009 das Wetter im Nordosten Deutschlands fast durchgängig von sehr kalten, arktischen Luftmassen bestimmt. Dadurch fielen bis Mitte März fast durchgängig die Temperaturen unter den Gefrierpunkt. Da auch der Dezember 2010 sehr kalt wurde, lag die Zahl der Frosttage in Mecklenburg/Vorpommern im Jahr 2010 deutlich über dem langjährigen Mittelwert. Aber auch in diesem extremen Jahr folgte die Verteilung der Anzahl der Frosttage dem normalerweise zu erwartenden Auftreten mit einem Maximum im Süden und Südosten des Landes und geringeren Werten in Ostseelage und in Richtung Westen.

Zukunft

Auch in Zukunft ist ein weiterer Anstieg der Temperatur in Mecklenburg-Vorpommern zu erwarten. Für den kurzfristigen Planungshorizont (2031 - 2060) beträgt dieser Anstieg etwa 1,1 bzw. 2,0 °C im Mittel (Median der Ensemble von den zwei betrachteten Szenarien), bezogen auf den Vergleichszeitraum 1971 - 2000. Der Unterschied zwischen den durch die beiden Szenarien (Klimaschutzszenario und Hochemissionsszenario) projizierten Änderungen ist mit etwa 0,9 °C noch relativ gering.



▲ Darstellung der Bandbreite der vorhandenen Klimaprojektionen für die Jahresmitteltemperatur in Mecklenburg-Vorpommern. Dargestellt sind die vorliegenden Änderungssignale für den kurzfristigen (2031 - 2060) und langfristigen (2071 - 2100) Planungshorizont, jeweils als Änderungssignal zum Bezugszeitraum 1971 - 2000 (linke Achse) und zum frühindustriellen Zeitraum 1881 - 1910 (rechte Achse). Es werden je Planungshorizont die Ergebnisse für das Klimaschutzszenario (RCP2.6, blau) denen des Hochemissionsszenarios (RCP8.5, rot) gegenübergestellt. Die dargestellten Balken zeigen die Spannweite zwischen dem kleinsten und größten Änderungssignal innerhalb des betrachteten Szenarios. Die Bandbreite wird aus dem DWD-Referenz-Ensemble ermittelt (11 Klimaprojektionsmodelle für RCP2.6, 21 Modelle für RCP8.5).

Die Bandbreite der Ergebnisse liegt für das Klimaschutzszenario zwischen 0,7 °C und 1,7 °C und für das Hochemissionsszenario zwischen 1,2 °C und 2,5 °C.

Die Temperaturentwicklung für den langfristigen Planungshorizont wird stark vom gewählten Szenario bestimmt. Basierend auf dem Klimaschutzszenario ist eine Erhöhung um 1,1 °C zu erwarten. Erreicht wird die Stabilisierung auf dem Niveau des kurzfristigen Planungshorizontes durch die sehr starke Reduktion der Treibhausgasemissionen innerhalb der Szenariendefinition. Die Änderung im Vergleich zum frühindustriellen Zustand beträgt damit allerdings bereits 1,8 °C.

Unter den Bedingungen des Hochemissionsszenarios wird eine Erwärmung um etwa 3,7 °C erwartet, bezogen auf den Zeitraum 1971 - 2000. Während die Bandbreite für das Klimaschutzszenario zwischen 0,6 °C und 1,8 °C liegt, weist sie im Hochemissionsszenario eine Spannweite von 2,6 °C bis 5,0 °C auf.



	1961-1990	1971-2000	1981-2010	1991-2020	2031-2060	2031-2060	2071-2100	2071-2100
		Referenz			RCP2.6	RCP8.5	RCP2.6	RCP8.5
Frühjahr	7,1	7,5	8,0	8,4	0,8 (0,5 / 1,9)	1,7 (1,0 / 2,4)	1,0 (0,4 / 1,8)	3,3 (2,0 / 4,1)
Sommer	16,3	16,5	16,9	17,4	1,1 (0,5 / 2,1)	1,8 (1,1 / 2,7)	1,0 (0,6 / 1,9)	3,5 (2,3 / 5,6)
Herbst	9,0	8,9	9,2	9,6	1,5 (0,9 / 2,1)	2,2 (1,3 / 3,0)	1,3 (0,6 / 2,2)	4,0 (2,9 / 5,9)
Winter	0,2	0,9	1,0	1,5	1,2 (0,7 / 1,4)	2,1 (1,1 / 3,0)	1,1 (0,8 / 1,7)	3,9 (3,1 / 5,4)
Jahr	8,2	8,5	8,8	9,2	1,1 (0,7 / 1,7)	2,0 (1,2 / 2,5)	1,1 (0,6 / 1,8)	3,7 (2,6 / 5,0)
	°C	°C	°C	°C	K	K	K	K

▲ Jahreszeitliche und jährliche Mittelwerte der Lufttemperatur (in °C) jeweils für den Referenzzeitraum und drei weitere Vergleichszeiträume (Spalten 2 bis 5) sowie erwartete Änderungen (in K) für zwei Szenarien und zwei Planungshorizonte (Spalten 6 bis 9). Hier sind nicht absolute Temperaturen, sondern die Abweichungen zum Bezugszeitraum 1971 - 2000 angegeben.

Jahreszeitliche Unterschiede

Ein Vergleich der Bezugszeiträume 1961 - 1990 und 1991 - 2000 zeigt, dass sich die bisherige Erwärmung in Mecklenburg-Vorpommern auf alle Jahreszeiten verteilt, wobei im Frühjahr und Winter mit +1,3 °C die größten Temperaturzunahmen auftraten. Der Monat mit der größten beobachteten Erwärmung war mit +1,7 °C der April, gefolgt vom Januar und Februar mit +1,6 °C bzw. +1,5 °C. Die geringste Veränderung zeigte dagegen mit +0,2 °C der Oktober.

Die fortschreitende Erwärmung ist in den verschiedenen Jahreszeiten im Klimaschutzszenario ähnlich ausgeprägt, mit Ausnahme des Herbstes, hier fällt sie etwas größer aus. Im Hochemissionsszenario übertreffen die Temperaturzunahmen des Herbstes und Winters die des Frühjahres und Sommers dagegen deutlich.

Mit der Temperaturzunahme gehen auch markante Änderungen der Temperaturextreme einher. Mit tiefen Temperaturen verbundene Extreme nehmen stark ab, und mit Wärme verbundene Extreme nehmen stark zu. Dadurch steigt auch in Mecklenburg-Vorpommern die Wahrscheinlichkeit von Hitzewellen. Die Andauer und die Stärke von Frostperioden gehen dagegen zurück.

FAKTEN

Beobachtung

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

Kurzfristiger Planungshorizont

- Landesweit Erwärmung um im Mittel 1,1 bis 2,0 °C gegenüber 1971 - 2000

Langfristiger Planungshorizont

- Beim Klimaschutzszenario Stabilisierung auf eine Erwärmung um 1,1 °C gegenüber 1971 - 2000
- Beim Hochemissionsszenario Erwärmung um im Mittel 3,7 °C



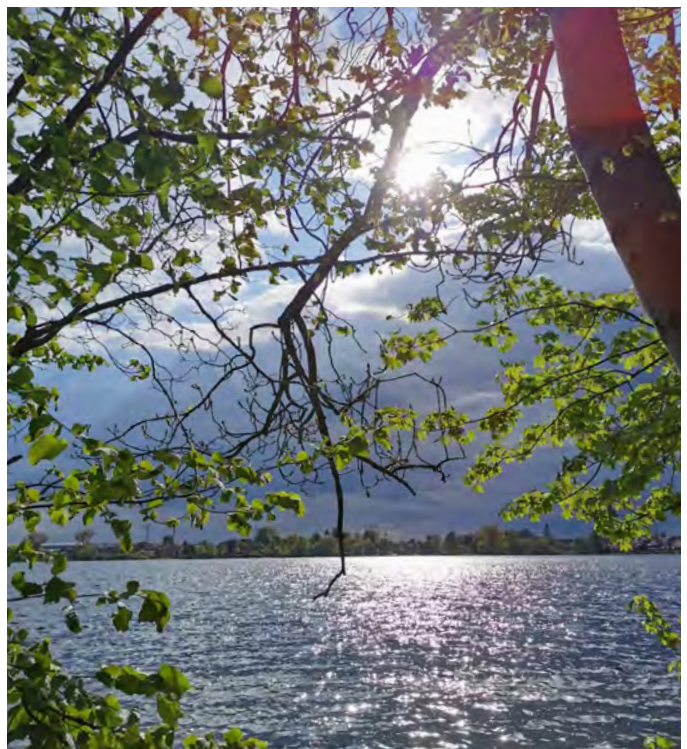
Niederschlag

Die Niederschlagsverteilung in Mecklenburg-Vorpommern wird bestimmt durch den Wechsel atlantischer und kontinental geprägter Luftmassen. Im Südosten von Mecklenburg-Vorpommern sind die niedrigsten Jahresniederschlagsmengen zu beobachten. Die Maxima des Niederschlags finden sich in Westmecklenburg sowie im Nordosten der Insel Rügen, im Bereich der Halbinsel Jasmund.

Veränderung des Niederschlags seit 1881

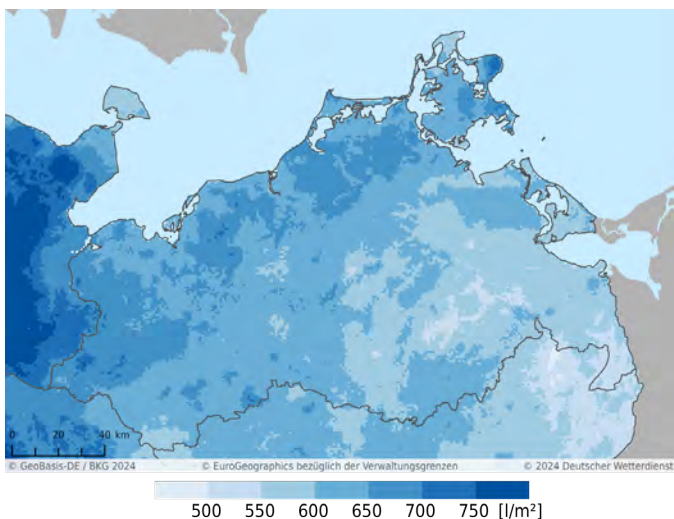
Niederschlag ist sowohl räumlich als auch zeitlich eine sehr veränderliche Größe. Im Trend zeigt sich für Mecklenburg-Vorpommern seit 1881 bis heute ein leichter Zuwachs von ca. 42 l/m² in der Jahressumme. Auf die Jahreszeiten bezogen trägt hauptsächlich der Winter zu dieser Zunahme bei, im Einzelnen etwa +38 l/m² im Winter, +4 l/m² im Herbst, -3 l/m² im Sommer und +1 l/m² im Frühjahr.

Auch wenn das Gebietsmittel der Jahressummen des Niederschlags für Mecklenburg-Vorpommern seit 1881 einen leicht ansteigenden Trend aufweist, zeigt es dabei jedoch eine große Veränderlichkeit von Jahr zu Jahr. Das höchste Flächenmittel wurde im Jahr 2007 mit 815 l/m² ermittelt, während 1959 mit 428 l/m² der niedrigste Wert auftrat. Das 30-jährige Mittel 1961 - 1990 beträgt 595 l/m², im Zeitraum 1991 - 2020 liegt es mit einem Mittelwert von 620 l/m² nur wenig höher.

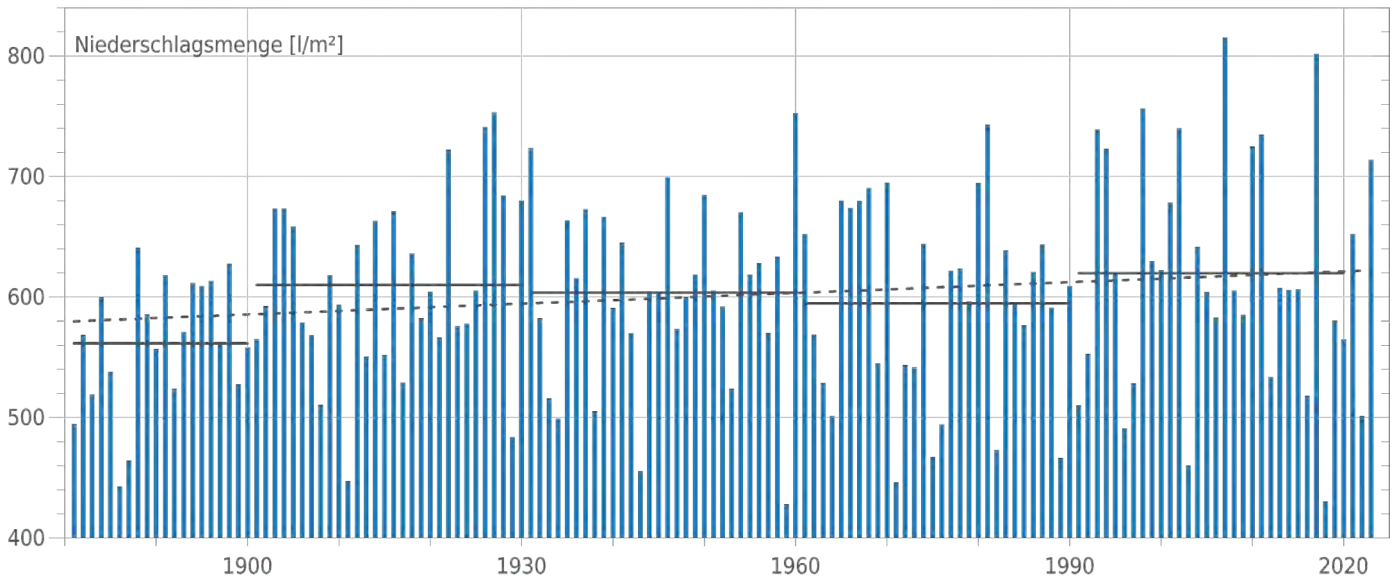


Große Schwankungsbereite zwischen zu nass und zu trocken

Die Niederschlagsmenge zeigt sich von Tag zu Tag sehr variabel zwischen den beiden Extremen des Zuwenig und des Zuviels. Große Niederschlagsmengen können durch den Kenntag mit einer Menge von mindestens 10 l/m² Niederschlag beschrieben werden. In Mecklenburg-Vorpommern gab es in den Zeiträumen 1961 - 1990 bzw. 1991 - 2020 im Mittel an 13 bzw. 14 Tagen pro Jahr eine Niederschlagsmenge von mindestens 10 l/m². Die Anzahl zeigt große jährliche Schwankungen: Ein Minimum von jeweils acht Tagen trat 1971 und 1982 auf, die größte Anzahl mit jeweils 20 Tagen pro Jahr wurde in den Jahren 1960, 2002, 2007, 2010 und 2011 verzeichnet. Der lineare Trend weist eine geringfügige Zunahme von 0,8 Tagen pro Jahr für den Zeitraum seit 1951 auf.



▲ Mittlere jährliche Niederschlagsmenge in Mecklenburg-Vorpommern im Zeitraum 1991 - 2020 als Flächendarstellung der Rasterwerte (1 km x 1 km).

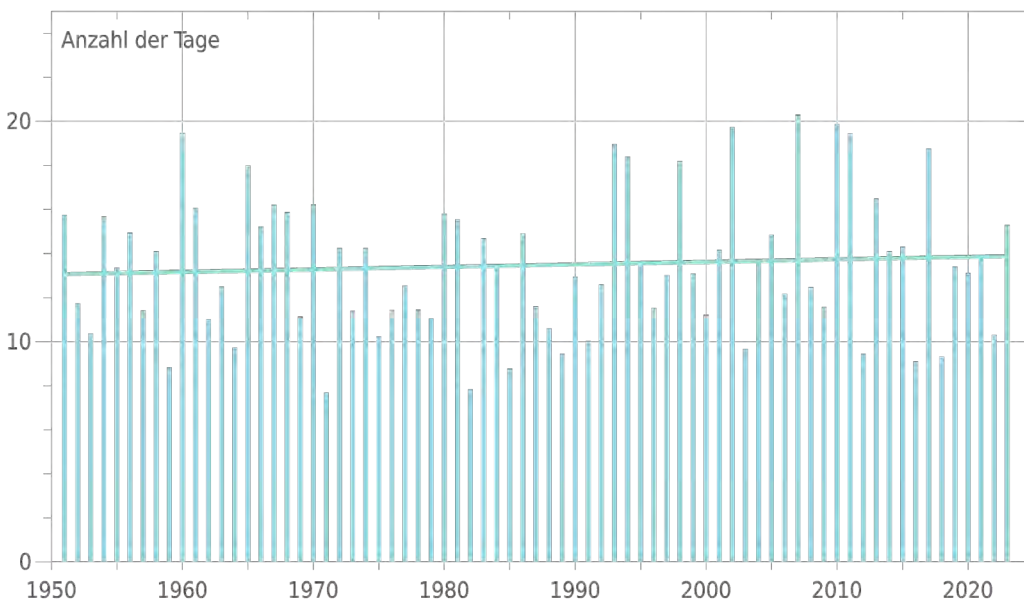


▲ In Mecklenburg-Vorpommern ist es etwas nasser geworden: Zeitreihe der Jahresniederschlagsmenge in l/m^2 (von 1881 bis 2023) und linearer Trend (blaue Linie). Schwarze Linien: 30-jährige Mittelwerte. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.

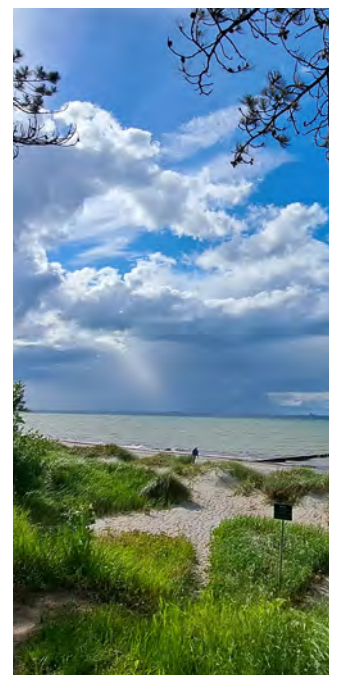
Starke Niederschläge, insbesondere in Verbindung mit kurzzeitigen sommerlichen Schauern und Gewittern, weisen nur recht kleinräumig Intensitätsmaxima auf. Die Auswertungen des Niederschlagsradars, dessen Messungen seit 2001 zur Verfügung stehen, werden zukünftig zu einer deutlichen Informationsverbesserung führen.

Zu wenig Niederschlag stellt in unterschiedlicher Weise ein Problem für Land- und Wasserwirtschaft sowie die Schiffbarkeit der Flüsse dar. Für diesen Bericht wurde ein Drei-Monats-Zeitraum als trocken de-

finiert, wenn die Gebietsniederschlagsmenge weniger als 45 % des Wertes aus dem Referenzzeitraum 1961 – 1990 beträgt. Für alle Jahreszeiten liegt die Zahl dieser Ereignisse zwischen einem und vier in den ausgewerteten 143 Jahren. Das trockenste Frühjahr fiel auf das Jahr 1974 mit 42 % der Durchschnittsmenge. Besonders trockene Sommermonate wurden 1976 mit 45 % verzeichnet. Der Herbst war 1907 mit 32 % sogar noch trockener als 2018 mit 39 % bzw. 1908 und 1920 mit 41 %. Im Winter 1946/47 fiel nur 31 % der langjährigen Niederschlagsmenge.



▲ Anzahl der Tage mit mindestens $10 l/m^2$ Niederschlag in Mecklenburg-Vorpommern und linearer Trend seit 1951. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.



Regionale Unterschiede

Die räumliche Verteilung der Niederschlagsmenge in Mecklenburg-Vorpommern ist von der Zufuhr atlantischer Meeresluftmassen geprägt. Häufig führen westliche bis südwestliche Windströmungen feuchte Luft vom Atlantik heran. Wie auch bei der Temperatur ändern sich die Niederschlagsverhältnisse mit zunehmender Entfernung vom Atlantik von Westen nach Osten. Je weiter man nach Osten kommt, umso geringer wird der Einfluss des Meeres: Die Niederschläge nehmen ab und das Klima wird kontinentaler.

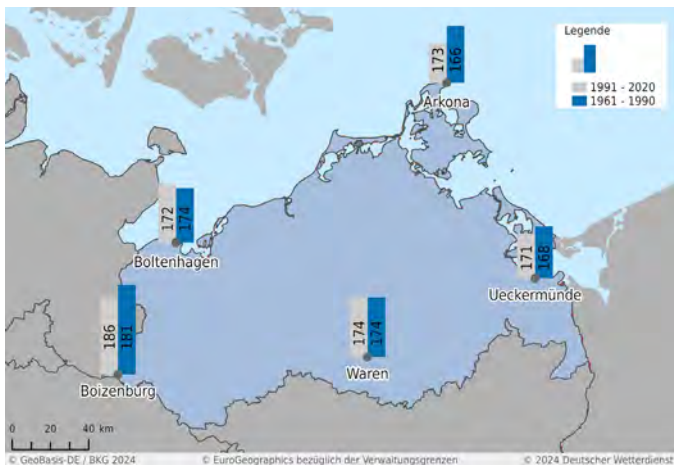
Die regionalen Unterschiede lassen sich anhand von Stationsmessungen für konkrete Orte verdeutlichen. So lag im Zeitraum 1991 - 2020 die jährliche Niederschlagsmenge an der westlichen Binnenlandstation Boizenburg mit 657 l/m² fast 40 l/m² über dem Gebietsmittelwert von Mecklenburg-Vorpommern. In Waren/Müritz und Ueckermünde wurden dagegen nur 580 bzw. 549 l/m² Niederschlag registriert. Diese Werte liegen 40 bzw. fast 70 l/m² unter dem Mittelwert für Mecklenburg-Vorpommern. Bei einem Vergleich der beiden Ostseeküstenstationen zeigt sich mit der zunehmenden Entfernung vom Atlantik ebenfalls eine Abnahme des Niederschlags von 596 l/m² in Boltenhagen zu 548 l/m² in Arkona.

▼ *Jahressummen der Niederschlagsmenge ausgewählter Stationen.*
Datenbasis: Stationswerte des DWD.

	1961 - 1990	1991 - 2020
Boltenhagen	552	596
Boizenburg	663	657
Arkona	521	548
Waren/Müritz	573	577
Ueckermünde	548	549
Gebietsmittel	595	620

Im Vergleich zu der Referenzperiode 1961 - 1990 stieg das Gebietsmittel für Mecklenburg-Vorpommern etwas an. Dieser Anstieg lässt sich an den Messwerten der Stationen Boltenhagen und Arkona deutlich ablesen. Anders ist es bei den binnenwärts gelegenen Stationen: Sowohl Boizenburg im Westen als auch Waren/Müritz und Ueckermünde weiter östlich zeigen nur sehr geringe Änderungen im Vergleich zur Referenzperiode. Die regionalen Unterschiede mit geringeren Niederschlagsmengen im Osten im Vergleich zum Westen sind in beiden Zeiträumen unverändert geblieben.





▲ Zahl der Tage mit Niederschlag von mindestens 0,1 l/m² an ausgewählten Orten in den Zeiträumen 1961 - 1990 und 1991 - 2020. Zur besseren Sichtbarkeit der Unterschiede liegt die Grundlinie der Säulen bei 150 Tagen. Datenbasis: Stationswerte des DWD.

Wie häufig gibt es Niederschlag?

Die Untersuchung der Anzahl von Tagen mit Niederschlag von mindestens 0,1 l/m² zeigt den Einfluss der zunehmenden Kontinentalität. So wurde an der Station Boizenburg im Referenzzeitraum 1961 - 1990 an etwa 186 Tagen im Jahr solch ein Niederschlagstag registriert, während es an den östlicheren Stationen Waren/Müritz und Ueckermünde nur an 174 bzw. 171 Tagen der Fall war. Ähnlich ist die Anzahl an den beiden Ostseeküstenstationen Boltenhagen und Arkona mit 172 bzw. 173 Tagen. Im Zeitraum 1991 - 2020 nahm die Anzahl der Tage mit Niederschlag in Boizenburg und Ueckermünde leicht ab, während in Waren/Müritz keine Änderung zu verzeichnen ist. An der Küste zeigte sich in Arkona im Osten eine leichte Abnahme, während in Boltenhagen nur eine sehr geringe Zunahme zu registrieren war.

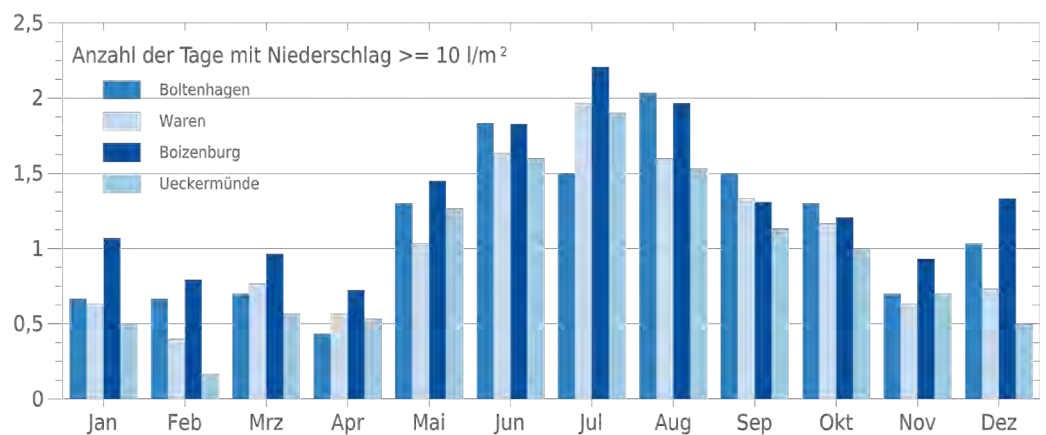
Ergiebiger Niederschlag von mindestens 10 l/m² wurde in der Referenzperiode 1961 - 1990 in Boizenburg an etwa 15 Tagen, weiter östlich in Waren/Müritz und Ueckermünde jedoch nur an ca. zwölf Tagen im Jahr gemessen. Nur an elf Tagen im Jahr wurden an den beiden Küstenstationen Niederschläge von wenigstens 10 l/m² registriert. Die Zahl der Tage



mit ergiebigen Niederschlägen änderte sich im Zeitraum 1991 - 2020 an den einzelnen Stationen kaum. Lediglich in Boltenhagen sind im aktuellen Bezugszeitraum drei Tage mit ergiebigem Niederschlag jährlich mehr zu verzeichnen.

Mehr Starkregen im Sommer

Die Jahrgänge ergiebiger Niederschläge an den Küstenstationen unterscheiden sich von denen der Binnenstationen. Besonders im späten Winter und Frühjahr, wenn die Ostsee noch relativ kalt ist, treten an der Küste seltener ergiebige Niederschläge auf als im Binnenland. Im Jahresverlauf nimmt dagegen die Häufig-



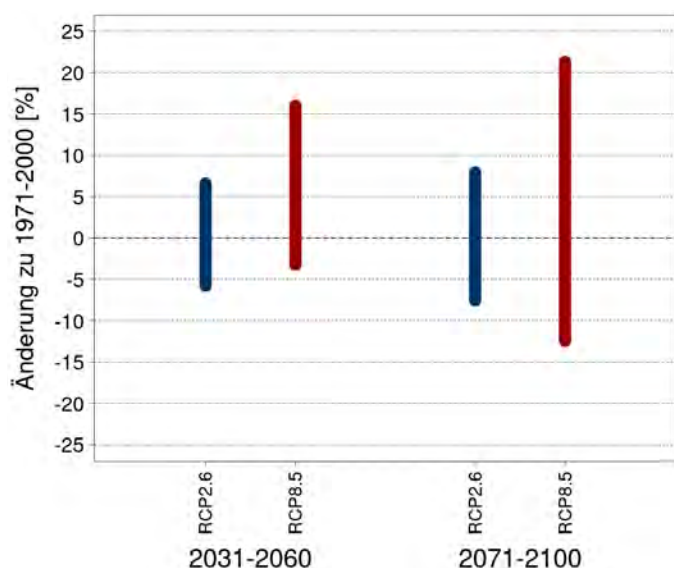
▲ Zahl der Tage mit Niederschlag von mindestens 10 l/m² an der Küste (Boltenhagen) im Binnenland (Waren/Müritz), im Westen (Boizenburg) und im Osten (Ueckermünde) von Mecklenburg-Vorpommern im Zeitraum 1991 - 2020. Datenbasis: Stationswerte des DWD.

keit stärkerer Niederschläge, die im Sommer meist an kräftige Schauer und Gewitter gekoppelt sind, an den Küstenstationen mit zunehmender Erwärmung der Ostsee zu. Im Verlaufe des Sommers und im Herbst liegt die Zahl der Tage mit mindestens 10 l/m² Niederschlag an der Küste oftmals über der an den Binnenstationen.

Im Vergleich zeigt die westlich gelegene Binnenlandstation Boizenburg in allen Monaten mehr Tage mit ergiebigen Niederschlägen als Ueckermünde im Osten. Besonders deutlich sind diese Unterschiede im Winter und zeitigen Frühjahr, wenn Tiefdruckgebiete ausgedehnte Niederschlagsgebiete vom Atlantik nach Mecklenburg-Vorpommern führen. Der Westen des Landes ist dann häufiger betroffen, da sich die Niederschlagsfelder auf dem Weg nach Osten abschwächen. In den Sommermonaten bringen meist Schauer und Gewitter kräftige Regengüsse, dadurch sind die Unterschiede zwischen westlichen und östlichen Gebieten verringert.

Zukunft

Eine deutliche Änderung der mittleren Jahressumme des Niederschlags im kurzfristigen Planungshorizont (2031 - 2060) ist für Mecklenburg-Vorpommern sowohl im Hochemissionsszenario als auch im Klimaschutzszenario nicht zu erwarten. Berechnet wird eine Zunahme des mittleren Jahresniederschlags von 2 bis 7 %. Der Unterschied zwischen den beiden Szenarien ist gering. Die Bandbreite der Ergebnisse liegt zwischen -6 % und +16 % Änderung. Grundsätzlich muss angemerkt werden, dass eine modellierte Änderung unterhalb von 10 % nicht von der natürlichen Klimavariabilität unterschieden werden kann. Diese Schwelle gilt auch für alle nachfolgenden Werte.



Für den langfristigen Planungshorizont (2071 - 2100) ist im Hochemissionsszenario für Mecklenburg-Vorpommern mit einer Zunahme des Jahresniederschlags um etwa 10 % zu rechnen. Die Bandbreite ist hier sehr groß und reicht von einer Abnahme um 12 % bis zu einer Zunahme um 21 %. Im Klimaschutzszenario ist dagegen kaum mit einer Änderung des mittleren Jahresniederschlags zu rechnen, bei einer Bandbreite von -8 % bis +8 %.

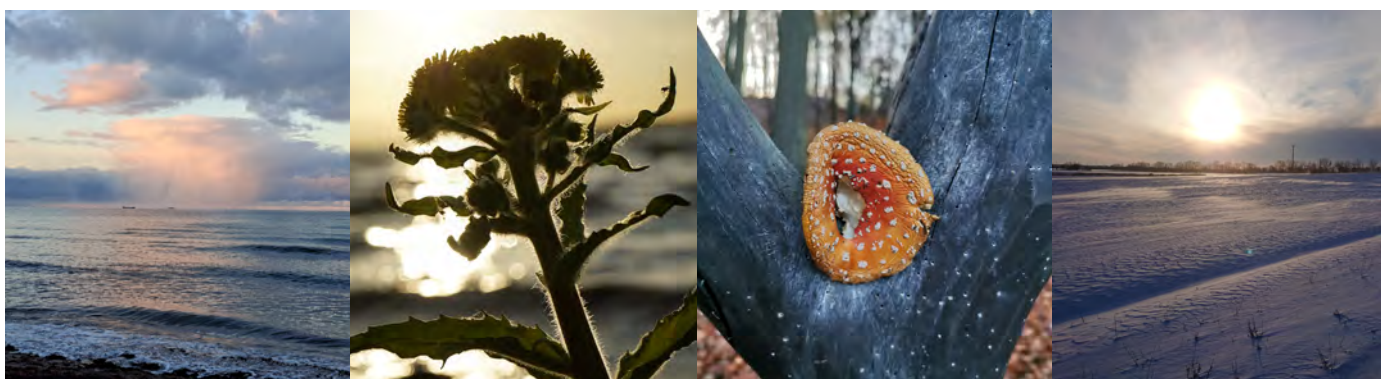
Die Entstehung und Entwicklung von Wolkenmustern ist noch eine der größten Unsicherheiten in den Klimamodellen, weshalb die langfristige Entwicklung des Niederschlags deutlich schwieriger vorherzusagen ist, als beispielsweise die der Temperatur.

Bezüglich der Änderung der Anzahl der Tage mit Niederschlag von mindestens 10 l/m² pro Tag ist sowohl für den kurzfristigen Planungshorizont als auch für den langfristigen Planungshorizont mit einer Zunahme zu rechnen, deren Intensität vom jeweiligen Szenario abhängig ist. Ein weniger ausgeprägter Anstieg wird für die Tage mit Niederschlag von 20 l/m² und mehr projiziert. Jedoch ist bei Starkniederschlägen die Spannweite innerhalb des Ensembles teilweise sehr groß, so dass die Resultate nur wenig belastbar sind.

Jahreszeitliche Unterschiede

Für den kurzfristigen Planungshorizont 2031 - 2060 werden unter Verwendung aller RCP-Szenarien für den Winter Zunahmen der Niederschlagsmenge um +5 bis +10 % berechnet. In den Sommermonaten werden sich die Niederschläge bei einer berechneten Abweichung von -1 bis +4 % nach derzeitigem Kenntnisstand kaum verändern. Die Bandbreite der Ergebnisse aller genutzten Modelle ist mit Zunahmen um +21 % bis hin zu einem Rückgang um -16 % allerdings recht groß. Im Frühjahr zeigen sich für diesen Planungshorizont Zunahmen der mittleren Niederschlagssumme von +6 bis +12 %. Im Herbst sind dagegen kaum Änderungen zu erwarten.

◀ Bandbreite der vorhandenen Klimaprojektionen für die Jahresniederschlagsmenge von Mecklenburg-Vorpommern. Dargestellt sind die vorliegenden Änderungssignale für den kurzfristigen (2031 - 2060) und langfristigen (2071 - 2100) Planungshorizont in ihrer gesamten Bandbreite, jeweils relativ zum Bezugszeitraum 1971 - 2000. Je Planungshorizont werden die Ergebnisse für das Klimaschutzszenario (RCP2.6, blau) denen des Hochemissionsszenarios (RCP8.5, rot) gegenübergestellt. Je länger die Symbole, desto größer ist die Bandbreite der Projektionen.



	1961-1990	1971-2000	1981-2010	1991-2020	2031-2060	2031-2060	2071-2100	2071-2100
		Referenz			RCP2.6	RCP8.5	RCP2.6	RCP8.5
Frühjahr	134	130	135	126	+6 (+1 / +15)	+12 (+1 / +25)	+3 (-8 / +16)	+19 (-3 / +35)
Sommer	187	185	193	200	-1 (-13 / +8)	+4 (-16 / +21)	-4 (-12 / +16)	-6 (-53 / +29)
Herbst	145	142	149	141	-2 (-6 / +5)	+2 (-10 / +13)	-1 (-9 / +10)	+6 (-14 / +24)
Winter	128	136	141	145	+5 (-3 / +18)	+10 (-8 / +29)	+2 (-14 / +21)	+16 (-1 / +45)
Jahr	595	593	618	619	+2 (-6 / +7)	+7 (-3 / +16)	+3 (-8 / +8)	+10 (-12 / +21)
	l/m ²	l/m²	l/m ²	l/m ²	%	%	%	%

▲ Jahreszeitliche und jährliche mittlere Summen der Niederschlagsmenge (in l/m²) jeweils für den Referenzzeitraum und drei weitere Vergleichszeiträume (Spalten 2 bis 5) sowie erwartete Änderungen (in %) für zwei Szenarien und zwei Planungshorizonte (Spalten 6 bis 9). Hier sind die Abweichungen zum Bezugszeitraum 1971 - 2000 angegeben.

Im Frühjahr bzw. Herbst ergibt sich für den langfristigen Planungshorizont (2071 - 2100) eine Änderung +3 bis +19 % bzw. -1 bis +6 %, wohingegen die Änderung im Winter bis zu +16 % betragen kann. Für den Sommer werden in diesem Planungshorizont im Mittel über alle Szenarien Abnahmen der Niederschlagsmenge von

-4 % bis -6 % berechnet. Allerdings liegt die Spannweite im Hochemissionsszenario zwischen einer Zunahme um +29 % und einer Abnahme um -53 %. Das Klimaschutzszenario weist demgegenüber eine Spannweite zwischen einer Zunahme von +16 % und einer Abnahme von -12 % auf.



FAKTEN

Beobachtung

- Leichte Zunahme der Jahresniederschlagsmenge um ca. 7 % seit 1881
- Niederschlagszunahme hauptsächlich im Winter
- Kaum Anstieg der Häufigkeit ergiebiger Niederschläge

Kurzfristiger Planungshorizont

- Keine deutliche Änderung der Jahressumme des Niederschlages (2 - 7 %) gegenüber 1971 - 2000

Langfristiger Planungshorizont

- Im Hochemissionsszenario Zunahme des Jahresniederschlags um +10 %



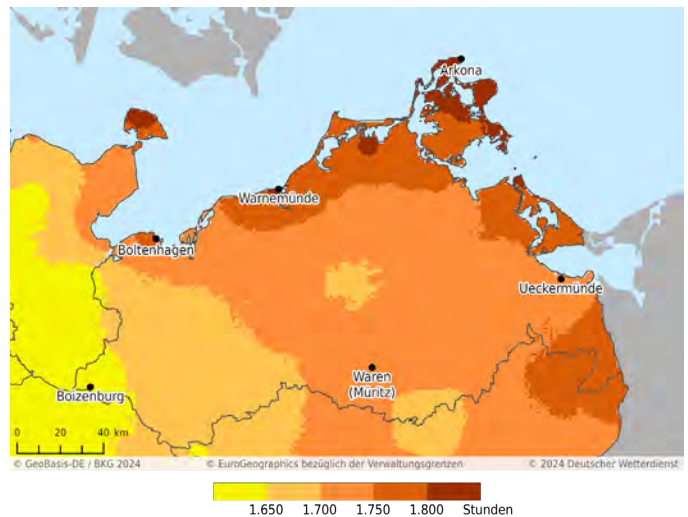
Sonnenschein und Globalstrahlung

In Mecklenburg-Vorpommern scheint die Sonne im Mittel 1722 Stunden im Jahr, bezogen auf den Zeitraum 1991 – 2020. Besonders viel Sonnenschein wird auf Usedom, Rügen sowie im Binnenland des südöstlichen Vorpommerns registriert; recht sonnig ist es aber auch an der weiteren Ostseeküste. Am wenigsten Sonne gibt es im südwestlichen Binnenland von Mecklenburg-Vorpommern.

Vergangenheit und Gegenwart

Die Zeitreihe der Jahressummen der Sonnenscheindauer in Mecklenburg-Vorpommern seit 1951 lässt sich in vier Zeitabschnitte einteilen: Von 1951 bis 1976 tritt eine Phase häufig höherer Jahreswerte auf, dann anschließend bis etwa 1988 zeigen sich vermehrt geringere Jahressummen. Bis etwa 1997 folgt eine Phase mit häufigen sonnenscheinreichen Jahren, an die sich ein kurzer Zeitraum mit meist geringerer Sonnenscheindauer anschloss. Ab 2003 stellte sich vielfach ein überdurchschnittliches Sonnenangebot ein. Das sonnenscheinreichste Jahrzehnt seit Beginn der Aufzeichnungen war das Jahrzehnt 2011 bis 2020, in dem es durchschnittlich 118 Stunden Sonnenschein mehr als im Referenzzeitraum 1961 – 1990 gab.

Weltweit betrachtet gab es zwischen etwa 1950 und 1980 eine Phase zurückgehender Sonneneinstrahlung, die u. a. einer verstärkten Luftverschmutzung zugeschrieben wird. Verbunden mit den Erfolgen der Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft nahm danach die den Boden erreichende Sonneneinstrahlung wieder zu. Insgesamt ist die Sonnenscheindauer seit 1951 in Meck-



▲ Jahressummen der Sonnenscheindauer in Mecklenburg-Vorpommern im Zeitraum 1991 – 2020 als Flächendarstellung der Rasterwerte (1 km x 1 km).

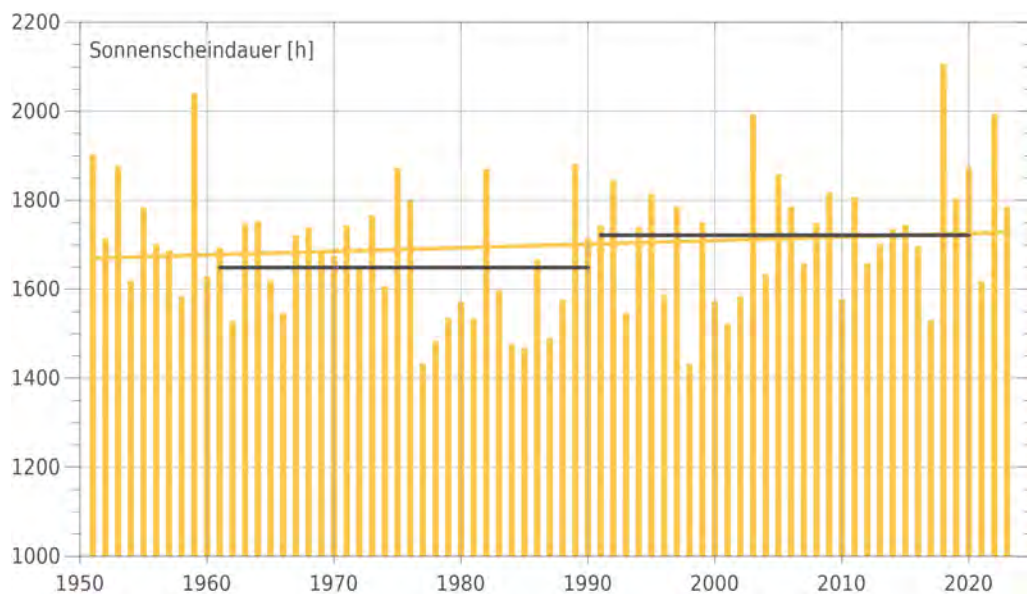


lenburg-Vorpommern um etwa 59 Stunden angestiegen.

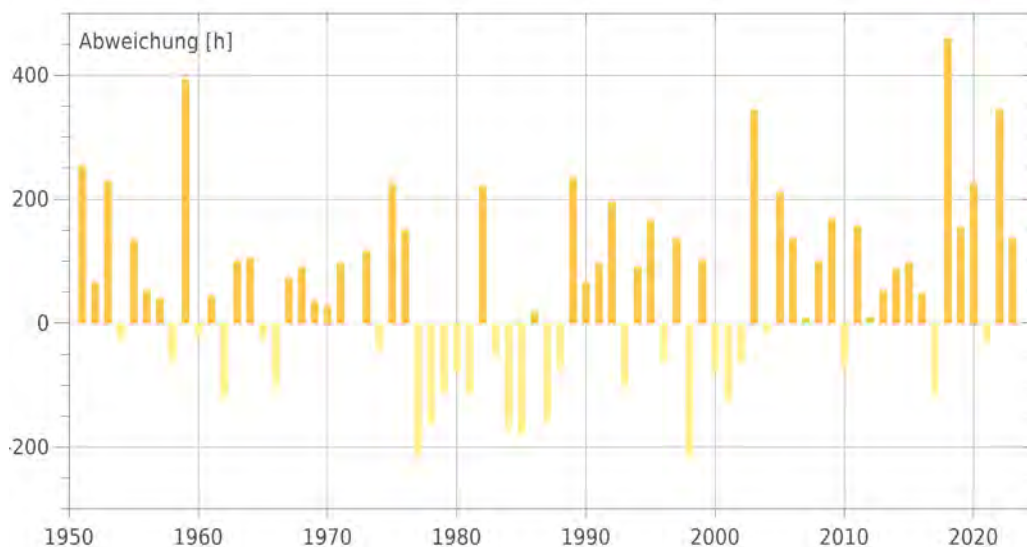
Die bisherigen jährlichen Gebietsmittel der Sonnenscheindauer in Mecklenburg-Vorpommern variierten zwischen 1432 Stunden (1998) und 2108 Stunden (2018). In dieser Zeitreihe wurde nur im Jahre 1959 mit 2041 Sonnenstunden nochmals der Wert von 2000 Stunden Sonne im Jahr überschritten. Auch die sonnenscheinreichen Jahre 1951, 2003 und 2022 mit über 1900 Stunden blieben unter diesem Schwellenwert.

Der vieljährige Flächenmittelwert des Zeitraums 1991 - 2020 für die Sonnenscheindauer beträgt 1722 Stunden. Das entspricht einer täglichen durchschnittlichen Sonnenscheindauer von etwa fünf Stunden. Im Dezember und Januar gibt es mit unter 70 bzw. unter 95 Minuten pro Tag am wenigsten Sonne, während die Sonne von Mai bis Juli im Durchschnitt täglich knapp acht Stunden scheint. Auch im August sind im Mittel noch fast 7 Stunden Sonnenschein pro Tag zu erwarten.

Die mittlere tägliche Sonnenscheindauer war 1961 - 1990 mit 271 Minuten noch zwölf Minuten geringer als heute. Bei einer jahreszeitlichen Betrachtung zeigt vor allem das Frühjahr mit zusätzlichen 30 Minuten eine merkbliche Zunahme der durchschnittlichen täglichen Sonnenscheindauer, während der Sommer mit +6 Minuten, der Herbst mit +8 Minuten und der Winter mit +5 Minuten deutlich geringere Änderungen aufweisen.



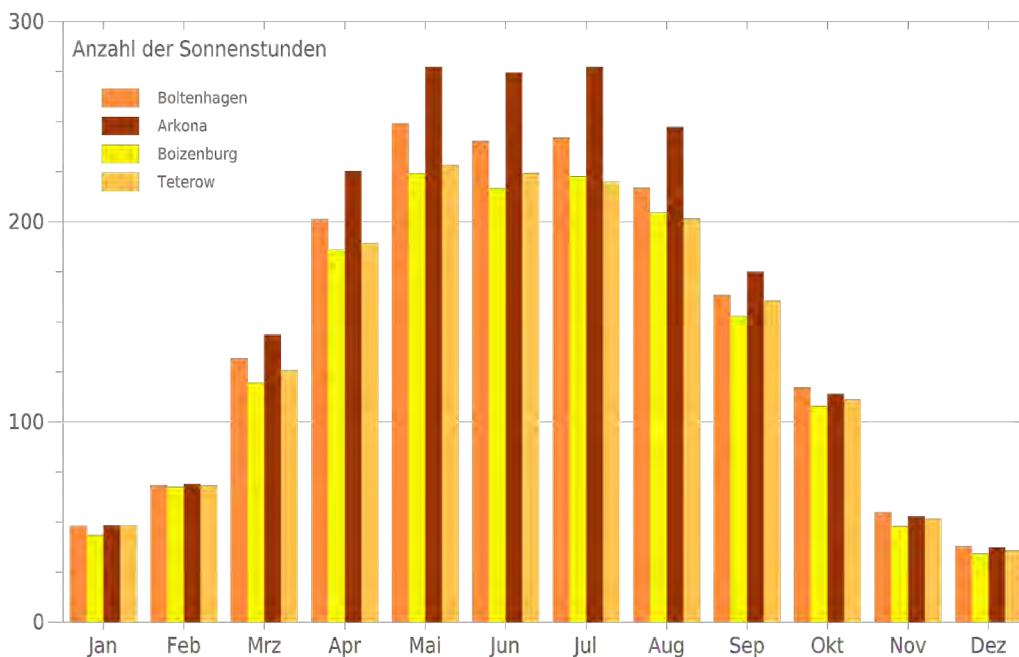
▲ Jahressummen und Trend der Sonnenscheindauer in Mecklenburg-Vorpommern 1951 bis 2023. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.



▲ Abweichung der Sonnenscheindauer in Stunden pro Jahr in Mecklenburg-Vorpommern im Vergleich zu 1961 - 1990. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.

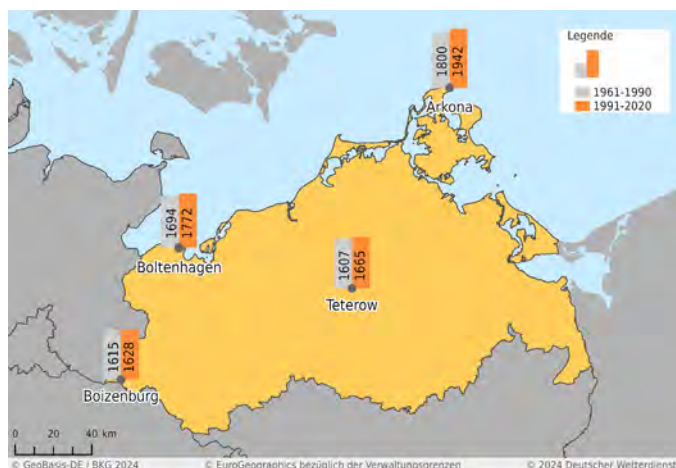
Regionale Unterschiede

Mit zunehmender Entfernung vom Atlantik ändern sich die Sonnenscheinverhältnisse. Je weiter man nach Osten kommt, umso kontinentaler wird das Klima, d. h. der Einfluss des Atlantiks wird geringer, das Feuchteangebot nimmt ab und die Sonnenscheindauer nimmt zu. In unmittelbarer Ostseenähe wirkt sich der Küsteneffekt aus, der an der See zu mehr Sonne als im Hinterland führt. Beim Übertritt von der Ostsee auf das Land erfahren die über der Ostsee deutlich höheren



▲ Monatssummen der Sonnenscheindauer an verschiedenen Stationen im Zeitraum 1991 - 2020. Datenbasis: Stationswerte des DWD.

auflandigen Winde eine Abbremsung. Über den Landoberflächen, die im Vergleich mit der Meeresoberfläche durch Erhebungen, Bepflanzungen oder Besiedelung rauer sind, bilden sich Aufwinde, die landeinwärts zu einer vermehrten Wolkenbildung beitragen und somit eine Verringerung der Sonnenscheindauer verursachen. Besonders im Frühjahr und Sommer ist die Luft über der Ostsee kühler als über Land. Quellwolken, die sich durch Erwärmung der bodennahen Luft bilden, entstehen über Land rascher als über See, was eine höhere Sonnenscheindauer in diesen Jahreszeiten in Küstennähe zur Folge hat.



▲ Jahressummen der Sonnenscheindauer an verschiedenen Stationen in den Zeiträumen 1961 - 1990 und 1991 - 2020. Datenbasis: Stationswerte des DWD.

Eine Betrachtung der Summen der Sonnenscheindauer einzelner Stationen verdeutlicht die beschriebenen Effekte. Generell weisen die Stationen in Meeresnähe mehr Sonnenstunden auf als die Stationen im zugehörigen Hinterland der Ostseeküste. Während an der Küstenstation Boltenhagen im Zeitraum 1991 - 2020 die jährliche Summe der Sonnenscheindauer 1772 Sonnenstunden betrug und um 50 Stunden über dem Gebietsmittelwert von Mecklenburg-Vorpommern lag, wurden in Boizenburg nur 1628 Sonnenstunden registriert, was 94 Stunden unter dem Mittelwert für Meck-

lenburg-Vorpommern liegt. Der Vergleich der beiden Ostseeküstenstationen Boltenhagen und Arkona und der beiden Binnenlandstationen Boizenburg und Teterow zeigt das Fortschreiten der Kontinentalität nach Osten. So wurden im Zeitraum 1991 - 2020 in Arkona 170 Sonnenstunden mehr registriert als in Boltenhagen. In Teterow schien die Sonne zwar noch 57 Stunden weniger als im Landesdurchschnitt aber 37 Stunden mehr als in Boizenburg. Dabei zeigen sich die regionalen Unterschiede besonders deutlich von Mai bis August.

Tage mit viel Sonnenschein

Die Zahl der Tage mit viel Sonnenschein verringert sich mit zunehmender Entfernung von den großen Meeresflächen. So wurden an den Binnenlandstationen Boizenburg und Teterow im Zeitraum 1961 - 1990 im Mittel an etwa 51 bzw. 50 Tagen im Jahr mindestens 10 Stunden Sonnenschein registriert, während an der Ostsee in Boltenhagen und Arkona an 56 bzw. 69 Tagen mindestens zehn Stunden lang die Sonne schien. Zwischen den Vergleichszeiträumen 1961 - 1990 und 1991 - 2020 nahm die Zahl der Tage mit mindestens zehn Stunden Sonnenschein zu, sodass es im aktuellen Bezugszeitraum in Arkona elf, in Boltenhagen sieben sowie in Boizenburg und Teterow zwei bzw. fünf zusätzliche Tage mit langanhaltendem Sonnenschein gab.

	Zahl der Tage mit ≥ 10 Stunden Sonne		Zahl der Tage ohne Sonnenschein	
	1961 - 1990	1991 - 2020	1961 - 1990	1991 - 2020
Boltenhagen	56	63	83	68
Boizenburg	51	53	85	75
Arkona	69	80	89	69
Teterow	50	55	86	72

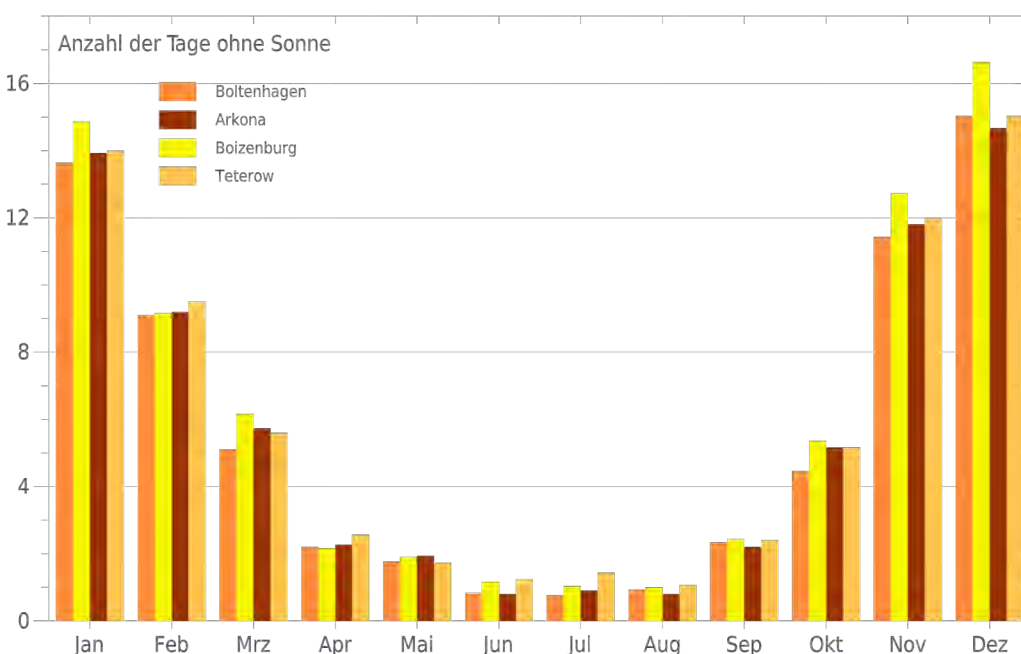
▲ Jährliche Zahl der Tage mit mindestens 10 Stunden bzw. ohne Sonnenschein in den Zeiträumen 1961 - 1990 und 1991 - 2020 an verschiedenen Stationen. Datenbasis: Stationswerte des DWD.

Im Winter dominieren Wolken

Tage ohne Sonnenschein weisen einen deutlichen Jahresgang auf. Von November bis Februar sind im Bezugszeitraum 1991 - 2020 durchschnittlich mindestens ein Drittel der Tage im Monat sonnenscheinlos. In den Sommermonaten ist dagegen nur an einem Tag pro Monat die Sonne nicht zu sehen. Die regionalen Unterschiede bei Betrachtung der Zahl der Tage ohne Sonnenschein sind relativ gering. So schien im Zeitraum 1991 - 2020 in Arkona an 69 und in Boltenhagen an 68 Tagen im Jahr die Sonne nicht. Boizenburg und Teterow verzeichneten durchschnittlich 75 bzw. 72 Tage ohne Sonnenschein. Im Vergleich mit der Referenzperiode 1961 - 1990 hat die Zahl der Tage ohne Sonnenschein landesweit abgenommen. Sie verringerte sich in Boltenhagen und Teterow um 15 bzw. 14 und in Boizenburg um elf Tage. Den größten Rückgang an sonnenscheinlosen Tagen gab es mit 20 in Arkona.

Globalstrahlung

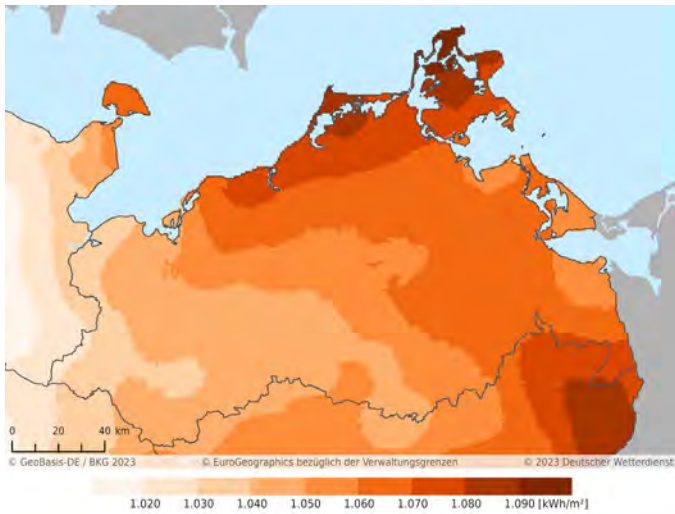
Mit der Globalstrahlung steht uns ein weiterer meteorologischer Parameter zur Verfügung, um die Sonnenstrahlung zu beschreiben. Die Globalstrahlung setzt sich aus der direkten, schattengebenden, und der in der Atmosphäre gestreuten, diffusen Sonnenstrahlung zusammen. Die Karte der Globalstrahlung für Mecklenburg-Vorpommern zeigt die höchsten mittleren Jahressummen ($> 1080 \text{ kWh/m}^2$) im Be-



▲ Monatliche Anzahl der Tage ohne Sonnenschein im Zeitraum 1991 - 2020 an verschiedenen Stationen. Datenbasis: Stationswerte des DWD.

reich der Halbinsel Fischland-Darß-Zingst, der Insel Hiddensee und dem Nordteil der Insel Rügen. Niedrigere Werte ($< 1050 \text{ kWh/m}^2$) werden im Westen und Südwesten Mecklenburgs gemessen.

Seit 1983 hat die jährliche Globalstrahlung in Mecklenburg-Vorpommern um $+143 \text{ kWh/m}^2$ zugenommen. 2018 wurde der Jahresrekord mit 1185 kWh/m^2 aufgestellt, gefolgt vom Jahr 2022 mit 1166 kWh/m^2 .



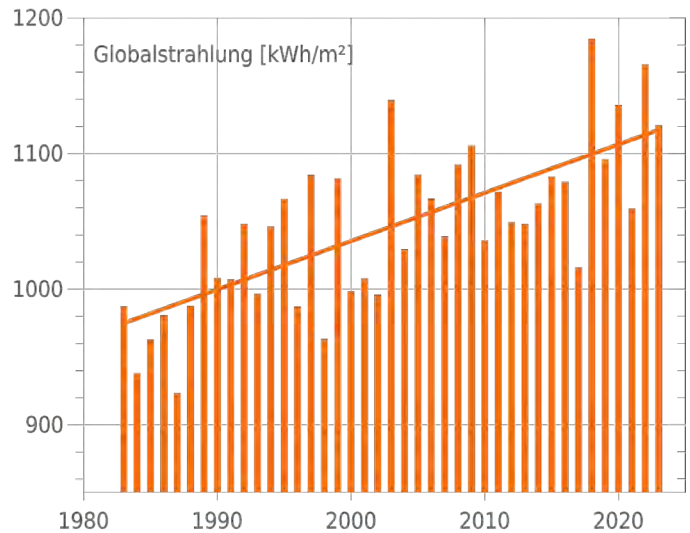
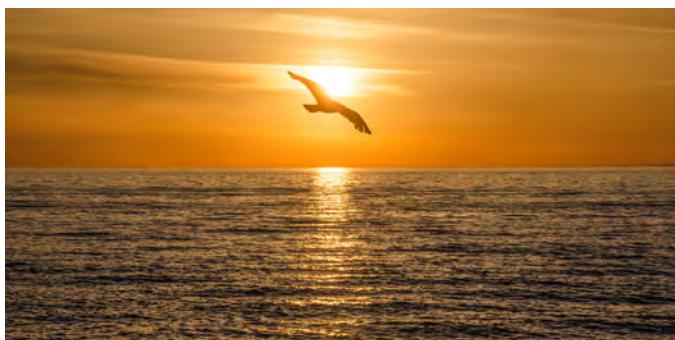
▲ Mittlere Jahressummen der Globalstrahlung [kWh/m²] in Mecklenburg-Vorpommern, basierend auf Bodenmessungen und Satellitendaten der Jahre 1991 - 2020. Auflösung: 1 km x 1 km. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.

Deutschlandweit erreichte das Jahr 2022 den höchsten Wert für die Globalstrahlung. Die deutliche Zunahme der Globalstrahlung, welche in allen Bundesländern beobachtet werden kann, lässt sich vermutlich durch veränderte Bewölkungsmuster und verminderte Luftverschmutzung erklären. Als natürliche Quelle für erneuerbare Energien spielt die Nutzung der Globalstrahlung eine zunehmend wichtige Rolle.

UV-Index

Das Zusammenspiel von Sonnenstrahlung und Atmosphäre hat die Entstehung von Leben auf der Erde erst ermöglicht. Ein Zuviel an Strahlung kann allerdings für alle Lebewesen gefährlich werden.

Daher erstellt der Deutsche Wetterdienst täglich Vorhersagen des UV-Indexes. Diese Maßzahl gibt die Stärke der UV-Strahlung der Sonne an. Je höher der Indexwert ist, umso schädlicher ist die Strahlung. Ein Zuviel an Sonnenstrahlung verursacht akute Schäden, wie z. B. Sonnenbrand und Hitzschlag, und hat auch langfristige gesundheitliche Folgen, wie z. B. Hautalterung und Hautkrebs. Ab einem UV-Index von 3 sind Schutz-



▲ Jahressummen und Trend der Globalstrahlung in Mecklenburg-Vorpommern seit 1983. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.

maßnahmen erforderlich, z. B. Sonnencreme, Sonnenbrille und Kopfbedeckung. Ab einem UV-Index von 6 besteht eine hohe, ab 8 eine sehr hohe gesundheitliche Gefährdung. Dann sollte zumindest über die Mittagszeit Schatten aufgesucht werden. In Mecklenburg-Vorpommern kann dabei in den Monaten Mai bis August ein UV-Index von maximal 7 auftreten. Ein UV-Index von ≥ 8 ist dagegen nördlich des 50. Breitengrades – mit Ausnahme der höheren Lagen – und damit auch im nordöstlichsten Bundesland nicht zu erwarten.

Zukunft

Die Sonnenscheindauer wird in den Klimamodellen nicht direkt berechnet, sondern indirekt aus der kurzwelligen Strahlung abgeleitet.

UV-Index	Sonnenbrandgefahr	Schutzmaßnahmen
1	niedrig	nicht erforderlich
2		
3	mittel	erforderlich
4		
5		
6	hoch	erforderlich
7		
8	sehr hoch	unbedingt erforderlich
9		
10		
11+	extrem	sind ein Muss

▲ Gefährdungseinstufung des UV-Indexes.



	Sonnenscheindauer [h]				Globalstrahlung [kWh/m ²]			
	1961 - 1990	1971 - 2000	1981 - 2010	1991 - 2020	1983 - 1990	1991 - 2000	2001 - 2010	2011 - 2020
Frühjahr	465	479	498	521	332	346	361	373
Sommer	591	600	599	620	435	461	470	479
Herbst	282	286	299	308	152	159	167	167
Winter	139	146	152	152	61	62	62	64
Jahr	1476	1511	1547	1602	980	1028	1060	1083

▲ Entwicklung der Sonnenscheindauer [h] und Globalstrahlung [kWh/m²] nach Jahreszeiten in Mecklenburg-Vorpommern. Bei der Sonnenscheindauer werden 30-jährige Mittelwerte betrachtet und bei der Globalstrahlung, auf Grund der kürzeren Messreihe (Daten erst ab 1983 verfügbar), soweit möglich Dekadenwerte. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.

Die Strahlung ist unmittelbar verbunden mit den Bewölkungsverhältnissen, eine der großen Herausforderungen der Klimamodellierung. Die Bandbreite der modellierten Werte ist daher zwischen den Modellen sehr hoch. Dies führt dazu, dass die Ergebnisse weniger aussagekräftig sind als beispielsweise die Ergebnisse der Temperaturentwicklungen.

Es wird ein Rückgang der Tagessonnenscheindauer um wenige Minuten für den kurzfristigen Planungshorizont 2031 - 2060 projiziert. Dieser Rückgang macht sich im Hochemissionsszenario hauptsächlich im Winter und Frühjahr bemerkbar. Im Sommer und Herbst ist dagegen wahrscheinlich mit keinen Änderungen zu rechnen.

Nach derzeitigem Stand wird für den langfristigen Planungshorizont 2071 - 2100 eine Verstärkung dieser Änderung erwartet. Im Jahresmittel ist aber nur mit einer minimalen Abnahme der mittleren täglichen Sonnenscheindauer zu rechnen. Auch hier macht sich der Rückgang vor allem im Frühjahr und Winter bemerkbar, während im Herbst wahrscheinlich keine Änderungen der Sonnenscheindauer auftreten werden. Dagegen lassen einzelne Projektionen im Hochemissionsszenario während des Sommers Zunahmen der mittleren

täglichen Sonnenscheindauer von bis zu einer Stunde erwarten.

FAKTEN

Beobachtung

- Durchschnittlich 283 Minuten Sonnenschein pro Tag im Zeitraum 1991 - 2020
- Leichter Anstieg der Sonnenscheindauer in Mecklenburg-Vorpommern seit 1951
- Große Variabilität von Jahr zu Jahr

Kurzfristiger Planungshorizont

- Minimaler Rückgang der Sonnenscheindauer möglich

Langfristiger Planungshorizont

- Verstärkung vorgenannter Tendenzen
- Für beide Planungshorizonte erfolgt im Hochemissionsszenario jeweils ein ausgeprägter Rückgang im Winter und Frühjahr



Wind

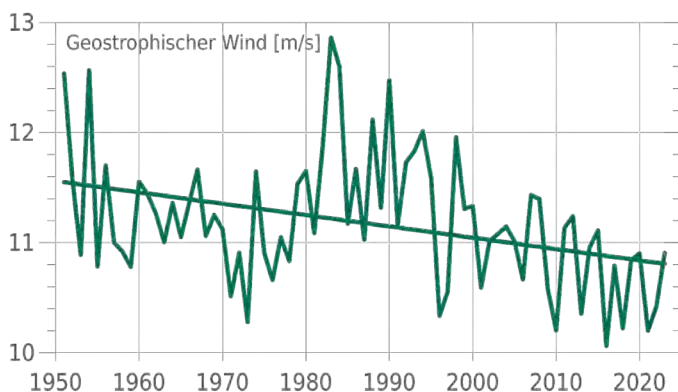
Wind ist eine der wichtigsten meteorologischen Größen. Seine Richtung und Stärke bestimmen, wie sich Luftmassen verteilen und bewegen. Von absoluter Windstille über ein laues Lüftchen bis hin zu einem tosenden Orkan – in Mecklenburg-Vorpommern kann man das gesamte Spektrum antreffen. Winde können Schäden verursachen, aber auch zur Stromerzeugung genutzt werden.



Windverhältnisse in der Vergangenheit und in der Gegenwart

Standardmäßig wird der Wind in 10 m Höhe über Grund gemessen, um den Einfluss des Untergrundes möglichst gering zu halten. Trotzdem reagiert der gemessene Wind, insbesondere die Windgeschwindigkeit, empfindlich auf Veränderungen im Umfeld der Mess-

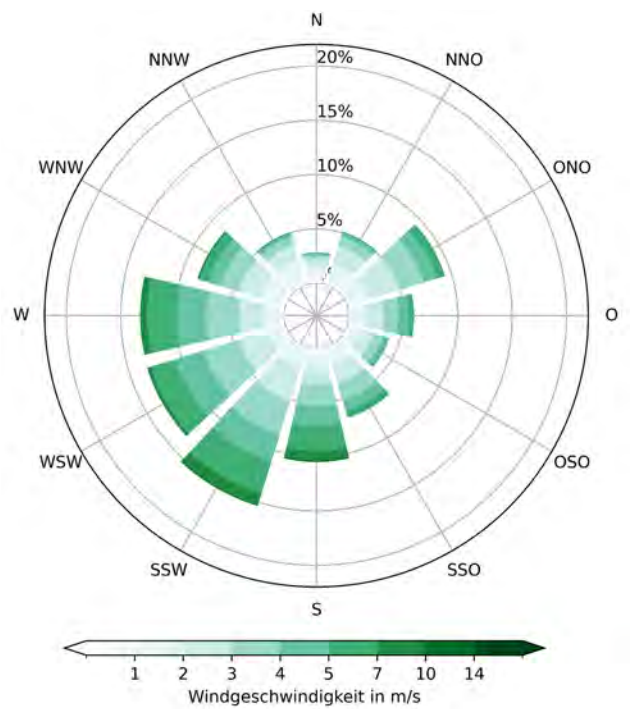
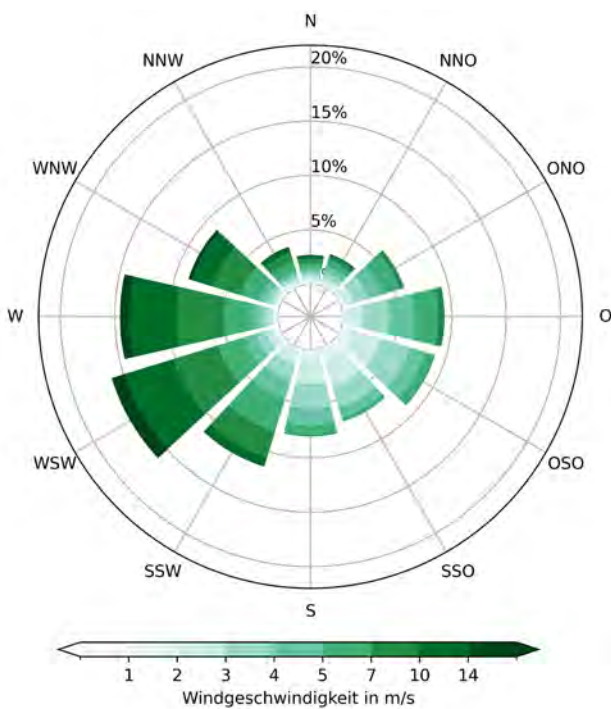
▼ Jahresmittel des geostrophischen Windes, berechnet aus bodennahen Luftdruckdaten. Dargestellt ist der Zeitraum 1950 – 2023. Datenbasis: Stationen des DWD.



station (z. B. wachsende Bäume) oder auf Änderungen des Messortes. Fast alle Windzeitreihen weisen Inhomogenitäten auf. Die zur Verfügung stehenden Zeitreihen umfassen häufig nur einige Jahrzehnte.

Eine Möglichkeit, dennoch Aussagen über die Entwicklung der Windgeschwindigkeit zu treffen, ist die Betrachtung des geostrophischen Windes. Dies ist ein theoretischer Wind mit der Annahme, dass reibungsfreie Bedingungen vorherrschen. Er beruht auf Luftdruckdifferenzen und ist eng mit dem „wahren“ Wind gekoppelt.

Betrachtet man den geostrophischen Wind, zeigen sich Abschnitte mit höheren oder niedrigeren Windgeschwindigkeiten (sogenannte multidekadische Schwankungen). Für die gesamte Zeitreihe ist ein schwacher, leicht abfallender Trend zu sehen. Deutlich erkennbar sind windreiche Perioden in den 1950er sowie in den 1980er und in 1990er Jahren. Während das Jahr 1954 mit 12,5 m/s das höchste Jahresmittel des geostrophischen Windes markiert, zeigten die Jahre 2003 und 2021 mit 10,1 m/s den geringsten Wert.

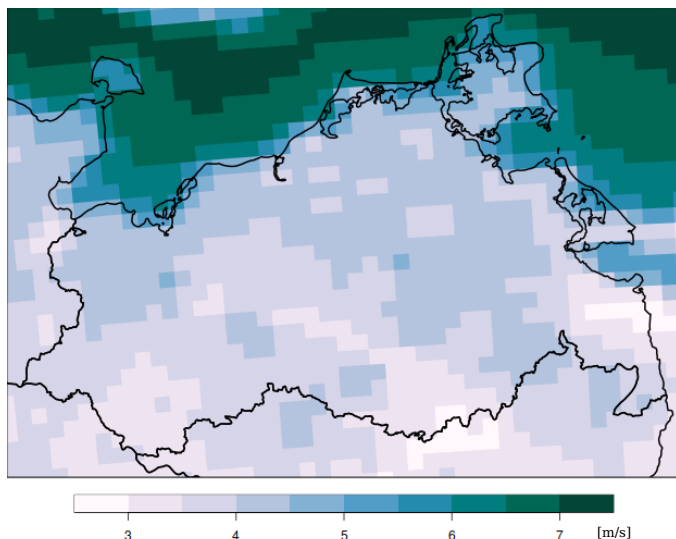


▲ Stärkewindrosen von den Stationen Darßer Ort (links) und Waren/Müritz (rechts). Die Windgeschwindigkeit wird in m/s angegeben. Es wurden die stündlichen Mittelwinde der Jahre 2011 bis 2020 gemittelt um diese prozentuale Windverteilung zu erhalten. Die Hauptwindrichtung in Darßer Ort und Waren/Müritz ist Südwest bis West, wobei in Darßer Ort deutlich häufiger hohe Windgeschwindigkeiten erreicht werden.

Regionale Verteilung

Die Verteilung der Windgeschwindigkeit in Mecklenburg-Vorpommern wird stark vom Abstand zur Küste geprägt: Die höchsten Werte sind dabei an der Ostsee anzutreffen, gefolgt von den küstennahen Gebieten. Die niedrigsten Windgeschwindigkeiten werden in den südlichen Landesteilen verzeichnet.

▼ Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in m/s (10 m über Grund) in Mecklenburg-Vorpommern im Zeitraum 1995 - 2018. Flächendarstellung der Rasterwerte (6 km x 6 km) aus Reanalysedaten des Modells COSMO-REA6.



Zukunft

Klimaprojektionen zeigen für zukünftige Windverhältnisse insgesamt bisher wenig Änderungen. Möglicherweise sind unauffällige Veränderungen aus den Modellen bislang noch nicht ablesbar.

FAKTEN

Beobachtung

- Große regionale Unterschiede zwischen windreicher Ostseeküste und windschwächeren Regionen im Süden Mecklenburg-Vorpommerns
- leicht abnehmender Trend in den Windgeschwindigkeiten seit 1950

Kurzfristiger Planungshorizont

- wahrscheinlich keine oder kaum Änderungen

Langfristiger Planungshorizont

- Veränderung nicht ablesbar

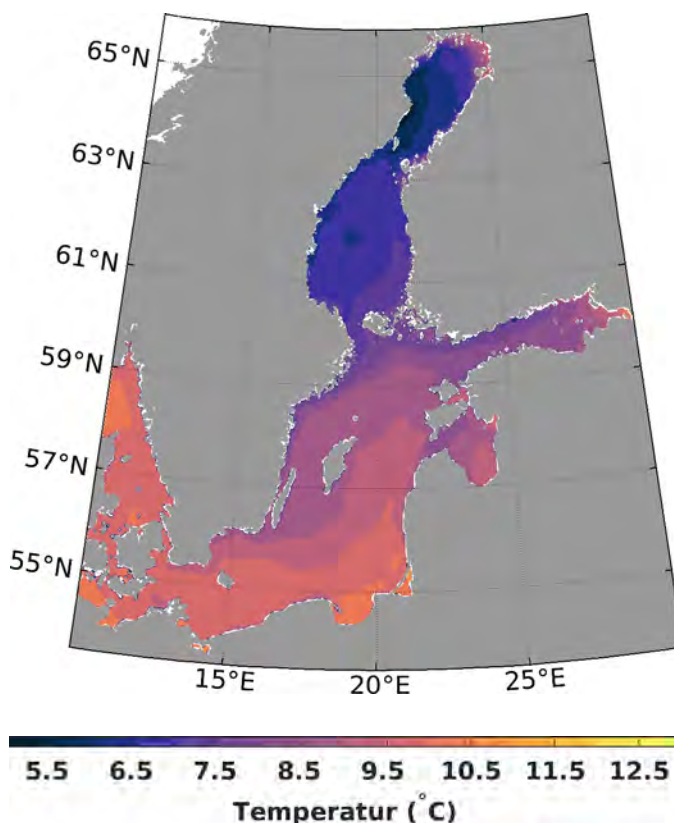


Meerestemperaturen

In Mecklenburg-Vorpommern zeigt der Klimawandel bereits spürbare Auswirkungen auf das Wetter in der Region, insbesondere in Bezug auf Temperaturen, Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten. Der Meeresspiegel steigt kontinuierlich an, was für die Küstenregionen Mecklenburg-Vorpommerns eine große Herausforderung darstellt. Sturmfluten laufen höher auf, führen zu fortschreitender Erosion an den Küsten und können zu erheblichen Schäden an der Küsteninfrastruktur führen.



Jahresmitteltemperaturen von um die 10 °C die wärmsten Bereiche entlang der dänischen, deutschen und polnischen Küsten. Nach Norden und Osten wird es dann deutlich kälter, sodass im Bottnischen Meerbusen im Jahresmittel nur noch 6 – 7 °C zu beobachten sind.



▲ Langzeitmittel 1991 - 2020 der Meeresoberflächentemperatur der Ostsee.

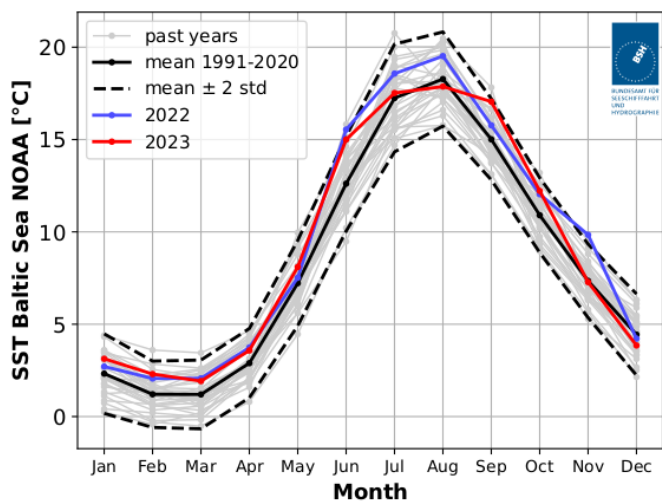
Die Meerestemperatur - Langzeitmittel und Jahresgang

Wasser allgemein und damit auch unsere Meere haben eine hohe Wärmespeicherkapazität. Deswegen setzen Temperaturschwankungen und langzeitliche Veränderungen verzögert ein und fallen im Vergleich zur Atmosphäre gemäßigter aus, insbesondere in größeren Wassertiefen.

Die Ostsee ist ein Binnenmeer, das nur über Skagerrak und Kattegat sowie die Meerengen um die dänischen Inseln mit der Nordsee verbunden ist. Der Austausch von Wassermassen mit der Nordsee geschieht hier nur ziemlich begrenzt. Weite Teile der Ostsee sind deutlich mehr von den sie umgebenden Landflächen und den einmündenden Flüssen beeinflusst als von der Nordsee.

Das schlägt sich auch in der klimatologischen Verteilung der Meeresoberflächentemperatur nieder (siehe Abbildung rechts). Im Vergleich zur Nordsee ist die Ostsee im Jahresmittel deutlich kälter. Im Langzeitmittel der Jahre 1991 - 2020 für die Ostsee kennzeichnen

Der Jahresgang hingegen ist in der Ostsee (siehe Abbildung auf der folgenden Seite) deutlich stärker ausgeprägt als in der Nordsee. Die über die gesamte Ostsee gemittelte Oberflächentemperatur schwankt klimatologisch zwischen knapp 2 °C im Februar und März und



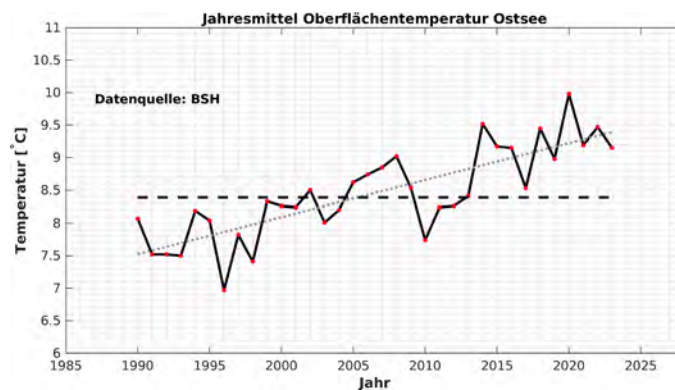
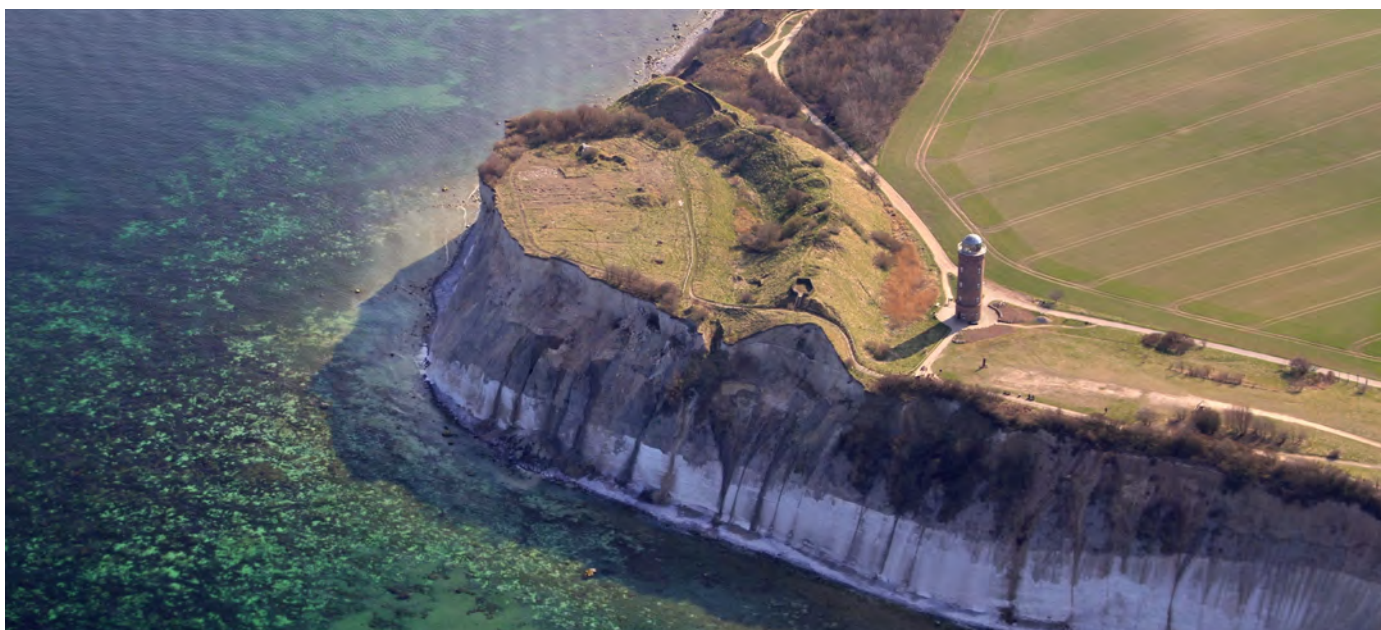
▲ Jahresgang des Flächenmittels der Oberflächentemperatur der Ostsee; vergangene Jahre als graue Linien, 2022 in blau, 2023 in rot, sowie Langzeitmittel 1991 - 2020 als schwarze Linie (mit Spannweite von zwei Standardabweichungen schwarz gestrichelt).

knapp 18 °C im August. Nicht nur der Jahresgang ist in der Ostsee stärker ausgeprägt als in der Nordsee, sondern auch die Jahr-zu-Jahr-Variabilität. Auch dies ist in der Charakteristik der Ostsee als Binnenmeer gegenüber dem Randmeer Nordsee begründet.

Die Meeresoberflächentemperatur im Klimawandel

Die Jahre 2022 und 2023 waren über fast alle Monate hinweg wärmer als das Langzeitmittel der Periode 1991 - 2020 (Abbildung oben). Dies ist bereits als ein Indikator für die seit Jahrzehnten beobachtete, menschlich verursachte Klimaerwärmung zu deuten. Für die Ostsee leistet das BSH eine flächendeckende

▼ Kreidefelsen auf Rügen mit Peilturm am Kap Arkona, (Quelle: StALUMM, Abt. Küste).



▲ Zeitliche Entwicklung der jährlich und über die gesamte Fläche gemittelten Meeresoberflächentemperatur der Ostsee.

Analyse erst seit der Wiedervereinigung 1990. Trotzdem wird die fortschreitende Erwärmung offensichtlich, wenn man sich die Entwicklung der Jahresmittel der Meeresoberflächentemperatur der Ostsee über diese Zeit hinweg anschaut (Abbildung rechts oben).

Die entsprechende Zeitreihe der Jahresmittel ist geprägt von starken Jahr-zu-Jahr-Schwankungen, die aber eindeutig von einem langfristigen Erwärmungstrend von ca. 0,57 °C pro Jahrzehnt (berechnet über den Zeitraum 1990 - 2023) sind.

Eine Trendumkehr ist in den nächsten Jahrzehnten nicht zu erwarten. Die Menschen Mecklenburg-Vorpommerns müssen sich also darauf einstellen, dass sich das Meer vor ihrer Haustür weiterhin in ähnlichem Maß erwärmt, wie dies in den letzten Jahrzehnten zu beobachten war.

Meeresspiegel

Der global gemittelte Meeresspiegel ist seit dem Jahr 1900 um über 20 cm angestiegen. Die Anstiegsrate des Meeresspiegels beschleunigte sich dabei von 1,35 mm/Jahr für den Zeitraum von 1901 - 1980 auf 3,7 mm/Jahr für 2006 - 2018. An der Nord- und Ostseeküste zeigen Pegelmessungen einen ähnlich hohen Anstieg von 1 - 4 mm/Jahr. Für die Zukunft sagen Klimamodelle einen weiteren Anstieg voraus. Neue Untersuchungen über Ozeanerwärmung und zu den Eisschilden in der Antarktis und Grönland lassen eine weitere Beschleunigung des Anstiegs als wahrscheinlich erscheinen.

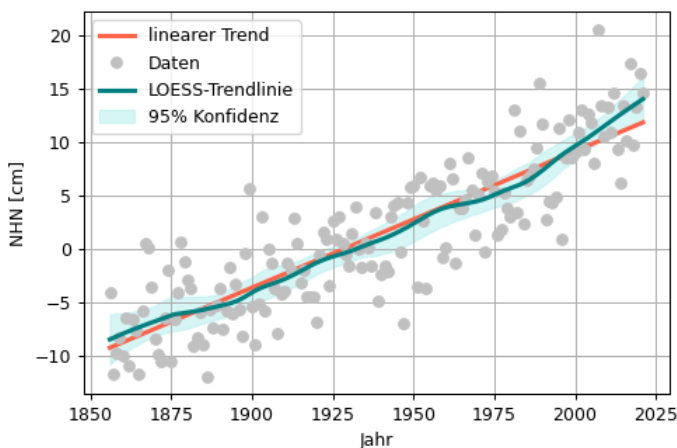


Der Meeresspiegel eine schwankende Größe

Die Veränderung des Meeresspiegels setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen. Die beiden wichtigsten sind die Ausdehnung des Meerwassers als Folge der globalen Erwärmung und die Zufuhr von Wasser in die Ozeane durch das weltweite Abschmelzen von Landgletschern sowie der großen Eisschilde in Grönland und der Antarktis. Beide Faktoren haben zum langfristigen Anstieg des globalen Meeresspiegels seit 1900 in etwa gleich viel beigetragen. Allerdings beschleunigte sich in den letzten 20 Jahren das Schmelzen von Gletschern und Eisschilden und führte so zu einem stärkeren Anstieg des Meeresspiegels. Regiona-

le Unterschiede entstehen durch regional unterschiedliche Änderungen der Wassertemperatur und des Salzgehalts, die durch Strömungssysteme verteilt werden.

Während die oben beschriebenen Komponenten Auswirkungen auf den absoluten Meeresspiegelanstieg haben, misst man an Wasserstandspegeln nur die relative Meeresspiegeländerung. Diese setzt sich zusammen aus dem absoluten Meeresspiegelanstieg und der vertikalen Landbewegung am Pegelstandort. Als Ausgleichsbewegung nach der letzten Eiszeit heben sich weite Teile Skandinaviens seit Jahrtausenden an. Demgegenüber senkt sich ein Großteil der deutschen Nord-



▲ Zeitliche Entwicklung des mittleren jährlichen Wasserstandes an der Station Warnemünde, mit linearem Trend (orange) und der LOESS-Trendlinie (blau). Quelle Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH).

seeküste (mit Raten von bis zu 0,7 mm/Jahr), während die deutsche Ostseeküste im Übergangsbereich zwischen Landhebung und Landsenkung liegt. Hier zeigen sich sowohl leichte Landhebungen (im nördlichen Schleswig-Holstein und bei Rügen) als auch schwache Landsenkungen (im südöstlichen Schleswig-Holstein und dem westlichen Teil von Mecklenburg-Vorpommern), mit Raten jeweils unter 0,5 mm/Jahr. Diese Landbewegung muss bei der Bestimmung des absoluten Meeresspiegelanstiegs aus Pegelmessungen berücksichtigt werden.

Beobachtete Meeresspiegeländerungen

An der deutschen Ostseeküste gibt es Pegelmessungen schon seit Mitte des 19. Jahrhunderts. Für Mecklenburg-Vorpommern reicht beispielsweise die stündliche Zeitreihe der Station Warnemünde zurück bis ins Jahr 1855. In der Abbildung sind die jährlichen Mittelwerte des Wasserstandes (berechnet aus diesen Pegelmessungen) und der lineare Trend (knapp 1,8 cm pro Dekade) für Warnemünde gezeigt. Andere deutsche Ostseepegel zeigen ähnliche Anstiegsraten von 1,2 (Kiel) bis 2,2 (Koserow) cm pro Dekade. Berücksichtigt man die vertikale Landbewegung, lässt sich festhalten, dass der absolute Meeresspiegel seit 1960 um etwa 1,4 bis 2,0 mm/Jahr an der deutschen Ostseeküste angestiegen ist. Damit liegen die absoluten Meeresspiegeländerungen für die Ostsee in der gleichen Größenordnung wie in der Nordsee.

Zukünftige Änderungen des Meeresspiegels

Im aktuellen 6. Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change aus dem Jahre 2021 werden für verschiedene Szenarien bzgl. der zukünftigen Entwicklung der atmosphärischen Treibhausgas-

konzentration durchgehend Anstiege des Meeresspiegels bis 2100 und darüber hinaus prognostiziert.

Für das SSP1-2.6 (ein Szenario mit hohen Klimaschutzmaßnahmen, welches auf eine globale Mitteltemperatur um 1,8 °C oberhalb des vorindustriellen Niveaus hinausläuft) ergibt sich ein wahrscheinlicher Anstieg des Meeresspiegels von 32 – 61 cm (relativ zum Mittel der Referenzperiode 1985 – 2014), für das SSP5-8.5 (mit quasi ungebremsten Treibhausgasemissionen) ein Anstieg von 63 – 101 cm. Diese Werte stammen aus Prozessen, deren Quantifizierung mindestens mit mittlerem Vertrauen betrachtet wird, also Prozessen, die sowohl recht gut verstanden wie auch modellierbar erscheinen. Nicht berücksichtigt sind die Eisschildprozesse, die durch tiefe Unsicherheit gekennzeichnet sind. Beobachtungen an den Rändern der Eisschilde zeigen, dass erwärmtes Ozeanwasser die Eisschelfe zunehmend zerstört sowie den Kontakt zwischen Gletschern und dem unterlagernden Festgestein mehr und mehr aufschmilzt. Dieses führt dazu, dass die antarktischen Gletscher immer schneller ins Meer rutschen, was schon derzeit beobachtet werden kann. In der Konsequenz kann das den Meeresspiegelanstieg zukünftig in Größen beschleunigen, die deutlich über den oben angegebenen Werten liegen. Diese Prozesse könnten in einem Szenario mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit und hohen Auswirkungen einen bis zu einem Meter zusätzlichen Meeresspiegelanstieg bis 2100 bewirken.

Durch die große Wärmespeicherkapazität der Ozeane wird der Meeresspiegelanstieg, ungeachtet des weiteren Verlaufs der Erderwärmung, weit über das 21. Jahrhundert hinaus andauern. Verschiedene Projektionen ergeben wahrscheinliche Bandbreiten von 0,8 – 2,0 m (im SSP1-2.6) bis 1,9 – 4,1 m (im SSP5-8.5) bis zum Jahr 2300 (noch ohne Berücksichtigung der Möglichkeit beschleunigter Eisschildprozesse).

Für die deutschen Küsten ist davon auszugehen, dass der absolute Meeresspiegelanstieg sich annähernd gleich entwickelt, wie die hier genannten globalen Mittelwerte.

Literatur

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., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896.

Gewässer im Klimawandel

Mit Satelliten die Wasserqualität in Seen und Flüssen beobachten

Die Seen und Flüsse im Klimawandel

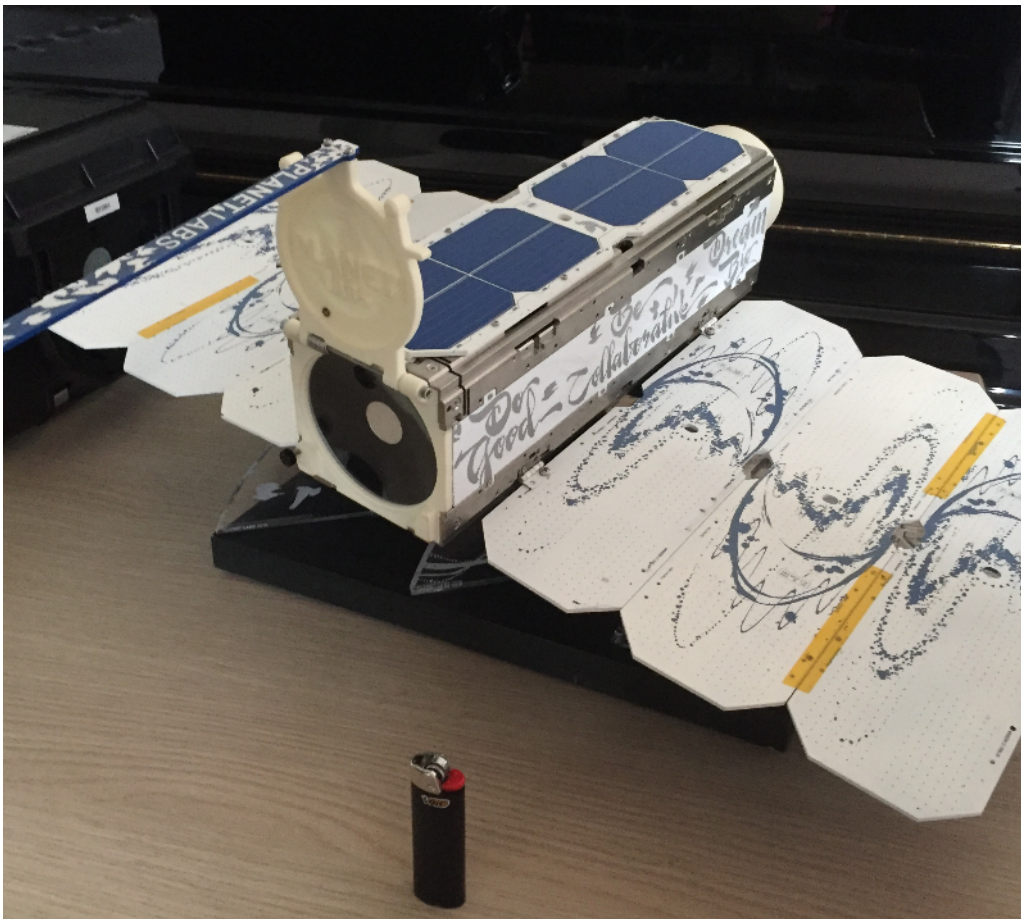
Mecklenburg-Vorpommern verfügt mit seinen mehr als 40 000 km Fließgewässern und 2 200 Seen mit einer Wasserfläche größer 1 ha über eine wasserreiche Landschaft mit vielfältigen Lebensräumen für Pflanzen und Tiere. Der Klimawandel hat in allen Regionen Deutschlands seit den 1980er Jahren zu einer signifikanten Erwärmung von Seen um 0,4 °C pro Dekade geführt (Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, 2022). Höhere Temperaturen und langanhaltende Dürreperioden führen dazu, dass sich die Menge und Qualität des Wassers verändern. Der Sauerstoffgehalt im Wasser sinkt, die biologische Aktivität setzt früher im Jahr ein, Algen treten vermehrt auf und Wassertiere und -pflanzen erleiden zusätzlichen Stress. Hohe Nährstoffgehalte in Verbindung mit hohen Temperaturen können zudem zur Bildung von Blaualgen führen, eine potenzielle Gesundheitsgefährdung für Mensch und Tier.

Der Zustand der Seen wird anhand von Parametern wie z. B. der Sichttiefe und Temperatur oder dem Sauerstoff- und Chlorophyll-a-Gehalt regelmäßig und umfangreich untersucht. Hierfür werden Wasserproben genommen und im Labor analysiert oder Messinstrumente in den Seen eingerichtet, die automatisiert und kontinuierlich Werte aufzeichnen.

Überwachung der Wasserqualität mit Satelliten

Daneben sind seit einigen Jahren vermehrt satellitengestützte Aufnahmesysteme in der Anwendung, die mit ihrer multispektralen Sensorik vielfältige Möglichkeiten zur flächendeckenden Erkundung der Erdoberfläche und zur Erfassung von Umweltqualitätsparametern bieten. Mit dem Leuchtturm-Projekt "BIGFE - Erfassung der Wasserqualität und Wasserflächenausdehnung von Binnengewässern durch Fernerkundung" wird die Eignung der Methodik für das behördliche Wasserqualitätsmonitoring auf Basis von Daten des europäischen Copernicus-Satellitenprogramms eruiert.

Im Jahr 2022 hat das Land Mecklenburg-Vorpommern die Pilotstudie „SmartAlert“ zur satellitengestützten Überwachung von Seen, Fließgewässern und Badestellen gestartet. Neben den Satellitendaten aus dem Copernicus-Programm sind auch Satellitendaten der Firma Planet Labs eingeflossen, die mit einer räumlichen Auflösung von drei Metern und einer Wiederholrate von einem Tag - sie können damit jeden Tag ein komplettes Bild der Erde liefern, wenn keine Wolken die Sicht versperren - für die vorgesehene Seen-Überwachung bestens geeignet sind. Diese Miniatursatelliten mit der Größe eines Schuhkartons werden als sekun-



▲ Modell eines Satelliten von Planet Labs in Originalgröße.



▲ Ausschnitt der Untersuchungsgebiete (rote Punkte) im Gebiet der Mecklenburgischen Seenplatte aus dem Projekt SmartAlert.

däre Nutzlast bei Raketenstarts in die Umlaufbahn gebracht, verfügen aber über ein leistungsstarkes Teleskop und eine Kamera.

Blualgen in Badegewässern

In dem Projekt „Smart Alert“ standen nicht nur die Erfassung der Qualitätskomponenten von Seen und Fließgewässern im Fokus, sondern es sollten darüber hinaus Badegewässer möglichst tagesaktuell auf ihre Gefährdung durch Blualgen (Cyanobakterien) überprüft werden. An den rund 500 offiziellen Badegewässern in MV werden in der Zeit vom 20.05. bis 10.09. monatlich entsprechend der Badegewässerlandesverordnung Wasserproben genommen und nach mikrobiologischen Verunreinigungen oder dem Vorhandensein von anderen Organismen oder Abfall überwacht. Die Satellitendaten bieten im Vergleich zu den punktuellen Wasserproben den großen Vorteil, dass sie zeitlich kurzfristig auftretende sowie räumlich begrenzte Phänomene wie das Aufkommen von Algenblüten flächendeckend erfassen und schneller vor gesundheitsgefährdenden Blualgen warnen können.

Aufbau langfristiges Monitoring

In einem Folgeprojekt plant das Land Mecklenburg-Vorpommern aktuell, ein langfristiges Monitoring aufzustellen und der Frage nachzugehen, ob u. a. die Zunahme der Wassertemperatur oder die höhere Verdunstung in den Sommermonaten zu einem vermehrten Auftreten von Blualgen und zu einer zeitlichen Verschiebung des Beginns der Frühjahrsalgenblüte führt. Die möglichen Veränderungen sollen innerhalb der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel als Klimaindikatoren „Cyanobakterienbelastung von Badegewässern“ und „Frühjahrsalgenblüte in Seen“ untersucht und in eine Klimaanpassungsstrategie des Landes Mecklenburg-Vorpommern eingebunden werden.

Literatur:

Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, 2022, Auswirkungen des Klimawandels auf Seen in Deutschland

Phänologie

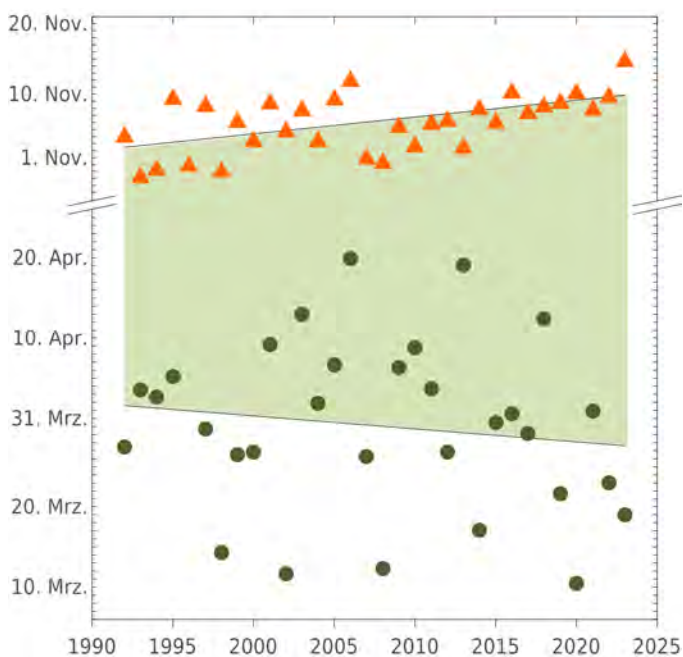
Die Witterungs- und Klimaverhältnisse beeinflussen Wachstum und Entwicklung von Pflanzen. Die Wissenschaft, die sich damit beschäftigt, ist die Phänologie (griech.: „Lehre von den Erscheinungen“). Die Daten pflanzenphänologischer Beobachtungen zählen zu den wertvollsten Anzeigern von Veränderungen in den Umweltbedingungen und werden weltweit seit Jahrhunderten erhoben.

Der Kreislauf der Natur als Klimaindikator

Die Phänologie beschreibt im Jahresverlauf periodisch wiederkehrende Erscheinungen in der Natur: das Aufblühen einer Pflanze, die Fruchtreife, den Brutbeginn von Vögeln und so weiter. Gerade Pflanzen eignen sich gut als sensibler Bioindikator für Klima- und Umweltveränderungen, da ihre Entwicklung direkt von sich verändernden Umweltbedingungen beeinflusst wird. Die Pflanzen der gemäßigten Breiten sind in ihrer Vegetationsrhythmik - Wachstumsperiode im Frühling und Sommer sowie Ruheperiode im Winter - an den jahreszeitlichen Wechsel ihrer Umweltbedingungen angepasst. Die Natur Mecklenburg-Vorpommerns zeigt Auswirkungen der sich verändernden klimatischen Bedingungen. So haben sich beispielsweise Vegetationsbeginn- und -ende sowie die Eintrittszeiten nahezu aller phänologischen Jahreszeiten verschoben. Im Frühjahr setzt die Vegetationsperiode (Beginn der Blüte der Sal-

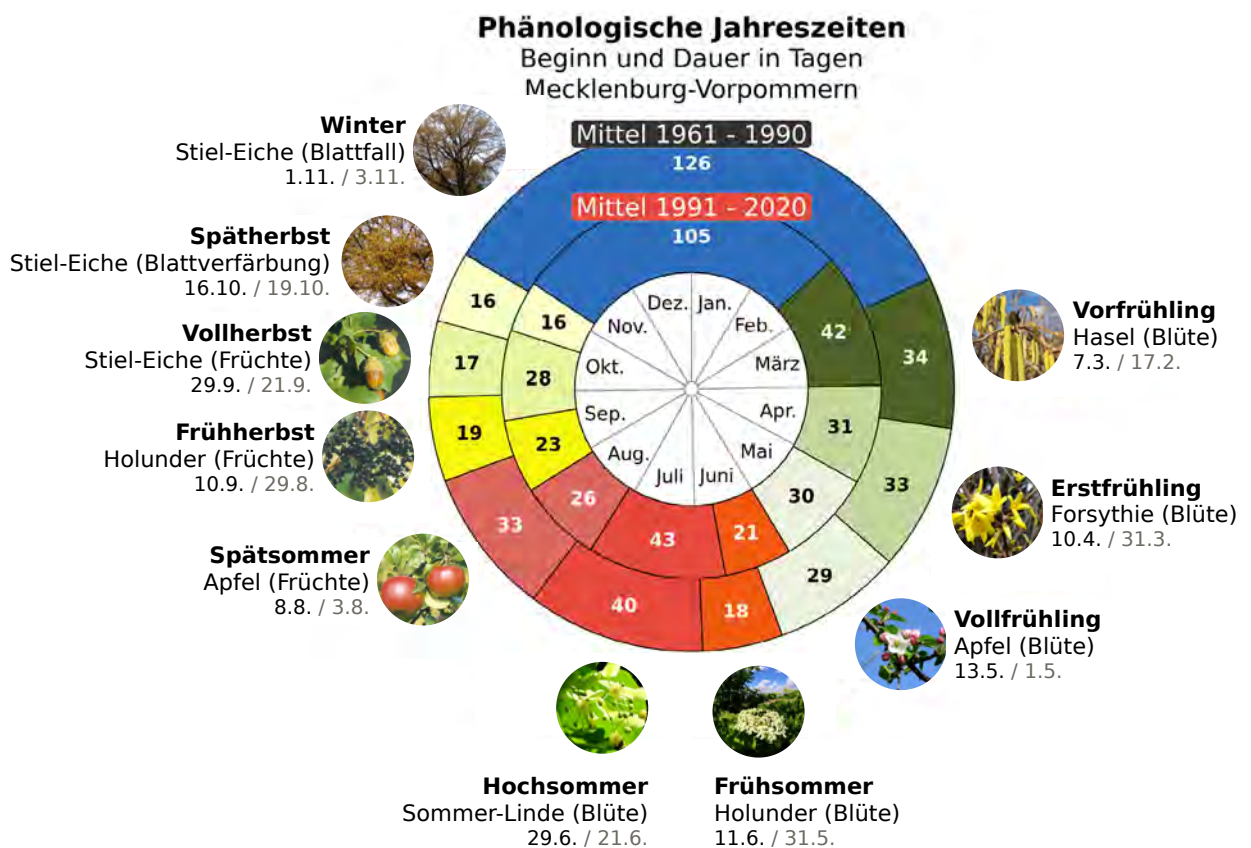


▼ Vegetationsbeginn und -ende in Mecklenburg-Vorpommern 1992 - 2023.



weide) inzwischen etwa neun Tage früher ein und endet im Herbst mit der Blattverfärbung der Stieleiche etwa drei Tage später, sodass sich die Vegetationsperiode um ca. zwölf Tage verlängert hat.

Während das Klima als eine der wichtigsten Standortbedingungen entscheidend für die Frage ist, ob eine bestimmte Pflanze überhaupt in einer Region gedeihen und ihren biologischen Zweck der Arterhaltung erfüllen kann, sind Witterung und Wetterbedingungen des konkreten Jahres für das Wachstum und die Entwicklung der Pflanzen verantwortlich. Ihre langjährige



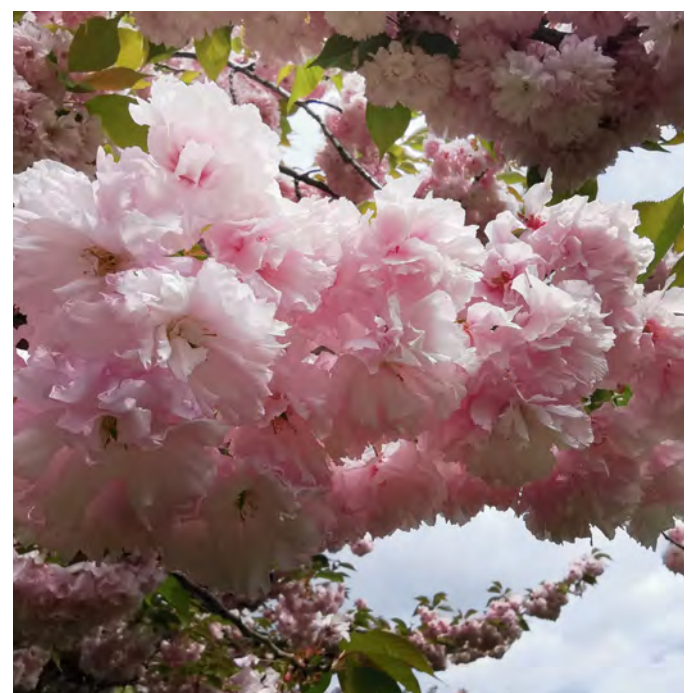
▲ Die verschiedenen Entwicklungsphasen der Pflanzen sind phänologischen Jahreszeiten zugeordnet. Die „Phänologische Uhr“ zeigt diese Jahreszeiten und ihre sogenannten Leitphasen für Mecklenburg-Vorpommern. Beim Vergleich der Klima-Referenzperiode 1961 - 1990 (äußerer Ring) und der aktuellen Klimanormalperiode 1991 - 2020 (innerer Ring) sowie der Eintrittstermine 1961 - 1990 (erstes Datum) und 1991 - 2020 (zweites Datum) wird die Verschiebung der phänologischen Jahreszeiten deutlich. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.

Beobachtung und die statistische Auswertung lassen spürbare Veränderungen erkennen. In Mecklenburg-Vorpommern sind in dem hier betrachteten Zeitraum phänologische Beobachtungen an mehr als 250 Standorten vorwiegend von ehrenamtlich tätigen Bürgerinnen und Bürgern durchgeführt worden. Heute sind in jedem Naturraum mindestens zwei ehrenamtliche Beobachter und Beobachterinnen für diese Aufgabe unterwegs. Zusätzlich kann inzwischen jede Nutzerin oder Nutzer der DWD-Warnwetterapp auf Smartphones eigene phänologische Beobachtungen melden und so den phänologischen Datenschatz des DWD bereichern.

Phänologische Jahreszeiten

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

der Forsythienblüte (*forsythia x intermedia*), die den Erstfrühling einläutet. Hier kann eine Verfrühung der Eintrittszeit von zehn Tagen beobachtet werden.



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

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

Beim Übergang zum Frühherbst wird nochmals der Schwarze Holunder als Leitpflanze herangezogen. Seine ersten reifen Früchte zeigen sich im Zeitraum 1991 - 2020 durchschnittlich nicht ganz zwei Wochen früher. Der Vollherbst beginnt mit den ersten reifen Früchten der Stiel-Eiche (*quercus robur*) und zeigt eine um acht Tage verfrühte Fruchtreife. Beginnt die Blattverfärbung der Stiel-Eiche, bricht der Spätherbst an. Diese Entwicklungsphase, genau wie der phänologische Winterbeginn beim Blattfall der Stieleiche, treten in Mecklenburg-Vorpommern mit drei Tagen geringfügig später ein als im Mittel der Jahre 1961 bis



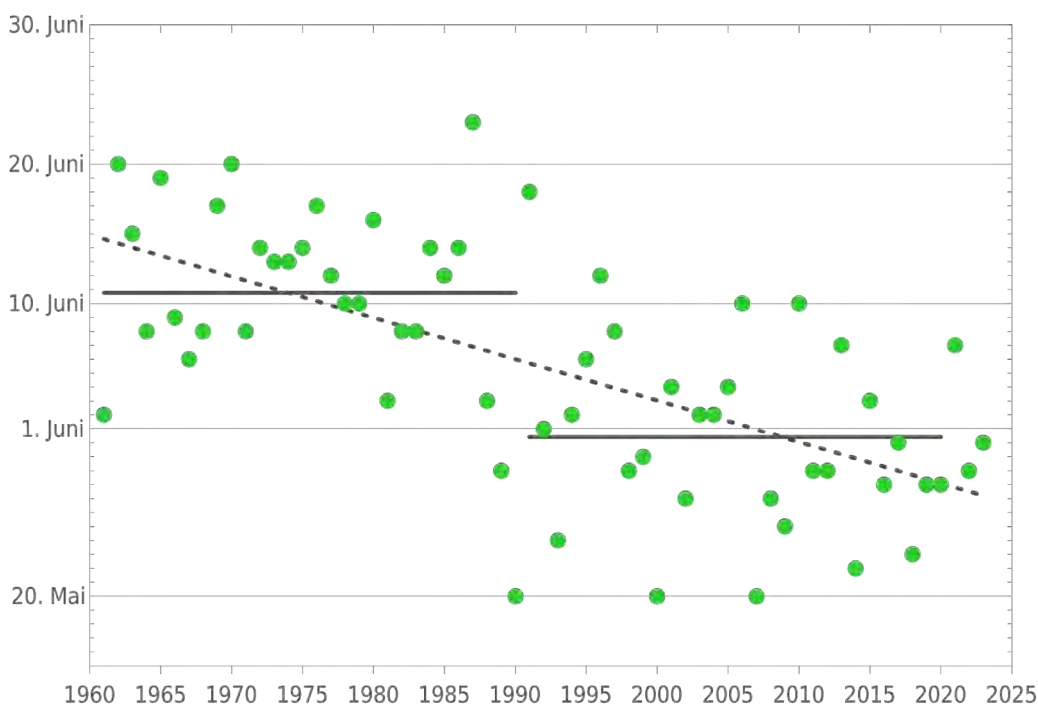
▲ Blüte Schwarzer Holunder.

1990. Der Grund hierfür ist, dass höhere Temperaturen im Herbst den Chlorophyllabbau im Blatt verlangsamten und damit zu einer späteren Blattverfärbung führen.

Die Eintrittstermine der Frühjahrsphasen zeigen die stärksten Änderungen. Das liegt einerseits daran, dass zu Beginn der Vegetationsperiode die stärksten Veränderungen stattfinden, und

andererseits daran, dass diese Phasen wesentlich durch den Anstieg der Temperatur ausgelöst werden. Dagegen spielen in späteren Phasen neben der Temperatur insbesondere auch Wasserhaushaltsgrößen eine zunehmende Rolle. Diese können im Laufe der Vegetationszeit sowohl beschleunigend, beispielsweise bei trockenheitsbedingter Notreife, als auch verlangsamt bei ausreichender Wasserversorgung wirken. Im letzteren Fall kann die jeweils betrachtete Pflanze eine optimalere Entwicklung nehmen.

▼ Eintrittstermine 1961 - 2023 der Leitphase der phänologischen Jahreszeit Frühsommer, die sich an dem Beginn der Blüte des Schwarzen Holunders orientiert.





Regionale Unterschiede

Die oben beschriebenen Entwicklungen beziehen sich auf die mittleren Werte für ganz Mecklenburg-Vorpommern. Da die phänologischen Jahreszeiten im engen Zusammenhang mit meteorologischen Größen wie der mittleren bodennahen Lufttemperatur und der Wasser- und Lichtverfügbarkeit stehen, können regional zum Teil beachtliche Unterschiede beobachtet werden. Die frühesten Beobachtungen im Frühling und Sommer finden wir in der Regel im Südwesten Mecklenburgs und die spätesten in Nordostvorpommern, während sich der Herbst zunächst im Nordosten des Landes bemerkbar macht und Schritt für Schritt nach Südwesten wandert.



Allgemeiner Trend

Auch deutschlandweit lassen sich Verschiebungen der phänologischen Jahreszeiten feststellen. Bis auf die Eintrittstermine des phänologischen Spätherbstes und Winters, die keine markanten Veränderungen aufzei-

gen, rutschen alle phänologischen Jahreszeiten im Jahresverlauf nach vorne und weisen zum Teil auch eine längere Dauer auf. Der Jahreszyklus der Pflanzen ist dahingehend optimiert, bei einer möglichst langen Wachstumsperiode das Frostrisiko gering zu halten. Ein im Jahr früher Anstieg der mittleren Tagestemperaturen verlängert zwar die Vegetationsperiode durch verfrühten Austrieb, ist aber auch mit einer erhöhten Spätfrostgefahr verbunden.

Die Entwicklung der Bodenfeuchte

Für landwirtschaftliche, gärtnerische und forstliche Fragestellungen ist eine ausreichende Wasserversorgung für die Pflanzen von essenzieller Bedeutung, damit optimale oder zumindest ausreichende Bedingungen für das Wachstum gegeben sind und die Pflanzen gedeihen und dabei ihre Leistungskraft zur Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln sowie Holz entfalten können. Ein Wassermangel führt dabei sehr schnell einerseits zu Ertragsverlusten und andererseits zu Stresssymptomen, die wiederum förderlich für Schaderreger der verschiedensten Art sind.



Bodenfeuchte in Mecklenburg-Vorpommern

Über die verschiedenen Landnutzungsaspekte hinaus haben Veränderungen der Bodenfeuchtegehalte auch Auswirkungen auf hydrologische Fragestellungen bei der quantitativen und qualitativen Wasserbewirtschaftung zur Bereitstellung ausreichenden und hochwertigen Trinkwassers und für andere Zwecke.

Die Messung der Bodenfeuchte ist aufwändig und komplex und ist deshalb nur sehr eingeschränkt möglich, aber in den letzten Jahrzehnten sind Wasserhaushaltsmodelle entwickelt worden, die bei Kenntnis der bodenphysikalischen Standortbedingungen insbesondere im Hinblick auf die Wasserspeicherfähigkeit gute,

mit Messwerten vergleichbare Ergebnisse liefern und so eine Aussage zur Entwicklung der Bodenfeuchte zulassen. Für diesen Report wurde dazu die Bodenfeuchte unter Gras an sieben Stationsstandorten des Deutschen Wetterdienstes in Mecklenburg-Vorpommern betrachtet, die als Eingangsdaten meteorologische Messwerte mindestens seit 1961 aufweisen. Für die westliche Küstenregion ist dabei der Standort Boltenhagen gewählt worden. Die östliche Küstenregion wird durch die Standorte Ueckermünde, Putbus und Kap Arkona abgedeckt. Im Binnenland konnten von West nach Ost die Stationen Schwerin, Teterow und Waren/Müritz verwendet werden.



▲ Messgerät zur Bestimmung der Bodenfeuchte unter Nutzung solar emittierter Neutronen (CRNS - Cosmic-Ray Neutron Sensing).

Die Modellierung der Bodenfeuchte erfolgte mit dem im DWD eingesetzten Bodenwasserhaushaltsmodell AMBAV und bezieht sich auf eine Schichtdicke des Bodens bis 1 m Tiefe. Die bodenphysikalischen Standortbedingungen basieren auf den Daten der von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe veröffentlichten Bodenkarte im Maßstab 1 : 1.000.000. Ausgewertet wurden die Tageswerte der Bodenfeuchte und es erfolgte ein Vergleich der täglichen Mittelwerte in den Zeiträumen 1961 - 1990 und 1991 - bis 2020.

Deutliche Unterschiede zwischen Küste und Binnenland

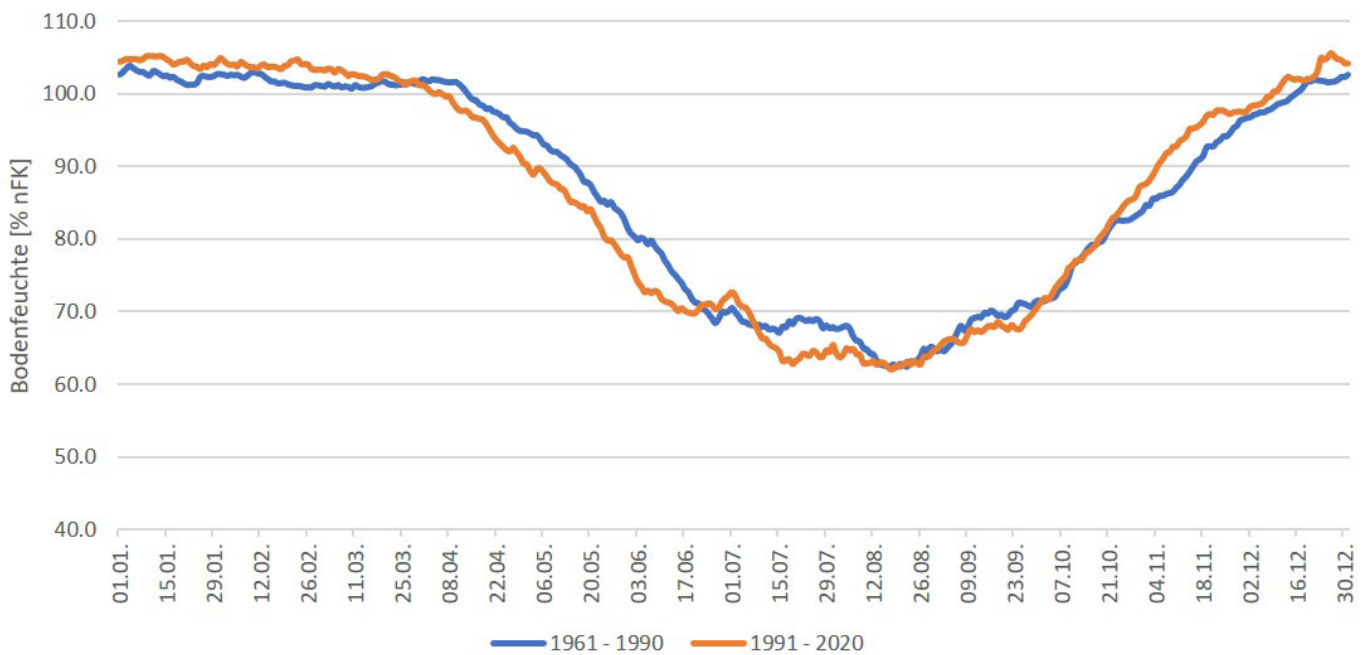
Die grundsätzlichen Verlaufsmuster sind an allen Standorten sehr ähnlich, wenn auch das Bodenfeuchteniveau in Küstennähe etwas höher ist und dort auch das Änderungssignal zwischen den beiden Vergleichsperioden geringer ausfällt. Stellvertretend für die Küstenregionen bzw. die Gebiete im Binnenland wurden die Jahressgänge der Bodenfeuchte für Putbus bzw. Waren/Müritz in den Zeiträumen 1961 - 1990 und 1991 - 2020 grafisch dargestellt.

Generell lässt sich sagen, dass im Laufe der ersten Wochen des Jahres im Mittel in allen Regionen die Bodenwasserspeicher in Mecklenburg-Vorpommern bis in die Nähe des maximalen Wasserspeichervermögens aufgefüllt werden und so für den Start der Vegetation ausreichend Bodenwasser verfügbar ist. Einzeljahre wie beispielsweise 2019 nach der Trockenheit 2018 weichen davon ab. Im Mittel ist der Bodenwassergehalt in den ersten Wochen des Jahres in der Periode 1991 - 2020 etwas höher als im Zeitraum 1961 - 1990 gewesen.



▲ DWD-Mitarbeiter bei der Entnahme von Bodenproben in einem Zuckerrübenbestand.

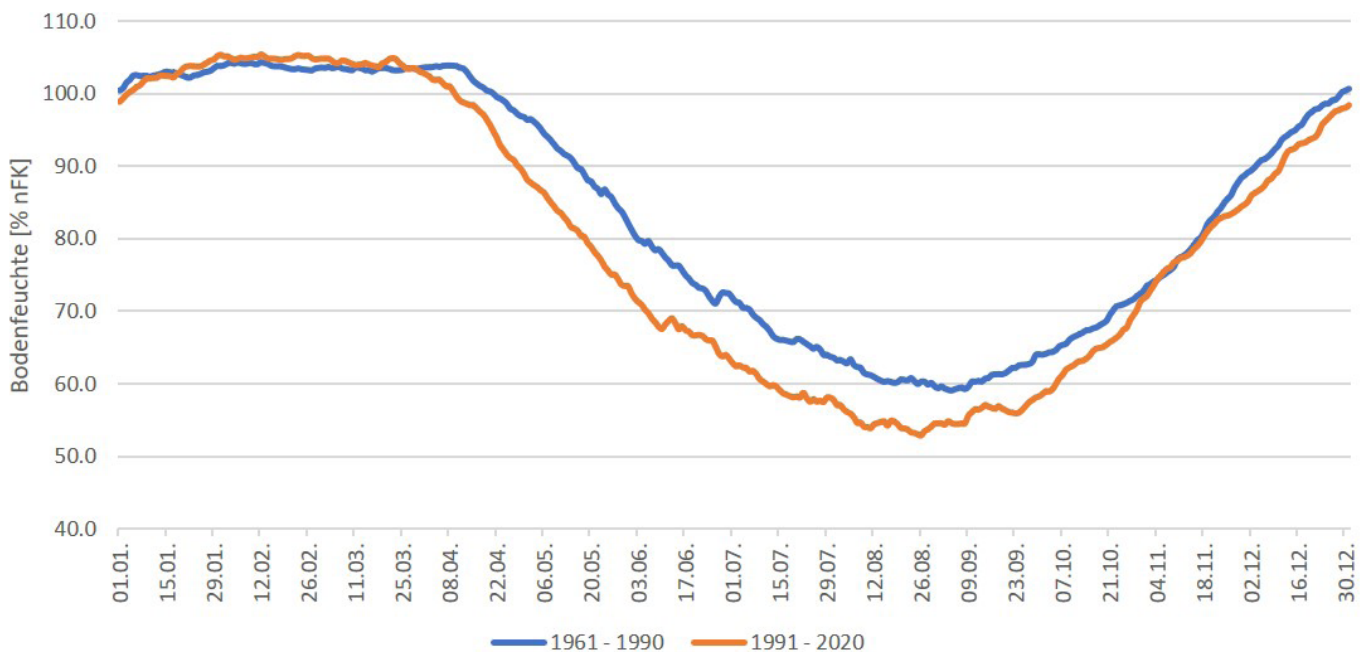
In etwa zum Beginn des phänologischen Erstfrühlings mit der einsetzenden höheren Evapotranspiration beginnt die Zehrung des Bodenwasserspeichers, die durch das allmähliche Absinken der Bodenfeuchte sichtbar wird. Die Abnahme der Bodenfeuchte startete im Zeitraum 1991 - 2020 etwas früher als 1961 - 1990 und erfolgte auch stärker als in der vorherigen Periode. Das Sinken der Bodenfeuchte kann bis in die zweite Augushälfte hinein, bis zum Wechsel der Jahreszeiten in den Frühherbst beobachtet werden. Die pflan-



▲ Mittlere Tageswerte der Bodenfeuchte unter Gras in Prozent der nutzbaren Feldkapazität (% nFK) in der Schicht bis 1 m Tiefe im Vergleich zwischen 1961 - 1990 und 1991 - 2020 in Putbus.

zenverfügbaren Bodenwasservorräte werden im Durchschnitt auf 55 bis 65 % der Speicherfähigkeit entleert, wobei die jährlichen Schwankungen groß sein können und insbesondere in der zweiten der betrachteten 30-Jahres-Perioden auch ein paar Jahre mit Abschnitten der Bodendürre unter 20 bis 30 % der pflanzenverfügbaren Wassermenge auftraten. In dieser Zeit zwi-

schen Erstfrühling und Ende des Hochsommers zeigen sich die größten Unterschiede zwischen den beiden Zeiträumen. In Küstennähe wurde der pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicher 1991 - 2020 etwa 3 bis 8 % stärker entleert als 1961 - 1990. Im Binnenland waren es 8 bis 12 %. Die größten Unterschiede treten dabei an der Küste im Mai und Juni auf, während die maxi-



▲ Mittlere Tageswerte der Bodenfeuchte unter Gras in der Schicht bis 1 m Tiefe im Vergleich zwischen 1961 - 1990 und 1991 - 2020 in Waren/Müritz.

Ort	Frühlingsbeginn 01.03.		Sommerbeginn 01.06.		Herbstbeginn 01.09.		Winterbeginn 01.12.	
	1961 - 1990	1991 - 2020	1961 - 1990	1991 - 2020	1961 - 1990	1991 - 2020	1961 - 1990	1991 - 2020
Kap Arkona	101	103	85	83	60	62	93	94
Boltenhagen	90	95	77	75	55	57	78	81
Putbus	101	103	81	76	65	65	97	98
Ueckermünde	100	102	79	74	57	56	87	90
Schwerin	97	98	71	63	56	58	91	90
Teterow	110	112	85	77	61	54	88	86
Waren/Müritz	104	104	81	72	60	55	89	85

▲ Bodenfeuchte unter Gras in Prozent der nutzbaren Feldkapazität (% nFK) zu Beginn der meteorologischen Jahreszeiten im Vergleich zwischen 1961 - 1990 und 1991 - 2020 in ausgewählten Orten in Mecklenburg-Vorpommern. Datenbasis: Stationswerte des DWD.

malen Differenzen im Binnenland etwas später im Juli und teilweise erst im August zu sehen sind.

Mit dem Wechsel vom Hochsommer in den Frühherbst ist das Minimum der Bodenfeuchte erreicht und ab diesem Zeitpunkt nimmt die Bodenfeuchte in der oberen Bodenschicht bis 1 m Tiefe allmählich wieder zu. Es zeigt sich, dass der Anstieg in der Periode 1991 - 2020 schneller erfolgte als im Abschnitt zwischen den 60er und 80er Jahren des letzten Jahrhunderts, sodass zum Jahresende mit Ausnahme des Standortes Waren et- was höhere Bodenwassergehalte vorhanden waren als 1961 - 1990.

Die beschriebenen Bodenfeuchteänderungen, die auch in der Tabelle, in der die mittleren Bodenfeuchtwerte zu Beginn der meteorologischen Jahreszeiten verzeich- net sind, zeigen, dass der Bodenwassergehalt unter dem Einfluss des Klimawandels größere Schwankungs- breiten aufweist und die Herausforderungen für eine optimale Wasserversorgung insgesamt zunehmen.



▲ Bohrstock zur Entnahme von Bodenproben zur Wassergehaltsbe- stimmung in einem Wintergerstenbestand.

▼ Bodenprobeentnahme auf einer Brachfläche.



Arten und Lebensräume im Klimawandel

Steigende mittlere Jahrestemperaturen, veränderte Niederschlagsmengen und vermehrte Extremereignisse, insbesondere längere Trockenzeiten und die Zunahme von Dürrejahren, verändern die Lebensbedingungen für Pflanzen und Tiere in ihren aktuellen Lebensräumen.



▲ Für Pflanzen und Tiere ist der Klimawandel eine zunehmende Belastung. In streng geschützten Gebieten sind andere Stressfaktoren reduziert.

Veränderte Klimabedingungen beeinflussen im Jahresverlauf die Entwicklung und das Verhalten von Pflanzen und Tieren. Das kann Auswirkungen auf die Fortpflanzung von Arten, ihre Konkurrenzfähigkeit und Nahrungsbeziehungen haben. In der Folge können sich die Verbreitungsgebiete von Arten und Lebensräumen verschieben, Bestände zurück- und Lebensräume verlorengehen. Die Artenvielfalt kann durch Zuwanderung von Arten aber auch regional zunehmen.

Wirkung der Klimasignale auf Arten und Lebensräume

Die Klimawirkung, also die Veränderung infolge des Klimawandels, ist immer davon abhängig, wie empfindlich die einzelnen Arten und Lebensräume auf die Klimasignale reagieren. Natürliche Systeme können sich meistens bis zu einem gewissen Grad an die geänderten Lebensbedingungen anpassen. Die Anpassungska-

pazität hängt damit zusammen, bis zu welchem Grad eine Art ihr Verhalten und ihren Organismus auf geänderte Klimabedingungen einstellen kann, wie schnell sich Veränderungen in vererbten Merkmalen von Generation zu Generation manifestieren, wie mobil eine Art ist und wie schnell sie somit in Räume mit günstigeren Lebensbedingungen ausweichen kann.

Die Ursachen für die Beeinträchtigung oder das Verschwinden von Arten und Lebensräumen können vielfältig sein. Klimawirkungen müssen von anderen Gefährdungsursachen, beispielsweise eine intensive Landnutzung, Wasserbau, Baumaßnahmen und Freizeitaktivitäten, getrennt betrachtet werden. Viele Arten verschwinden auch nicht sofort nach Verschlechterung ihrer Lebensbedingungen, sondern erst mit deutlicher Zeitverzögerung. Ein solcher Zeitversatz hängt

Mögliche Auswirkungen des Klimawandels	Aktuell beobachtet	Erwartete Auswirkung 2030 - 2060	Erwartete Auswirkung 2070 - 2100
Veränderungen der Vegetationsperiode, Phänologie	gering	hoch	hoch
Ausbreitung invasiver Arten	mittel	hoch	hoch
Verschiebung von Arealen, Rückgang von Beständen	gering	mittel	hoch
Schäden an Küstenökosystemen	gering	mittel	hoch
Schäden an wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten	mittel	hoch	hoch
Schäden an Wäldern	mittel	hoch	hoch
Ökosystemleistungen	gering	mittel	hoch

◀ *Einschätzung der Folgen des Klimawandels auf Arten und Lebensräume in Mecklenburg-Vorpommern - aktuell beobachtete und erwartete zukünftige Auswirkungen im Hochemissionszenario (angepasst nach Umweltbundesamt, 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse).*

mit schleichenden Veränderungen, beispielsweise der langsamen Abnahme der Lebensraumqualität, zusammen. Eine langlebige Art pflanzt sich dann nicht mehr erfolgreich fort oder nicht mehr in dem Umfang, wie es für den dauerhaften Fortbestand der Population erforderlich wäre. Die aktuell festgestellten Klimawirkungen auf Arten und Lebensräume sind noch relativ gering. Vermutlich werden jedoch die Auswirkungen der heutigen und sich im Hochemissionszenario weiter verstärkenden Signale des Klimawandels in den kommenden Jahrzehnten eine hohe Wirkung entfalten.

Klimawirkungen auf Arten der Feuchtgebiete

Der Klimawandel wirkt sich bereits verstärkt auf Feuchtgebiete aus. Für Feuchtwiesen, Moor- und Sumpfgebiete sowie natürliche Gewässer trägt Mecklenburg-Vorpommern eine besondere Verantwortung,

▼ *Feuchtwiese auf einem Niedermoorstandort im Ueckertal mit dem Schlangen-Wiesenknöterich (Bistorta officinalis), der Futterpflanze des Blauschillernden Feuerfalters (Lycaena helle).*



weil hier europaweit gefährdete Arten und Lebensräume einen Verbreitungsschwerpunkt haben oder sie eine besondere Bedeutung für den Genfluss zwischen den Populationen gefährdeter Arten besitzen.

Mecklenburg-Vorpommern gehört zu den moorreichen Ländern Deutschlands. Zu den naturnahen Mooren zählen rund 8 780 Hektar geschütztes Feucht- und Nassgrünland und rund 3 100 Hektar Salzgrünland. In diesen Lebensräumen kommen einige Tierarten mit hohem Aussterberisiko durch den Klimawandel vor.

Ein Beispiel ist der Blauschillernde Feuerfalter. Er kommt in Mitteleuropa nur in sehr verstreuten Populationen vor. Historisch in allen Bundesländern nachgewiesen, gibt es nur noch Vorkommen in den Mittelgebirgen West- und Süddeutschlands, im Alpenvorland und im Ueckertal in Mecklenburg-Vorpommern. Das größte noch verbliebene Vorkommen liegt im Wester-

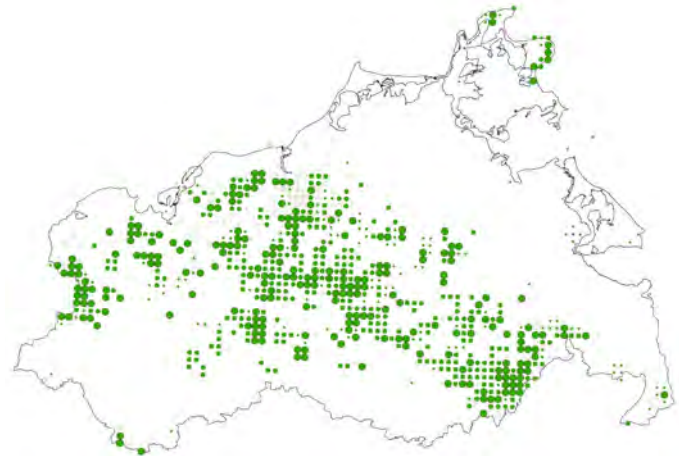
▼ *Blauschillernder Feuerfalter (Lycaena helle).*





▲ Rotbauchunke (*Bombina bombina*).

wald in Rheinland-Pfalz und ist von 1994 bis 2004 um ein Drittel zurückgegangen. Der Falter ist sehr flugträge und gründet daher nicht ohne weiteres neue Vorkommen. In Mecklenburg-Vorpommern ist nur noch eine Population im Ueckertal bekannt, die sich zudem von allen anderen in Deutschland unterscheidet: Es ist die Einzige, die zweibrütig ist, also zwei Faltergenerationen pro Jahr ausbildet. Auch die inzwischen ausgestorbene Population in Sachsen war zweibrütig. Alle anderen bilden nur eine Faltergeneration pro Jahr. Im Ueckertal lebt der Blauschillernde Feuerfalter in extensiv genutzten Feuchtwiesen mit dem Schlangen-Wiesenknöterich, der Futterpflanze des Falters. Es gilt, den Grundwasserhaushalt der Niedermoorflächen, auf denen der Falter lebt, zu stabilisieren und somit die Mineralisierung des Torfkörpers, die mit einer Nährstofffreisetzung und Änderung der Wiesenartenzusammensetzung einhergeht, zu verhindern. Neben einem



▲ Nachweise der Rotbauchunke (*Bombina bombina*) in Mecklenburg-Vorpommern von 1990 bis 2018 (Daten des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie).

intensiven Schöpfwerkbetrieb im Winter, um eine frühzeitige Bodenbearbeitung durchführen zu können, gefährdet die Austrocknung des Niedermoors in mit dem Klimawandel zunehmenden Trockenperioden im Sommer den Lebensraum des Blauschillernden Feuerfalters. Das Aussterberisiko dieser kleinen, isolierten Reliktpopulation ist damit besonders groß. Gezielte Wiederansiedlungsprojekte auf geeigneten Flächen sollen das Aussterberisiko durch ein Extremereignis bei nur einem Vorkommen in Mecklenburg-Vorpommern verringern.

Seen nehmen 3,2 % der Landesfläche ein. Dabei gibt es rund 1 500 natürliche Seen, die größer als ein Hektar sind. Typisch für die reich strukturierte Landschaft sind außerdem unzählige wassergefüllte oder nur zeitweilig wasserführende Kleingewässer und Feldsölle. Sölle sind eiszeitlich entstandene Hohlformen von we-



▲ Veränderungen des Wasserstandes eines Feldsolls als Lebensraum der Rotbauchunke (*Bombina bombina*) im Naturpark Mecklenburgische Schweiz und Kummerower See in den Jahren 2011 bis 2023.

Ausbreitung invasiver Arten

Der Klimawandel wirkt auf alle Arten in einer Region. Allerdings reagieren gebietsfremde Arten häufig besser auf veränderte klimatische Bedingungen, da sie oft über eine hohe Anpassungskapazität und ein großes Ausbreitungspotenzial verfügen. Durch diese Eigenschaften haben gebietsfremde Arten einen Konkurrenzvorteil gegenüber vielen einheimischen Arten. Im Naturschutz werden gebietsfremde Arten als invasiv bezeichnet, wenn sie unerwünschte Auswirkungen auf andere Arten und Lebensgemeinschaften haben. Die Buchstaben-Schmuckschildkröte (*Trachemys scripta*) ist eine bei Privathaltern äußerst beliebte Reptilienart aus Nordamerika, die über den Tierhandel eingeführt wurde. In die freie Landschaft ausgesetzte oder entkommene Exemplare treten in Nahrungs- und Raumkonkurrenz mit der vom Aussterben bedrohten Europäischen Sumpfschildkröte (*Emys orbicularis*) und jagen und fressen Amphibienlarven, Insekten und Wildpflanzen. Während in anderen Ländern schon heute relativ hohe Bestandszahlen zu verzeichnen sind, sind in Mecklenburg-Vorpommern bisher erst wenige Exemplare in der freien Natur nachgewiesen.



▲ Buchstaben-Schmuckschildkröte (*Trachemys scripta*).

nigen bis mehreren Metern Durchmesser. Viele von ihnen befinden sich in der Ackerlandschaft auf den Höhenrücken und im Rückland der Seenplatte. In solchen besonnten, vegetationsreichen, fischfreien Flachgewässern mit starken jahreszeitlichen Wasserstandsschwankungen lebt die Rotbauchunke. Im Land kommen 72 % der Rotbauchunken-Population Deutschlands vor. Der Erhaltungszustand der Rotbauchunke ist ungünstig und verschlechtert sich weiter. Ihr Überleben hängt hochgradig von einer extensiven Landwirtschaft ab. Aber auch der Klimawandel macht der Rotbauchunke zu schaffen. Insbesondere in den Dürre Jahren 2019 bis 2021 trockneten während der Vegetationsperiode viele der Feldsölle aus. In den Kerngebieten brachen in diesen Dürre Jahren die Bestände der Rotbauchunke fast vollständig ein.

Die Hauptgefährdungsursachen für die Rotbauchunke liegen in einer intensiven landwirtschaftlichen Nutzung. Die sehr mobilen Unken wandern im Jahresverlauf zwischen verschiedenen Gewässern. Werden Korridore zwischen den Teillebensräumen amphibienverträglich bewirtschaftet, beispielsweise als Extensivgrünland oder als Brachestreifen, können die Unken gefahrlos in günstigere Lebensräume, also auch in Dürre Jahren noch wasserführende Sölle und andere Kleingewässer, wechseln. Neben einer solchen extensiven Bewirtschaftung können durch die Anhebung des Grundwasserspiegels und den verstärkten Rückhalt der Winterniederschläge in der Landschaft, die durch den Klimawandel für die Rotbauchunke entstehenden Risiken zusätzlich abgemildert werden.

Literatur:

- Bundesamt für Naturschutz, 2008: Blauschillernder Feuerfalter – *Lycaena helle*. Managementempfehlungen für Arten des Anhangs IV der FFH-Richtlinie. Online eingesehen im März 2024.
- Bundesamt für Naturschutz, 2018: Buchstaben-Schmuckschildkröte – Management- und Maßnahmenblatt zu VO (EU) Nr. 1143/2014. Version 2018.02. Online eingesehen im August 2024.
- Fartmann, T., Stuhldreher, G., Streitberger, M., Löffler, F. & Poniatowski, D., 2021: Aussterbeschuld: zeitverzögertes Aussterben von Arten. Naturschutz und Landschaftsplanung 53, Heft 5, S. 14 - 19.
- Kerth, G., Fischer, K., Fleischer, T. et al., 2015: Anpassungskapazität von 50 Arten mit potenziell hohem Aussterberisiko gegenüber dem Klimawandel in Deutschland. Natur und Landschaft 90, Heft 1, S. 17-24.
- Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (Hrsg.), 2023: Natura-2000-Landesbericht Mecklenburg-Vorpommern. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern 2023, Heft 1, S. 65
- Nehring, S., 2016: Invasive Arten profitieren vom Klimawandel. In: Lozán, J. L., Breckle, S.-W., Müller, R. & Rachor, E. (Hrsg.). Warnsignal Klima: Die Biodiversität. S. 164 - 169. Online: www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. doi:10.2312/warnsignal.klima.die-biodiversitaet.27.
- Umweltbundesamt (Hrsg.), 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland. Teilbericht 2: Risiken und Anpassung im Cluster Land. Climate Change 21/2021.

Die Entwicklung der meteorologischen Waldbrandgefahr

In Mecklenburg-Vorpommern sind etwa 24 % der Landesfläche bewaldet. Wald ist multifunktional und seine klimatisierende Wirkung neben den wirtschaftlichen, ökologischen und touristischen Aspekten wichtig für die regionalen Klimabedingungen. Das betrifft einerseits die thermischen, andererseits auch die feuchteregulierenden Bedingungen bis hin zum Landschaftswasserhaushalt. Aus diesen Gründen ist es bedeutend, Risiken für die Wälder zu minimieren.



Ein Risiko ist die Waldbrandgefahr, wie mehrere Waldbrandereignisse in den letzten Jahren zeigen. Diese Gefahr wird auch durch die meteorologischen Bedingungen bestimmt und kann mithilfe von Gefahrenindizes beschrieben werden. Dabei werden Lufttemperatur, Niederschlag, Luftfeuchte und weitere Größen komplex zusammengefasst. Für die vorliegende Auswertung wird der kanadische Fire-Weather-Index (FWI) verwendet, der das Risiko in fünf Stufen, von der sehr geringen Gefahr (Stufe 1) bis zur sehr hohen Gefahr (Stufe 5), beschreibt. Bei klimatologischen Auswertungen kann aus Gründen der Datenverfügbarkeit noch nicht auf den im tagesaktuellen Risikomanagement

verwendeten DWD-Waldbrandgefahrenindex (WBI) zurückgegriffen werden, deshalb wird der fachlich eng verwandte FWI dargestellt.

Grundlage für die Auswertungen bilden die meteorologischen Daten von zehn Wetterstationen des DWD, die ausreichend lange und alle notwendigen Wetterelemente umfassenden Datensätze erfassen, um die Tageswerte des FWI liefern zu können. Aus diesen Stationsdaten, die großräumig repräsentativ sind, wurden sechs Regionen abgeleitet, die die regionalen Unterschiede des Landes Mecklenburg-Vorpommern widerspiegeln.

Region	1961 – 1990			1991 – 2020		
	gering	mittel	hoch	gering	mittel	hoch
Küste West	153	82	9	139	92	14
Rügen und Küste Ost	150	84	11	142	90	13
Westliches MV	149	79	17	134	85	25
Südliches MV	152	75	18	138	83	24
Zentrales Binnenland	142	84	19	131	90	24
Müritzgebiet	150	77	18	131	85	29
Östliches MV	143	88	14	134	92	19

▲ Mittlere Anzahl der Tage mit Waldbrandgefahrenstufen für die Monate März bis Oktober in den Zeiträumen 1961 – 1991 und 1991 – 2020.

Die als besonders waldbrandgefährdet einzuschätzende Zeit des Jahres umfasst die Monate März bis Oktober (245 Tage im Jahr). Für diese Monate wurde die Auswertung vorgenommen. Um keine Verwechslung mit den allgemein bekannten Waldbrandgefahrenstufen auszulösen, wurde eine Dreiteilung gewählt und in „geringe“, „mittlere“ und „hohe“ Gefahr unterschieden. Die einzelnen Stufen wurden dabei wie folgt zugeordnet: Stufe 1 – geringe Gefahr; Stufen 2 und 3 – mittlere Gefahr; Stufen 4 und 5 – hohe Gefahr.

Die geringe Waldbrandgefahr trat im Mittel über alle Regionen im Zeitraum 1961 – 1990 an 61 Prozent der Tage auf. Die mittlere Gefahr war an 33 Prozent der Tage feststellbar. Lediglich sechs Prozent sind Tage mit hoher Waldbrandgefahr gewesen.



▲ Löschbox auf geländegängigem Rückezug - modernes Löschgerät in schwer zugänglichem Gebiet.



▲ Feuerwehr in einem Dorf nahe der Lübtheener Heide während des Waldbrandes 2023. Im Hintergrund: Rauchschwaden.

Der Vergleich der Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2020 zeigt, dass die Anzahl der Tage mit geringer Gefahr je nach Region um acht bis 19 Tage abgenommen und sich auf 55 Prozent im Mittel über alle Regionen verringert hat. Gleichzeitig erhöhte sich im Zeitraum 1991 – 2020 sowohl die Anzahl der Tage mit mittlerer als auch mit höherer Waldbrandgefahr. Der prozentuale Anteil der Tage mit mittlerer Gefahr stieg auf 36 Prozent, der von Tagen mit hoher Gefahr auf neun Prozent. Damit ist deutlich erkennbar, dass sich die meteorologisch induzierte Waldbrandgefahr erhöht hat.

Extremereignisse

Außergewöhnliche Geschehnisse bleiben oftmals in Erinnerung. Ein verheerender Orkan, extreme Hitze oder eine katastrophale Sturmflut: Extremereignisse verursachen oft menschliches Leid und richten große Zerstörungen an. Wie hat sich die Häufigkeit von Extremen in der Vergangenheit entwickelt und welche Veränderungen sind in Zukunft zu erwarten?



▲ Trocken fallendes Ufer des Kölpinsees nach langer Dürrephase im Sommer 2020.

Extrem = selten

Extremereignisse sind sehr selten auftretende Ereignisse. Sie sind gekennzeichnet durch stark vom üblichen Zustand abweichende Verhältnisse. Es gab sie in der Vergangenheit und es wird sie auch zukünftig geben. Bekannte Beispiele aus der entfernten Vergangenheit sind die Sturmflut vom 12./13. November 1872, bei der mehr als 15 000 Menschen obdachlos wurden und fast 300 Menschen an den Küsten Dänemarks, Deutschlands und Südschwedens starben, oder 1816, das Jahr ohne Sommer nach dem Ausbruch des Vulkans Tambora.

Auch aus der nahen Vergangenheit sind zahlreiche Extremereignisse in Erinnerung geblieben. Dazu zählen beispielsweise die Hochwasser in den Jahren 2002 und 2013 an der Elbe, beide ausgelöst durch sehr hohe

Niederschlagsmengen, die Sturmfluten 1995, 2017 und 2023 an der Ostseeküste, die lange andauernde Hitze im Juli 1994, der warme und gleichzeitig trockene Sommer 2018 oder die Stürme Anatol (1999) und Christian (2013) sowie das aufeinanderfolgende Sturmtrio Ylenia, Zeynep und Antonia im Februar 2022.

Damit steht berechtigterweise eine Frage im Raum: Was erwartet uns zukünftig mit dem Klimawandel? Aufgrund des seltenen Auftretens von Extremen sind statistische Analysen weniger belastbar. Häufig wird ein Wiederkehrzeitraum von einmal in 100 Jahren betrachtet, das sogenannte Jahrhundertereignis. Die vorhandenen Messreihen sind meist kaum länger. Daher ist die statistische Erfassung eines Ereignisses auf dieser Skala nicht einfach.

Temperatur

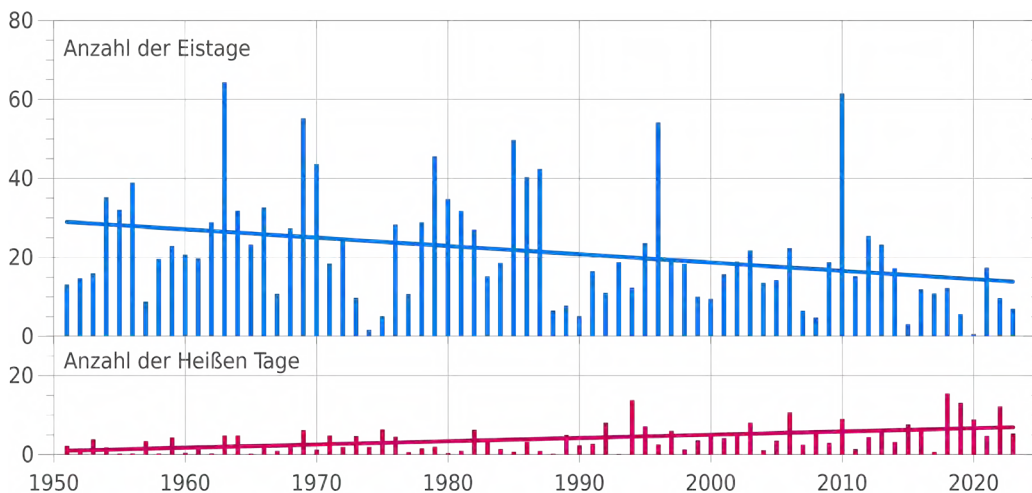
Die mittlere Temperatur ist in den letzten Jahrzehnten stark gestiegen. In der Folge sind mehr Tage mit sehr hohen Temperaturen und Hitzeperioden aufgetreten. Beispiel dafür sind die im Bundesland verzeichneten Temperaturrekorde: Am 20. Juli 2022 wurden an der Station Boizenburg 39,4 °C und in Tribsees 38,7 °C gemessen. Bereits 30 Jahre zuvor, im August 1992, wurden auf Usedom 39,3 °C registriert.



Um extreme Temperaturereignisse klimatologisch einordnen zu können, dient die Anzahl der Heißen Tage (Höchsttemperatur mindestens 30 °C) als Anhaltspunkt. Sie ist in Mecklenburg-Vorpommern von 1951 bis 2023 von einem Tag pro Jahr auf sechs Tage pro Jahr angestiegen. Das Maximum mit 16 Tagen wurde in dem sehr warmen Jahr 2018 verzeichnet, dicht gefolgt von 1994 mit 14 Heißen Tagen.

Dabei zeigen die Stationen des Binnenlandes Boizenburg und Waren/Müritz im Mittel 1991 - 2020 mit jährlich neun bzw. sieben Heißen Tagen erwartungsgemäß deutlich mehr Tage über diesem Schwellenwert als die Küstenstationen Boltenhagen mit zwei, Warnemünde mit drei, Ueckermünde mit vier Tagen und Arkona mit unter einem Tag. Der Anstieg in der Häufigkeit der heißen Tage gegenüber dem Referenzzeitraum 1961 - 1991 fällt im Binnenland stärker aus als in den Küstenregionen, in denen die Ostsee einen merklich dämpfenden Einfluss hat. Während in Boizenburg und Waren/Müritz im Zeitraum 1961 - 1991 fünf bzw. drei Tage weniger die 30 °C-Grenze überschritten wurde, waren es an den Küstenstationen Boltenhagen, Warnemünde bzw. Ueckermünde nur ein bzw. zwei Tage. In Arkona sind noch keine Änderungen festzustellen

Als Anzeiger für belastende Wärmeereignisse, die hauptsächlich im Sommer auftreten, kann auch die Zahl der Tropennächte dienen. Von einer Tropennacht spricht man, wenn das nächtliche Temperaturminimum nicht unter 20 °C absinkt. Tropennächte sind in der Regel keine Einzelereignisse, sondern werden von Sommertagen oder heißen Tagen begleitet. Eine dann fehlende nächtliche Abkühlung erschwert die Regeneration der Menschen und ist deshalb besonders belastend. In Mecklenburg-Vorpommern ist die Zahl der Tropennächte von 0,8 Tagen pro Jahrzehnt im Zeitraum 1961 - 1990 auf 3,1 Tage pro Jahrzehnt im Zeitraum 1991 - 2020 angestiegen.



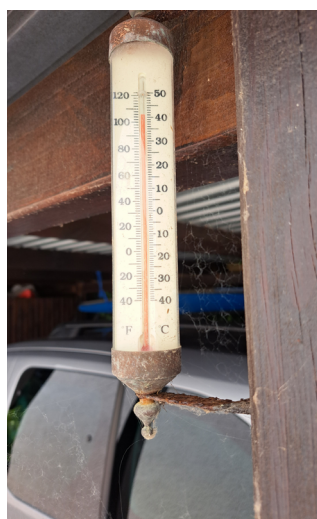
◀ Anzahl der Eistage (Tageshöchsttemperatur < 0 °C) und Anzahl der Heißen Tage (Tageshöchsttemperatur ≥ 30 °C) von 1951 bis 2023 in Mecklenburg-Vorpommern. Datenbasis: Gebietsmittelwertedes DWD.

Landesweit zeigen sich markante regionale Unterschiede in der Häufigkeit des Auftretens von Tropennächten. So werden an der Ostseeküste und ganz allgemein in der Nähe großer Wasserflächen deutlich mehr warme Nächte verzeichnet als im Binnenland. Wasserflächen kühlen nachts kaum ab und wirken dadurch wie eine Warmwasserheizung auf die nähere Umgebung. Im Zeitraum 1991 - 2020 wiesen die Stationen Arkona, Warnemünde bzw. Ueckermünde 15 bzw. 14 Tropennächte pro Jahrzehnt auf. Auch die an der Müritz gelegene Station Waren zeigte noch 13 Tropennächte pro Jahrzehnt. Die Stationen Teterow, Boizenburg bzw. Marnitz kamen dagegen nur auf vier, fünf bzw. sechs Tropennächte innerhalb von zehn Jahren.

Hitzewarnsystem des DWD

Mehrtägige Hitzeperioden können erhebliche negative Folgen für die Gesundheit haben. Wetterlagen, die hohe Temperaturen, hohe Luftfeuchte, geringe Windgeschwindigkeit, intensive Sonneneinstrahlung und geringe nächtliche Abkühlung aufweisen, können zu hitzebedingten Erkrankungen führen. Um die Auswirkungen möglichst gering zu halten, führte der Deutsche Wetterdienst im Jahr 2005 ein Hitzewarnsystem ein.

Hitzewarnsysteme verwenden die aktuellen Wettervorhersagen, um Episoden mit hoher Wärmebelastung vorherzusagen. Gewarnt wird in zwei Stufen anhand einer berechneten, sogenannten gefühlten Temperatur: Liegt sie an zwei Tagen in Folge über 32 °C und bleibt die Nacht dazwischen warm, wird vor starker Wärmebelastung gewarnt. Werden 38 °C überschritten, gibt der DWD eine Warnung vor extremer Wärmebelastung heraus. In den Jahren 2006 und 2010 wurden in Meck-

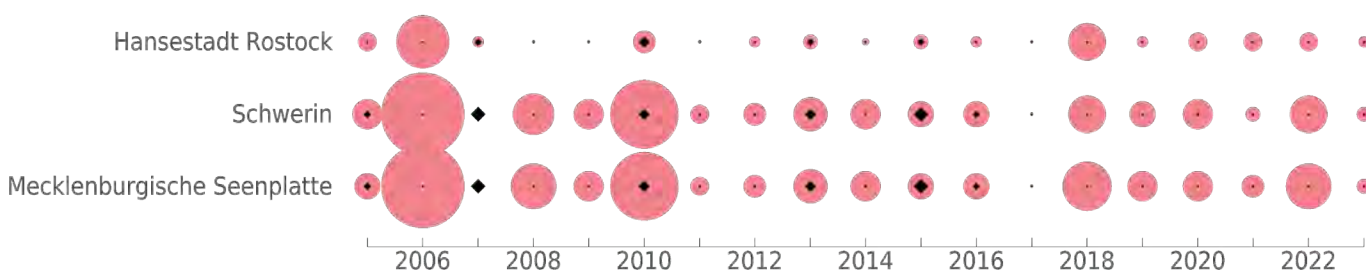


lenburg-Vorpommern die meisten Warnungen vor Wärmebelastung ausgesprochen, wobei das Binnenland deutlich häufiger betroffen ist. Während im Binnenland in diesen beiden Jahren an etwa 21 bzw. 19 Tagen vor Hitze gewarnt wurde, war das an der Küste nur an etwa 13 bzw. sieben Tagen der Fall. Aufgrund des kurzen Zeitraums ist ein Trend bislang nicht erkennbar.

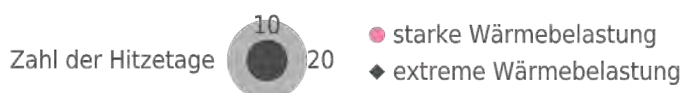
Durch die bereits vorhandene und weiter fortschreitende Erwärmung dürften hohe Temperaturen jenseits der 30-Grad-Marke in Mecklenburg-Vorpommern zukünftig häufiger auftreten. Sie werden oft mit lang anhaltenden Hitzeperioden verbunden sein. Hierfür geben die Ergebnisse der regionalen Klimaprojektionen klare Indizien. Eine belastbare Abschätzung, welche Spitzentemperaturen zukünftig auftreten können, gibt es bislang nicht.

Winterliche Kälte

In Zeiten globaler Erwärmung stellt sich die Frage, wie die Chancen auf kalte Winter in Mecklenburg-Vorpommern zukünftig stehen. In Norddeutschland werden kalte Winter durch längere Witterungsperioden hervorgerufen, die durch arktische oder eurasische Kaltluftzufuhr geprägt sind. Wie sich die Wahrscheinlichkeit für derartige Witterungssituationen vor dem Hin-



Legende



▲ Zahl der vom DWD ausgegebenen Hitzewarnungen im Zeitraum 2005 bis 2023 für verschiedene Orte in Mecklenburg-Vorpommern. Im Jahr 2017 gab es keine Warnungen.

tergrund häufiger eisfreier arktischer Küstengewässer entwickeln wird, ist Gegenstand aktueller Forschung. Grundsätzlich schwächt sich die Intensität solcher Witterungsverhältnisse durch die globale Erwärmung ab.



▲ Winterliche Greifswalder Wallanlagen im Februar 2015.

Die Winter in Mecklenburg-Vorpommern zeigen jedes Jahr ein anderes Gesicht. Zur Einordnung der Strenge eines Winters kann der Kenntag „Eistag“ herangezogen werden. An einem Eistag steigt das Maximum der Lufttemperatur nicht über Null Grad. Gab es im Zeitraum 1961 - 1990 noch 26 Eistage pro Jahr so waren es im Zeitraum 1991 - 2020 nur 17. Dabei zeigen sich allerdings beträchtliche Schwankungen von Jahr zu Jahr. In den kalten Wintermonaten 1963 und 2010 wurden über 60 Eistage gezählt. Dagegen gab es 2020 nur einmal sowie 1974 und 2015 nur zwei- bzw. dreimal ganztägigen Frost.

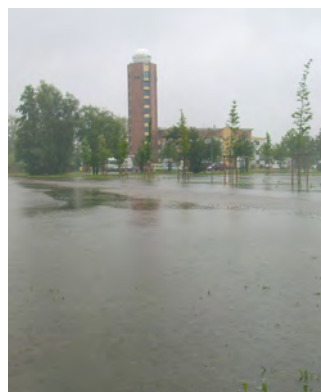


Auch bezüglich der Eistage zeigen sich deutliche regionale Unterschiede. Die im Binnenland gelegenen Stationen Boizenburg und Waren wiesen im Zeitraum 1961 - 1990 jährlich 26 bzw. 30 Eistage auf. Demgegenüber gab es im gleichen Zeitraum an der Ostseeküste in Arkona und Boltent-

hagen nur 21 bzw. 22 Eistage. Kalte Winter treten somit an den Küstenregionen merklich seltener auf als im Binnenland. Im Rahmen des Klimawandels hat sich an den speziell betrachteten Stationen die Zahl der Eistage deutlich verringert. Im aktuellen 30-Jahreszeitraum traten an den beiden Küstenstationen nur noch 14 und in Boizenburg bzw. Waren/Müritz 18 bzw. 19 Tage mit ganztägigem Frost auf.

Niederschlag

Niederschlagsextreme haben eine Vielzahl von Auswirkungen sowohl in den Städten als auch auf dem Land und bilden somit große Herausforderungen an die städtische und landschaftliche Planung. Intensive Starkregenfälle können innerhalb kurzer Zeit (Minuten bis Stunden) Straßen überfluten oder Flüsse in reißende Ströme verwandeln. Sie verursachen lokale, oft plötzlich auferende Überschwemmungen und belasten in Städten und Dörfern die Kanalisation. Auf dem Land können Starkregenfälle zu erosionsbedingten Schäden durch den Verlust fruchtbaren Bodens auf den Feldern führen.

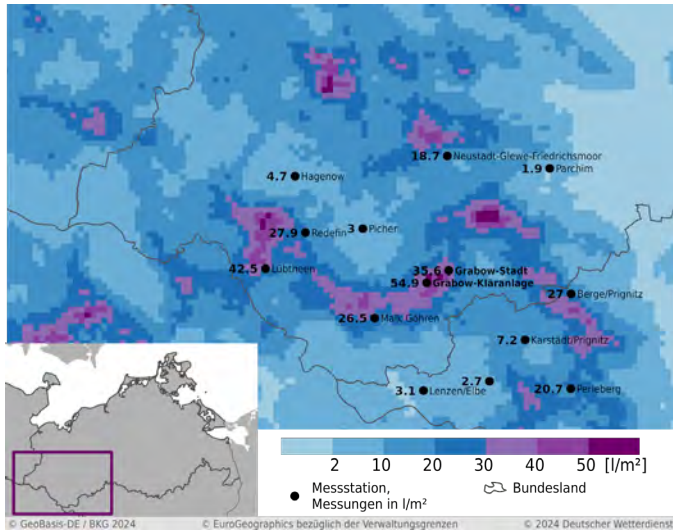


▲ Überflutete Parkplätze und Gehwege nach den Starkniederschlägen am 22.07.2011 in Warnemünde.

Häufig sind einzelne Extremereignisse für hohe Monats- und Jahressummen der Niederschlagsmenge verantwortlich. So war der Juli 2011 in Mecklenburg-Vorpommern außerordentlich niederschlagsreich: Das Gebietsmittel betrug 223 l/m² und damit mehr als das Dreifache der üblichen Menge. Das war die höchste monatliche Niederschlagsmenge seit Beginn der Messungen. In einigen Regionen kam es zu Überschwemmungen und in der Folge zu immensen Schäden. Allein in Rostock-Warnemünde fiel 111,4 l/m² am 22.07.2011 Niederschlag.

Ein Beispiel für sich lokal ausbildende Starkniederschläge liefert ein Niederschlagsereignis am 15.08.2022. Im Bereich eines Tiefdruckgebietes über

England und einer Tiefdruckrinne, die über Deutschland bis zum Balkan reichte, entwickelten sich an diesem Tag in einer feucht-warmen Luftmasse kräftige Schauer und Gewitter mit Hagel und Sturmböen, die räumlich eng begrenzt zu sehr hohen Niederschlagsmengen führten.



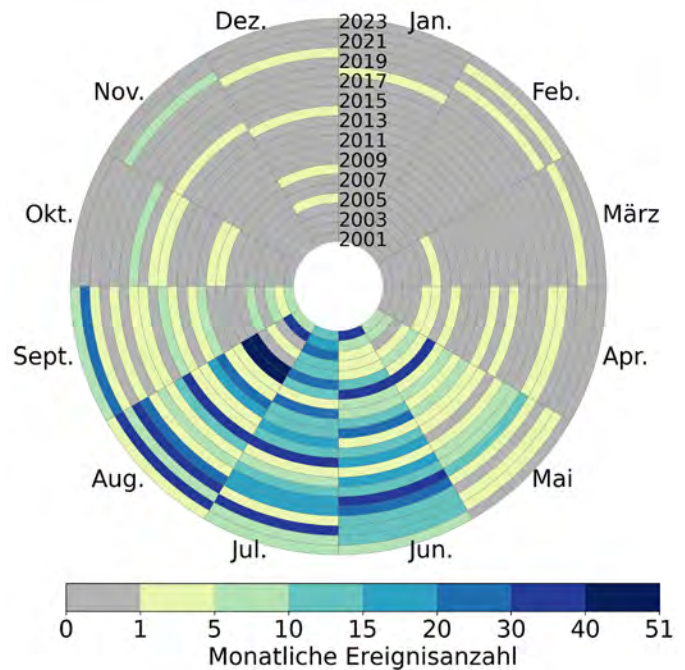
▲ Starkregenereignis vom 15.08.2022. Die Bodenmessstationen liefern exakte Angaben zu den lokal gefallenen Regenmengen, Radarbilder zeigen die flächendeckende Verteilung des Niederschlags. Im Verfahren RADOLAN werden beide Informationen kombiniert. Punkte: Automatische Niederschlagsstation, Tagessumme des Niederschlags in l/m²; farbiges Raster: Tagessumme des Niederschlags in l/m² aus RADOLAN. Größe der Rasterzellen 1 km x 1 km.

An der Messtelle Grabow, im Südwesten Mecklenburg-Vorpommerns, wurde innerhalb von neun Stunden eine Niederschlagsmenge von 54,9 l/m² gemessen. DWD-Analysen aus radar- und stationsbasierten Messungen ergaben dabei allein in dem 90minütigen Zeitraum zwischen 16:10 Uhr und 17:40 Uhr im am stärksten betroffenen Gebiet knapp 48 l/m² Niederschlag. Die Häufigkeit des Auftretens derartiger Starkniederschläge lässt sich mittels extremwertstatistischer Auswertungen als Wiederkehrzeit bestimmen. Diese ist abhängig von der Dauer und der Menge des gefallenen Niederschlags und gibt Auskunft darüber, wie oft in der Region ein derartiges Ereignis zu erwarten ist. Der Starkregen im Raum Grabow am 15.08.2022 hatte für den 90minütigen Zeitraum eine Wiederkehrzeit von über 100 Jahren. Damit kann das Niederschlagsereignis für diese Andauerstufe als extremer Starkniederschlag bezeichnet werden. Die Abbildung zeigt die zu diesem Ereignis erstellte kombinierte Karte aus Mess- und Radardaten.

Damit solch immense Mengen in so kurzer Zeit abregnen, müssen mehrere meteorologische Ursachen auf-

einandertreffen. Lokal braucht es starke Hebungsprozesse, die zu einem Ausfallen der in der Luft enthaltenen Feuchtigkeit führen. Dabei gilt: Je höher die Temperatur der Luftmasse, desto mehr Wasser kann sie enthalten. Die großräumige Wettersituation muss weiterhin für eine stetige Zufuhr weiterer warmer und feuchter Luftmassen sorgen. Verlagert sich außerdem diese Luftmasse nur langsam oder gar nicht weiter, sind langanhaltende Niederschläge die Folge. Daraus erklären sich die im Sommer gegenüber dem Winter tendenziell intensiveren Niederschläge.

Wie die untere Abbildung zeigt, treten solche Ereignisse in Mecklenburg-Vorpommern besonders zwischen Juni und August auf. Im Zuge des Klimawandels wird erwartet, dass Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen zunehmen. Langanhaltende Regenfälle können lokal zu Überschwemmungen führen, wobei die größten Schäden oft in Verbindung mit Flusshochwassern auftreten, die katastrophale Überschwemmungen verursachen und sogar Menschenleben fordern können. Neben direkten Schäden durch Wasser sind aber auch mitgeführte Sedimente, die zu irreparablen Verschmutzungen führen können, problematisch.

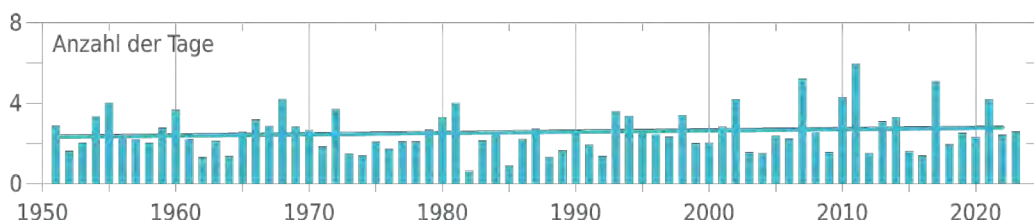


▲ Alle Stark- und Dauerregenereignisse (Dauerstufen 1 bis 72 h) für die einzelnen Monate, die Mecklenburg-Vorpommern betrafen. CatRARE W3Eta, 2001 - 2023 (Starkregenereignisse Version 2024.01 mit Überschreitung der DWD-Warnstufe 3 für Unwetter basierend auf RADKLIM-RW Version 2017.002), mehr unter www.dwd.de/catrare.



▲ Ausschnitt einer Reliefklassifikationskarte nach dem topographischen Klassifikationsindex für Flachland am Beispiel Schwerin. Blaue Farben kennzeichnen Senken, an die bei Starkregen erhöhte Anforderungen an die Entwässerung gestellt werden. Quelle: LUNG.

Der Forschungsbedarf im Themenbereich Starkniederschlag ist hoch, denn die Anforderungen an quantitative Angaben zu großen bis außergewöhnlichen Niederschlagsmengen für praxisrelevante Zielsetzungen sind im Zuge der Klimawandelthematik gestiegen. Die für unterschiedliche Anwendungen relevanten Starkniederschlagsereignisse können sowohl lokale Niederschläge kurzer Dauer und hoher Intensität als auch über mehrere Stunden oder Tage anhaltende und ausgedehnte Niederschläge mit beträchtlichen Gesamtniederschlagsmengen sein. So wird für die Siedlungsentwässerung als wichtige Bezugsgröße unter anderem die Häufigkeit des Auftretens von Niederschlägen mit einer Andauer von 15 Minuten genutzt. Für das Risikomanagement von Flusshochwassern sind Niederschlagsandauerzeiten von 12 Stunden und mehr relevant. Der diagnostizierte Forschungs- und Entwicklungsbedarf zum Risikomanagement bei der Siedlungsentwässerung einerseits und dem Umgang mit Flusshochwassern andererseits muss weiter abgebaut werden.



◀ Anzahl der Tage mit mindestens 20 l/m² Niederschlag sowie der lineare Trend im Zeitraum 1951 bis 2023 in Mecklenburg-Vorpommern. Datenbasis: Gebietsmittel des DWD.

Seit Mitte des Jahres 2000 ist es möglich, durch Fernerkundungsmethoden wie dem DWD-Wetterradarverbund den Niederschlag flächendeckend zu erfassen und damit die lokalen und kurzzeitigen hohen Intensitäten des Niederschlags. Der Zeitraum von nunmehr 23 Jahren, in dem diese Daten erfasst sind, ist klimatologisch gesehen nach wie vor recht kurz. Die Analyse der Nutzbarkeit der Daten steht noch am Anfang. Bis zum Jahr 2000 stellten die Messdaten der Bodenmessstationen die einzige, bekanntermaßen unzureichende Informationsquelle dar, um Starkregenereignisse zu erfassen.

Zu einer Abschätzung der Entwicklung der Starkniederschläge kann der Kenntag mit einer Tagesmenge des Niederschlags von mindestens 20 l/m² herangezogen werden. Die gesamte Zeitreihe von 1951 bis 2023 ist in der unteren Abbildung graphisch dargestellt. Bisher ist seit 1951 in jedem Jahr mindestens ein Tag mit Starkregen aufgetreten, in einigen Jahren (2007 und 2017) bis zu fünfmal. Die höchste Zahl an Tagen mit mindestens 20 l/m² Niederschlag wurde in Mecklenburg-Vorpommern 2011 mit insgesamt sechs Tagen erreicht. Eine Aussage über einen linearen Trend seit 1951 bis heute ist kaum belastbar. In der Referenzperiode 1961 – 1990 wurden landesweit durchschnittlich 2,3 Tage beobachtet, dieser Wert erhöhte sich um 0,4 Tage in der Periode 1991 l/m² 2020. Generell ist bei diesen geringen Änderungsraten Vorsicht bei der Interpretation geboten.

Die seit Aufzeichnungsbeginn höchste Tagessumme der Niederschlagshöhe in Mecklenburg-Vorpommern wurde am 26.08.1946 mit 146,2 l/m² in Marnitz, im Landkreis Ludwigslust-Parchim registriert. Das entspricht etwa dem 2,5-fachen der normalerweise in dem gesamten Monat zu erwartenden Niederschlagsmenge.

Für die aktuelle Daseinsvorsorge bieten die Starkregenwarnungen des DWD eine wichtige Informationsquelle: Sie unterteilen sich in Warnungen vor markantem Wetter und Unwetterwarnungen, die sowohl die kurzzeitigen intensiven Regenfälle (Starkregen) als auch länger andauernde Regenereignisse (Dauerregen) berücksichtigen.

Der Klimawandel führt durch die Erhöhung der Lufttemperatur zu einer Erhöhung des Potenzials für extreme Niederschlagsereignisse. Dieser Prozess wird dadurch verstärkt, dass der Zusammenhang zwischen Temperatur und Wassergehalt nicht linear, sondern exponentiell verläuft. Die aktuelle Generation regionaler Klimamodelle zeigt eine Tendenz weiterer Zunahmen von Niederschlagsextremen an, ist aber aufgrund einer für diese Prozesse zu groben Auflösung nicht in der Lage, detaillierte lokale Angaben zu liefern.

Generell aussagekräftigere Ergebnisse sind im Rahmen des Radarverbunds möglich. In einem mehrjährigen Projekt hat der DWD zusammen mit dem Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) deutschlandweit erstmals Starkregen- und Schadendaten systematisch untersucht (<https://www.gdv.de/gdv/themen/klima/forschungsprojekt-starkregen-52866>). Dafür wurden Niederschlagsmessungen aus 17 deutschlandweiten Radarstationen seit 2001 detailliert ausgewertet. So wurde es erstmalig möglich, mehr als 11 000 Starkregenereignisse bundesweit zu identifizieren und zu katalogisieren.



Auswirkungen von Starkniederschlag in Mecklenburg-Vorpommern

Auch in Mecklenburg-Vorpommern wird in Zukunft die Untersuchung von Starkniederschlagsereignissen an Bedeutung gewinnen. Diese Geschehnisse, die gerade in den Sommermonaten mit heftigen Gewittern auftre-

ten, können örtlich begrenzt schwere Überflutungen und damit große Schäden anrichten. Das Land ist hier in der Verantwortung für die Daseinsvorsorge und den vorbeugenden Katastrophenschutz. Dabei bilden die Starkregenwarnungen des DWD eine wichtige Informationsquelle.

▼ *Warnkriterien des Deutschen Wetterdienstes für Niederschlag mit hohen Intensitäten.*

Bezugszeitraum	Wetterwarnung	Unwetterwarnung
1 Stunde	15 bis 25 l/m ²	>25 l/m ²
6 Stunden	20 bis 35 l/m ²	>35 l/m ²
12 Stunden	25 bis 40 l/m ²	>40 l/m ²
24 Stunden	30 bis 50 l/m ²	>50 l/m ²
72 Stunden	60 bis 90 l/m ²	>90 l/m ²

Eine Reihe von Faktoren beeinflussen die Auswirkungen intensiver Niederschläge. Zunächst können die Niederschläge vor Ort eine lokale Überflutung erzeugen. Die Dimensionen dieser Überflutungen werden entscheidend durch das Maß der baulichen Nutzung und der Versiegelung beeinflusst. Eine flächige Bebauung, die nicht mit einer großzügig dimensionierten Regensammlung und Regenrückhaltung ausgestattet ist, wird größere Schäden verzeichnen als dies auf nicht bebauten Flächen der Fall sein wird. Hinzu kommt die in Teilen des Landes Mecklenburg-Vorpommern flache und nur wenig höhenmäßig strukturierte Landschaft, die ein schnelles Abfließen von Starkregen nicht fördert, sondern das Wasser am Ort des Niederschlags hält.

Im oben erwähnten Starkregenforschungsprojekt zusammen mit dem GDV zeigte sich: Extreme Regenfälle haben zwischen 2002 und 2017 über 31 000 Schäden an Wohngebäuden in Mecklenburg-Vorpommern verursacht. Insgesamt 515 Starkregenfälle verursachten im nordöstlichsten Bundesland 153 Millionen Euro Schaden. Am häufigsten waren Bewohner und Bewohnerinnen im Landkreis Mecklenburgische Seeplatte betroffen: Hier wurden zwischen 2002 und 2017 158 Starkregenereignisse gezählt, gefolgt vom Landkreis Vorpommern-Greifswald mit 116 Ereignissen. Die Städte Rostock und Schwerin waren mit vier bzw. zwei Ereignissen zwar wesentlich seltener von Starkregen betroffen, doch wiesen beispielsweise in der Stadt Rostock etwa 154 von 1000 Wohngebäuden Schäden durch be-

sonders starke Regenfälle auf, während es im Landkreis Rostock und im Landkreis Mecklenburgische Seenplatte 100 bzw. 91 betroffenen Wohngebäuden von 1000 gab. Die durchschnittliche Schadenssumme für den einzelnen Hausbesitzer pro Ereignis war in der Stadt Rostock etwa 60 % höher als im Landkreis Mecklenburgische Seenplatte. Im Gesamtergebnis zeigte sich: Gerade die kurzen, heftigen Niederschläge verursachen besonders häufige und hohe Schäden.

Diese extremen Niederschläge werden im Land schließlich über die Gewässer der Flussgebietsgemeinschaften Warnow, Peene, Tollense und Recknitz in die Ost- sowie über die Elde und Elbe in die Nordsee abgeführt. Daher spielt für die Entwässerung der Niederungsgebiete der Außenwasserstand der Meere eine entscheidende Rolle. Bei einer Erhöhung des Meeresspiegels ist davon auszugehen, dass die Entwässerung der Niederungsgebiete im Freigefälle in Zukunft zusehends schwieriger wird und sich daher durch den ansteigenden Meeresspiegel auch binnenseitig eine Verstärkung des Hochwasserrisikos ergibt.

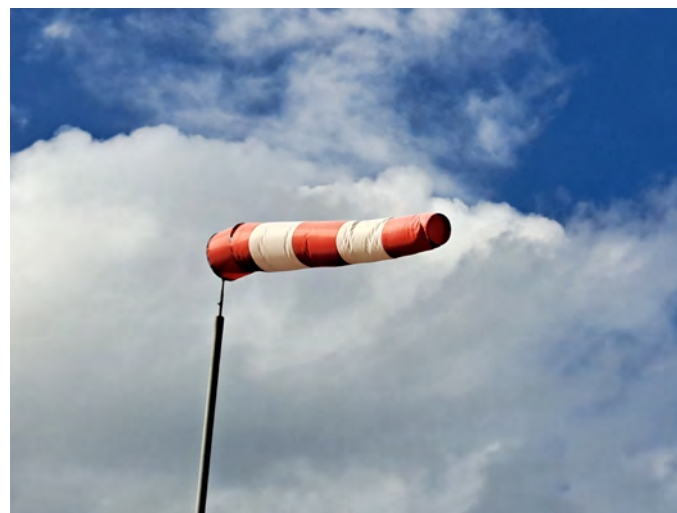
Hagel

Hagelereignisse sind lokale und seltene Ereignisse, die hohe Schäden an der Infrastruktur und Verluste in der Landwirtschaft verursachen können. Durch die meist geringe Ausdehnung und die nur punktuelle Beobachtung konnten in der Vergangenheit nicht alle Ereignisse erfasst werden. Um diese Informationslücke zu schließen, werden die seit 2001 vorliegenden Radardaten genutzt. Die Ergebnisse zeigen im Süden Deutschlands eine höhere Anzahl von Hagelereignissen pro Jahr als im Norden. Auf Basis der vorhandenen Beobachtungsdaten ist es nicht möglich, Entwicklungstendenzen für die Änderung der Anzahl an Hagelereignissen zu bestimmen. Alternativ ist die Nutzung von Da-



ten, die indirekt auf Hagelfall schließen lassen, möglich. Dies sind Konvektionsparameter, die das Potential für Gewitter- und Hagelbildung beschreiben. Statistische Analysen der hagelrelevanten Konvektionsparameter zeigen für die vergangenen 20 bis 30 Jahre eine leichte Zunahme des Potentials.

Die räumliche Auflösung der aktuell genutzten regionalen Klimamodelle ist noch nicht ausreichend, um Hagel direkt zu modellieren. Hagel wird nur grob über Parametrisierungen abgeschätzt. Somit sind keine Aussagen zu zukünftigen Tendenzen möglich. Analysen des Konvektionspotentials zeigen für den kurzfristigen Planungshorizont keine einheitliche Tendenz.



Wind

In Mecklenburg-Vorpommern sind starke Winde oder Stürme Bestandteile des normalen Lebens. Trotzdem sorgen markante Sturm- und Orkanereignisse immer wieder für Gesprächsstoff. Mitte Februar 2022 beispielsweise zogen gleich an drei aufeinanderfolgenden Tagen drei Stürme übers Land, nämlich Ylenia, Zeynep und Antonia, bei denen Windstärken zwischen 9 und 12 Bft registriert wurden. Die Folge waren umgestürzte Bäume, hohe Sachschäden sowie unzählige Einsätze für Rettungsdienste und Feuerwehren in Mecklenburg-Vorpommern. Die höchsten bisher gemessenen Windspitzen traten aber bereits 1999 in Arkona mit 180 km/h auf, gefolgt von 156 km/h 2016 in Boltenhagen, 155 km/h 1969 in Schwerin und 148 km/h 1972 in Warnemünde.

Sturmtage

Sturmtage sind Tage mit Spitzenwindgeschwindigkeiten von mindestens 8 Bft (entsprechend 62 - 74 km/h). In Mecklenburg-Vorpommern gibt es beträchtliche Unterschiede in der Anzahl der Sturmtage zwischen Küs-

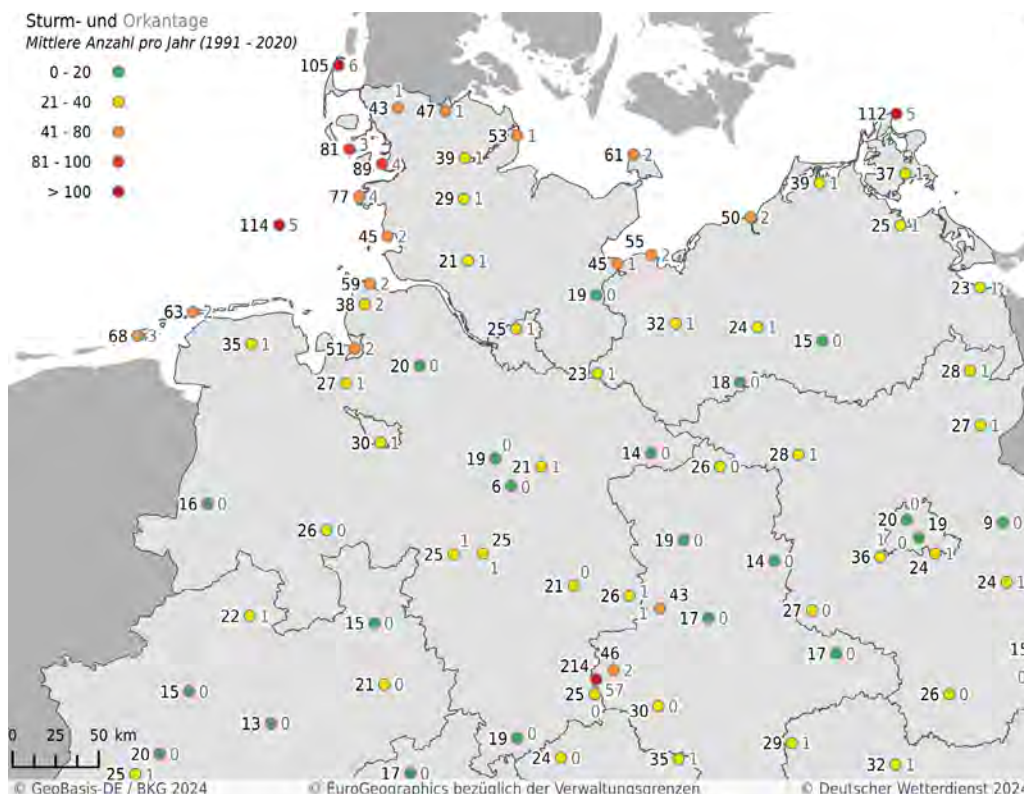
ten und dem Binnenland. So ist der Norden des Landes stärker gefährdet als der Süden. Am häufigsten werden die höchsten Windspitzen an der Ostseeküste verzeichnet. Arkona auf Rügen mit seiner exponierten Lage weist für den Zeitraum 1991 - 2020 im Mittel jährlich 112 Sturmtage auf, die Küstenstationen in Boltenhagen und Warnemünde mit 55 bzw. 50 Tage. Deutlich weniger verzeichnen die Stationen Boizenburg und Waren/Müritz im Binnenland mit 24 bzw. 17 Tagen.



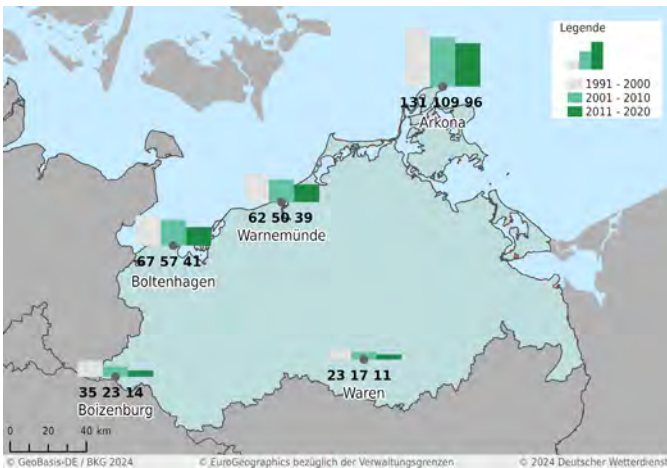
zehn Jahren Windspitzen ab 11 Bft an durchschnittlich 21 Tagen registriert, so ist - statistisch gesehen - jedes Jahr mit zwei Ereignissen zu rechnen.

Um darzustellen, wie stark die Regionen in Mecklenburg-Vorpommern durch hohe Windgeschwindigkeiten gefährdet sind, wurden die Messungen an den Stationen des Windmessnetzes des DWD ausgewertet. Verwendet wurden die täglichen Windspitzen (höchster 3-Sekunden-Mittelwert des Tages) des Zeitraums 1991 - 2020. Die Karte der Häufigkeit von Spitzenböen der Stärke 11 und 12 Beaufort (Bft) zeigt die durchschnittliche Anzahl an Tagen für einen Zeitraum von zehn Jahren, in dem Windspitzen ab 103 km/h (11 und 12 Bft) aufgetreten sind. Werden beispielsweise in

Markante Sturmereignisse wie 2022 beleben regelmäßig die Diskussion über mögliche Änderungen der Häufigkeit und Intensität von Stürmen oder generell über Langzeittrends der Windgeschwindigkeit. Die Antwort darauf ist schwierig. Fast alle Windzeitreihen weisen Inhomogenitäten auf. Des Weiteren sind die zur Verfügung stehenden Zeitreihen meist nur einige Jahrzehnte lang - zu kurz, um Langzeittrends über zum Beispiel 100 Jahre bestimmen zu können. Die besonders interessierenden Stürme und Orkane sind seltene Ereignisse und damit nur mit möglichst langen, homogenen Zeitreihen statistisch zu bewerten.



◀ Mittlere Anzahl der Sturm- und Orkantage pro Jahr in Norddeutschland. Sturm wird ab Bft 8 erreicht (mindestens 17,2 m/s bzw. 62 km/h) und Orkan ab Bft 11 (mindestens 28,5 m/s bzw. 103 km/h). Der Wind wird ca. 10 m über dem Boden gemessen. Die Farbe des Stationssymbols sowie die davon linksstehende Zahl gibt die Anzahl der Sturmtage, die rechtsstehende Zahl die Anzahl der Orkantage an. Datenbasis: Stationsdaten des DWD.



▲ Zahl der Tage mit Spitzen der Windgeschwindigkeit ≥ 8 Bft an ausgewählten Stationen in den letzten drei Dekaden.

Bei der Betrachtung der einzelnen drei Dekaden dieser Periode ist eine deutliche Abnahme der Zahl der Tage mit Windspitzen von mindestens 8 Bft in den vergangenen 30 Jahren festzustellen. Während im Mittel in der ersten Dekade in Arkona noch 131, in Boltenhagen 67, in Warnemünde 62, in Boizenburg 35 und in Waren 23 Sturmtage registriert wurden, gab es in der Dekade 2011 - 2020 in Arkona nur noch 96, in Boltenhagen 41, in Warnemünde 39, in Boizenburg 14 und in Waren 11.

Aus den Ergebnissen der Klimaprojektionen ist für die Zukunft bei den Stürmen keine deutliche Änderung erkennbar.

Tornados

Kurzlebige, räumlich stark begrenzte, rotierende Luftmassen unter einer konvektiven Wolke mit Bodenkontakt, die hohe Schäden verursachen: Tornados gehören zu den gefährlichsten und intensivsten Wettererscheinungen, auch in Norddeutschland. Mittlerweile werden mehr Tornados entdeckt als vor 20 Jahren. Dies lässt jedoch keine Rückschlüsse auf eine zunehmende Gesamtanzahl zu. In einer hochtechnisierten, digitalen Welt ist es wesentlich einfacher, per Smartphone und Internet besondere Ereignisse schnell zu dokumentieren und weiterzuverbreiten. Schwächere Tornados, die nur geringere Schäden verursachen, bleiben in vielen Fällen aber auch heute noch unentdeckt.

In Deutschland werden pro Jahr etwa 20 bis 60 Tornados gesichtet, wobei die Dunkelziffer noch um einiges höher liegen dürfte. Die Stärke eines Tornados wird anhand der Schäden, die er hinterlässt, abgeschätzt, da niemand mit einem Windmesser direkt in die Gefahrenzone läuft. Eine Einteilungshilfe bietet dabei die 1971 von Dr. T. Theodore Fujita entwickelte und

nach ihm benannte Fujita-Skala. Die stärksten Tornados sorgen für unglaubliche Verwüstungen bei einer Geschwindigkeit von mehr als 419 km/h. So besteht die Gefahr, dass stabile Gebäude aus ihren Fundamenten gehoben und Stahlbetonkonstruktionen beschädigt werden. Zudem können Autos hunderte Meter durch die Luft geschleudert oder sogar Bäume komplett entwurzelt werden. Neben der Fujita-Skala zur Klassifizierung von Tornados gibt es auch die Enhanced-Fujita- und die TORRO-Skala.

Fujita-Skala [km/h]	Enhanced-Fujita-Skala [km/h]	Torro-Skala [km/h]			
F0	63 - 117	EF0	104 - 137	T0	65 - 90
F1	118 - 180	EF1	138 - 177	T1	91 - 117
F2	181 - 253	EF2	178 - 217	T2	118 - 150
F3	254 - 332	EF3	218 - 266	T3	151 - 183
F4	333 - 418	EF4	267 - 322	T4	184 - 219
F5	419 - 512	EF5	> 322	T5	220 - 254
				T6	255 - 294
				T7	295 - 334
				T8	335 - 377
				T9	378 - 420
				T10	421 - 467
				T11	468 - 515

▲ Skalen zur Klassifizierung von Tornados.

In Mecklenburg-Vorpommern wurden im Zeitraum 2000 bis 2020 im Mittel zwei Tornados pro Jahr über Land und 4 Tornados über See (Wasserhosen) beobachtet. Stärkere Tornados mit großer Zerstörungskraft sind in Mecklenburg-Vorpommern selten. Beispielsweise zog am 5. Mai 2015 ein starker Tornado durch Bützow, verletzte mehrere Menschen und führte zu schweren Zerstörungen. Häuser wurden zum Teil unbewohnbar. Der Tornado in Bützow war an diesem Tag in Mecklenburg-Vorpommern zwar der stärkste, doch wurden im Westen Mecklenburgs noch in zwei weiteren Orten Tornados beobachtet.

Auf Basis der vorliegenden regionalen Klimaprojektionen ist nicht abzuleiten, dass Tornados zukünftig häufiger auftreten werden. Aufgrund des zukünftig höheren Energiepotenzials ist jedoch eine Zunahme in der Intensität von Tornados denkbar.

Sturmfluten und Hochwasser

Die Ursachen für Hochwasser sind vielfältig. Sie treten in Form von Sturmfluten, Flusshochwasser und Sturzfluten auf. Letztendlich kann es aber bei allen drei Arten durch einen erhöhten Wasserstand zu Überschwemmungen und teils weiträumigen Schäden kommen.



▲ Über die Ufer getretene Elbe bei Boizenburg im Januar 2024 aufgrund langanhaltender und ergiebiger Niederschläge.

Flusshochwasser treten üblicherweise nach lang andauernden großflächigen Regenfällen oder aufgrund von Schneeschmelze auf. Wenn das Zuviel an Wasser im Einzugsgebiet eines Flusses nicht mehr vom Boden aufgenommen werden kann, gelangt es zusätzlich in den entsprechenden Fluss und tritt über das Ufer.

Sturzfluten sind plötzliche und heftige Überschwemmungen an kleineren Flüssen oder Bächen. Ursachen können u. a. Starkregen

oder Deichbrüche sein. Dadurch steigen die Pegel binnen kürzester Zeit und verwandeln Gewässer in reißende Flüsse. Bei steigendem Wasserspiegel wird das Land überflutet und die Kraft des Wassers kann sein volles Zerstörungspotenzial in den betroffenen Gebieten entfalten. Deiche dienen als Schutzanlage vor gezeiten- oder windbedingten Fluten oder Flusshochwasser.

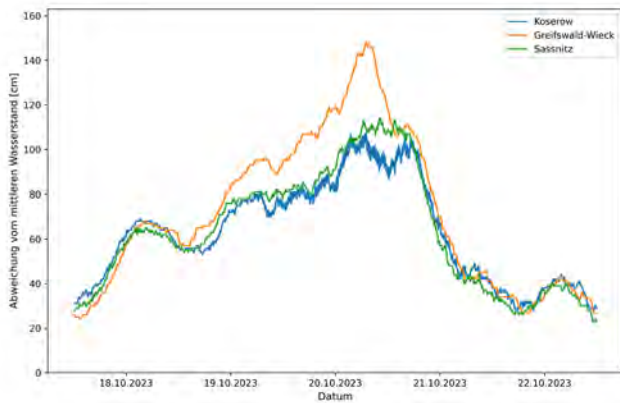


▲ Das Sperrwerk im Ryck bildet gemeinsam mit den flankierenden Deichen in Eldena, Wieck und Ladebow den Sturmflutschutz für die Hansestadt Greifswald.

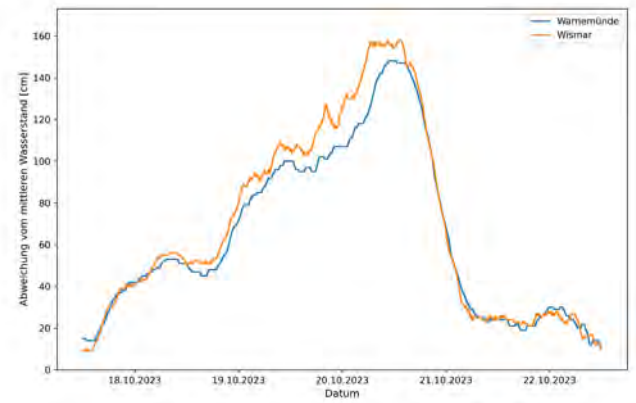
Infiltration, das Eindringen von Niederschlägen in den Boden, ist ein wichtiger Teil des Wasserkreislaufs der Erde. Böden und Vegetation nehmen dabei die fallenden Niederschläge auf. Sind die Böden allerdings gesättigt, gefroren oder versiegelt, kann das Wasser nicht oder nur eingeschränkt einsickern. Der Mensch stört diesen Vorgang durch sein Handeln wie Siedlungsbau, Versiegelung großer Flächen, Flussbegradigungen oder intensiver Landnutzung. Somit läuft das überschüssige Wasser in umliegende Gewässer und verstärkt so das Potential von Hochwasserschäden.

In unserem Bundesland sorgen weniger die Gezeiten als hauptsächlich der Wind bei **Sturmfluten**, welcher das Wasser ins Landesinnere drückt, für erhöhte Wasserstände an Küsten oder an Seeufern. Windstärke und Windrichtung bestimmen dabei die Schwere einer Sturmflut. Es werden leichte, schwere und sehr schwere Sturmfluten charakterisiert. Sturmfluten in Mecklenburg-Vorpommern können beispielsweise auch an Flüssen wie der Warnow, der Peene oder dem Ryck in Greifswald stromaufwärts drücken, so den normalen Abfluss zur Ostsee oder in die Bodden verhindern und dadurch auch weiter landeinwärts zu Überschwemmungen führen. Da somit Sturmfluten aufgrund außergewöhnlich hoher Wasserstände für zahlreiche Regionen in Mecklenburg-Vorpommern eine besondere Gefahr darstellen, kommt dem Küstenschutz im Zuge des Klimawandels zukünftig eine besondere Bedeutung zu richten.

Ein Beispiel für eine schwere Sturmflut aus der jüngeren Vergangenheit ist die Sturmflut vom 20.10.2023 an der norddeutschen Ostseeküste, von der auch Mecklenburg-Vorpommern betroffen war.



▲ Wasserstandsverlauf in Koserow, Greifswald-Wieck und Sassnitz während der Sturmflut im Oktober 2023. Abbildung Bärbel Weidig - BSH Rostock, Daten vom Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Ostsee.



▲ Wasserstandsverlauf in Warnemünde und Wismar während der Sturmflut im Oktober 2023. Abbildung Bärbel Weidig - BSH Rostock, Daten vom Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Ostsee.

Am 20.10.2023 befand sich ein Hochdruckgebiet über Nordschweden sowie ein Sturmtief über England. Aufgrund der starken Luftdruckgegensätze zwischen dem skandinavischen Hochdruckgebiet und dem Tiefdruckgebiet über England konnte sich über der Nord- und Ostsee ein langanhaltender und großräumiger Oststurm entwickeln, der in der westlichen Ostsee zu einer schweren Sturmflut führte.

Vorpommern gemessen. Damit fiel diese Sturmflut im Raum Wismar in die Kategorie einer schweren Sturmflut. Mit 158 cm über dem Normalmittelwasser erreichte sie glücklicherweise zwar bei weitem nicht das verheerende Ausmaß der Sturmflut von 1872, trotzdem zählt sie zu den stärkeren, der bereits aufgetretenen Sturmfluten in Mecklenburg-Vorpommern.

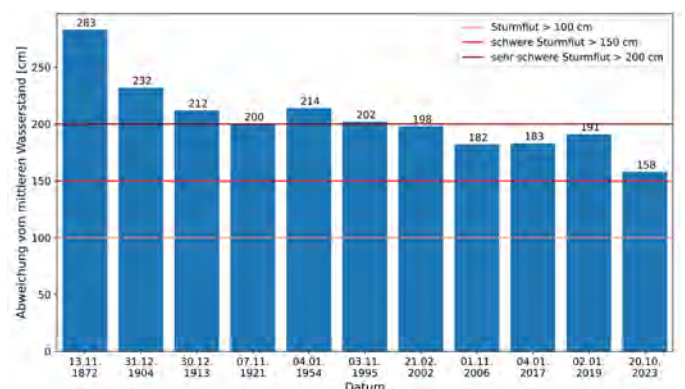


▲ Überflutungen im Regenbogencamp bei Prerow nach der Sturmflut an der Ostseeküste am 21.10.2023.

Mit maximalen Wasserständen von fast 160 cm über dem normalen Mittelwasser wurden über einem Zeitraum von mehreren Stunden in Wismar die höchsten Pegelstände während dieser Sturmflut in Mecklenburg-

Ort	Abweichung vom NMW (cm)	Pegelwerte (cm)
Wismar	158	658
Warnemünde	148	648
Rostock	150	650
Sassnitz	114	614
Greifswald	148	648
Koserow	108	608

▲ Maximale Abweichungen vom Normalmittelwasser (NMW) und Pegelstände an der mecklenburgisch-vorpommerschen Ostseeküste am 20.10.2023. Datenbasis: BSH Rostock.



▲ Die zehn höchsten Sturmfluten in Wismar seit 1872 und zusätzlich die Sturmflut aus 2023, Abbildung Bärbel Weidig - BSH Rostock.

Küstenschutz

Die Küste befindet sich durch Strömungen, Seegang und Brandung in einem stetigen Wandel. Besonders bedeutsam sind dabei in Mecklenburg-Vorpommern die natürlichen Sedimenttransportprozesse, die die heutige Küstenform gestaltet haben und auch für zukünftige Veränderungen verantwortlich sein werden. Durch Besiedelung des Küstenraumes sind allerdings konstante Verhältnisse erforderlich, sodass Küstenschutzmaßnahmen, die Überflutungen, durch Küstenerosion hervorgerufene Landverluste sowie Gefahren für das Hab und Gut und das Leben der Bewohner und Bewohnerinnen verhindern, notwendig sind.



▲ Heiligendamm.

Aufgaben des Küstenschutzes

Mecklenburg-Vorpommern besitzt eine etwa 377 km lange Außenküste, die auf ca. 180 km überflutungsgefährdet ist. Außerdem gehören von dem 1568 km langen Binnenküstenbereich etwa 1060 km zu den überflutungsgefährdeten Flachküsten. Ohne die derzeit vorhandenen Küstenschutzanlagen wäre bei einer sehr schweren Sturmflut eine Fläche von 1100 km² überflutet.

Grundlage für die Einschätzung des Gefährdungspotenzials durch Sturmfluten bildet die Hochwasserrisikomanagementrichtlinie der Europäischen Union, die

der Vermeidung der hochwasserbedingten Folgen auf die menschliche Gesundheit, die Umwelt, das Kulturerbe und wirtschaftliche Tätigkeiten zum Ziel hat. Im Rahmen der Umsetzung dieser Richtlinie wurde festgestellt, dass bei einer sehr schweren Sturmflut, die etwa alle 200 Jahre auftreten kann, ungefähr 30 000 Einwohner unseres Bundeslandes betroffen wären. Außerdem könnten dabei auf einer Küstenlänge von etwa 245 km die Steilküsten gefährdet sein. Die größten Auswirkungen dürften sich dabei in den Küstenstädten Rostock, Greifswald und Wismar ereignen. Außerdem können sich in den küstennahen Niederungsgebieten Überflutungen weit ausdehnen und zahlreiche Ortschaften er-



▲ Potenziell überflutunggefährdete (blau) und rückganggefährdete (rot) Gebiete in Mecklenburg-Vorpommern. Zahlenwerte: Küstenrückgang in 100 Jahren, (Quelle: StALUMM, Abt. Küste).



▲ Beispiel eines klassischen Küstenschutzsystems aus Buhnen, Strand, Düne, Küstenschutzwald und Deich. Küstenschutzsystem von Zingst, (Quelle: StALUMM, Abt. Küste).

reichen. Auch sind Infrastrukturen insbesondere Verbindungsstraßen auf der Halbinsel Fischland/Darß-Zingst oder auf der Insel Usedom überflutungsgefährdet.

Im Rahmen des traditionellen Küstenschutzes übernehmen Dünen und Deiche den Überflutungsschutz während Buhnen und ufernahe Wellenbrecher die Uferlinie stabilisieren. Vielfach vervollständigt zusätzlich ein Küstenwald zwischen Deich und Düne das Küstenschutzsystem.

Dabei bilden die Küstenschutzdünen mit einer Erstreckung von über 100 km das längste und somit zentrale Küstenschutzelement der Außenküste.



▲ Deich in Ahrenshoop.

Weiterhin zählen etwa 75 km uferstabilisierende Buhnensysteme und ca. 54 km Seedeiche zu den wesentlichen Küstenschutzelementen der Außenküste.

Die Umsetzung von Küstenschutzmaßnahmen hängt von zahlreichen Faktoren ab. Dazu zählen die natürlichen Gegebenheiten, wie der geologische Aufbau der Küste, die Höhenlage der küstennahen Gebiete, auftretende Sturmflutwasserstände und Seegangbelastungen. Aber auch bereits vorhandene Küstenschutzanlagen, die Vorgaben des EU-, Bundes- und Landesrechts, das bestehende Gefährdungspotenzial, kommunale Entwicklungspläne sowie finanzielle Möglichkeiten müssen berücksichtigt werden.

Bei allen Küstenschutzmaßnahmen muss die natürliche Küstendynamik beachtet und erhalten werden. Das betrifft besonders die Steilküsten, bei deren Rückgang Sediment in die umgebenden Flachküstenabschnitte transportiert wird.



▲ Düne auf Zingst.



▲ Buhne in Börgerende.



▲ Hochwasserschutzwand in Warnemünde.



▲ Wellenbrecher vor Wustrow.



▲ Aktueller Bestand an Küstenschutzanlagen in Mecklenburg-Vorpommern, gelb: 102 km Landesküstenschutzdünen, grün: 54 km Seedeiche, grau: 75 km Buhnsysteme, (Quelle: StALUMM, Abt. Küste).



▲ Teilweiser Abbruch der Steilküste westlich von Warnemünde.

Im Zusammenhang mit Sturmfluten können innerhalb weniger Stunden Küstenveränderungen hervorgerufen werden, für die die natürlicher Küstendynamik normalerweise mehrere Jahre benötigen würde. Während einer Sturmflut wird der Sand der Strände weg- und der Fuß des Kliffs unterspült. Daraus resultiert eine zunehmende Instabilität des Kliffs, in deren Folge es zu Abbrüchen kommen kann. In der Vergangenheit wurde während schwerer Sturmfluten so beispielsweise Küsterrückgänge von über 20 m nachgewiesen, während normalerweise an der Außenküste die mittlere Rückgangsrates nur etwa 0,35 m pro Jahr beträgt. Auch wenn diese starken Küstenabbrüche zu deutlichen Küstenveränderungen führen, ist zu berücksichtigen, dass Steilküstenabbrüche die wichtigsten natürlichen Sedimentlieferanten für die sandigen rückgangsgefährdeten Flachküsten darstellen. Deshalb sind Steilufersicherungen nur in Ausnahmefällen, beispielsweise im Bereich besiedelter Flächen, vorgesehen.

Küstenschutz im Klimawandel

Grundlage für die Planung der Bauwerke des Küstenschutzes bilden die hydrodynamischen Voraussetzungen. Das angestrebte Schutzniveau entspricht dabei einer Sturmflut mit einem statistischen Wiederkehrinter-

Sturmflut	Steiluferschnitt	Kliffhöhe	Küstenrückgang
12./13.11.1872	Schwarzer Busch (Poel)	4 - 6 m	28 - 32 m
	Kaltenhof-Gollwitz (Poel)	2 - 3 m	24 - 26 m
31.12.1904	Markgrafenheide	1 - 2 m	>10 m
	Rostocker Heide, Wiedort	4 m	20 - 25 m
	Göhren (Südstrand)	10 - 20 m	15 m
	Dornbusch (Hiddensee)		5 - 15 m
	Kölpinsee-Ückeritz	15 - 25 m	8 m
	Streckelsberg (Usedom)	15 - 25 m	8 - 10 m
	Zempin (Usedom)	6 - 8 m	15 m
30.12.1913	Rostocker Heide, Wiedort	4 m	30 m
	Althagen (Fischland)	8 - 10 m	9 - 12 m
	Streckelsberg (Usedom)	15 - 20 m	10 - 12 m
	Ückeritz (Usedom)	10 - 30 m	10 - 12 m
04.01.1954	Rostocker Heide, westlich des Stromgrabens	3 - 4 m	15 - 20 m

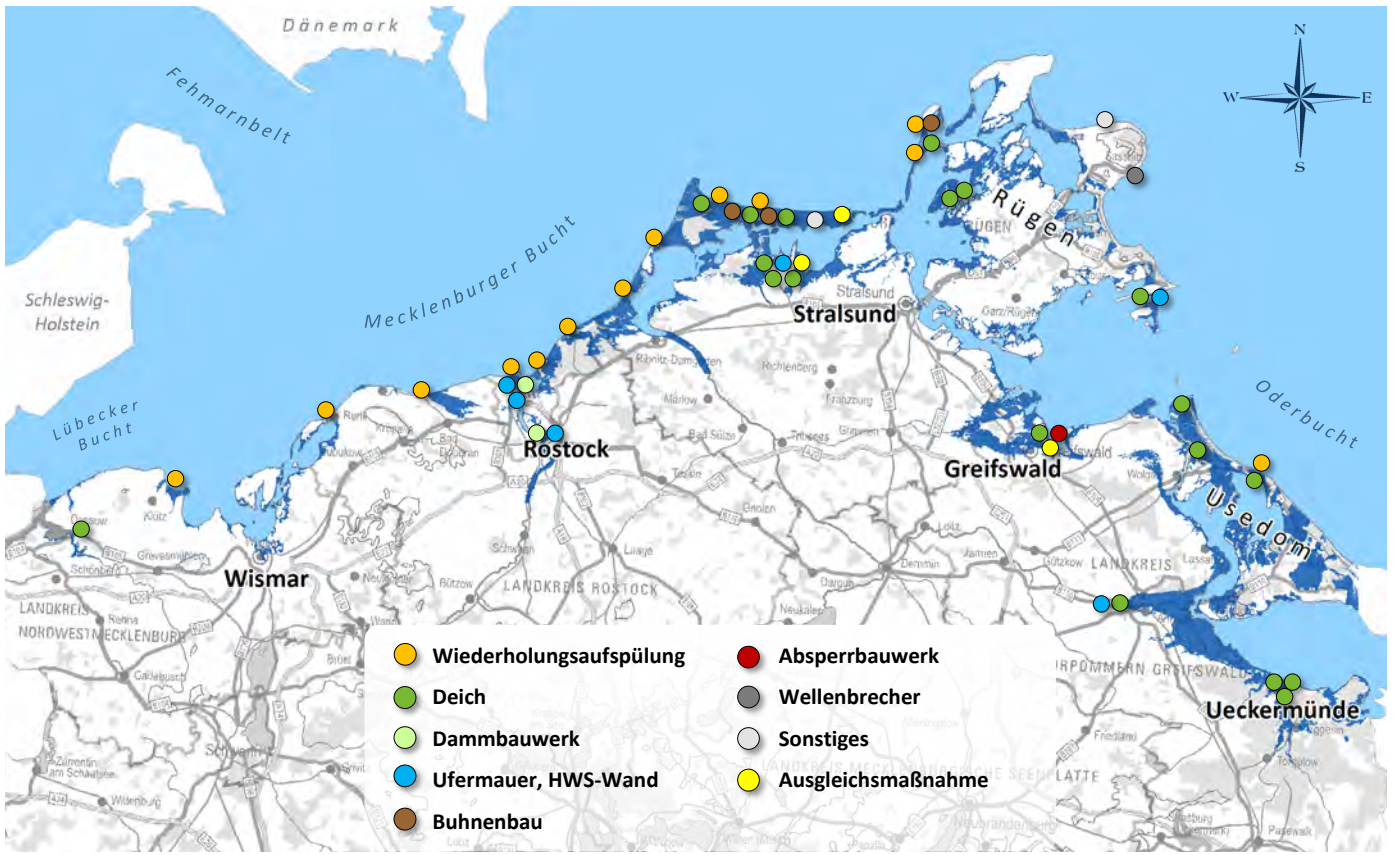
▲ Steiluferrückgänge während historischer Sturmfluten. Daten aus der Broschüre *Küstenschutz in Mecklenburg-Vorpommern. 150 Jahre Sturmflut 1872.*

vall von ca. 200 Jahren. Zusätzlich zu diesem statistisch ermittelten Wasserstandswert ist die zukünftige Entwicklung der Höhe des Meeresspiegels zu berücksichtigen. Im aktuellen 6. Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) von

2021 werden für verschiedene Szenarien durchgehend Anstiege des Meeresspiegels bis 2100 und darüber hinaus prognostiziert. In Deutschland haben sich Bund und Länder darauf verständigt als Basis für künftige Planungen im Küstenschutz das Hochemissionsszenario zu nutzen. Für dieses Szenario wird ein Anstieg des Meeresspiegels zwischen 63 und 101 cm prognostiziert. Der Bund und die fünf Küstenländer haben sich darauf verständigt, für ihre Küstenschutzstrategien und Planung der Küstenschutzbauwerke einen einheitlichen Meeresspiegelanstieg von 1 m auf 100 Jahren zu verwenden. Dadurch können neu errichtete Küstenschutzanlagen ihre Aufgabe bis zum Ende ihrer bauwerksspezifischen Lebensdauer erfüllen. Darüber hinaus sollen vorsorgend auch Flächen, die zukünftig für



▲ Küstenschutzanlagen und Sportboothafen vor Glowe auf Rügen.



▲ Geplante Küstenschutzmaßnahmen für den Zeitraum 2022 bis 2030, (Quelle: StALUMM, Abt. Küste).

Aufgaben des Küstenschutzes Verwendung finden, ausgewiesen werden. Um auch in Zukunft Veränderungen der komplexen natürlichen Prozesse, die unseren Küstenverlauf beeinflussen, abzuschätzen und mit entsprechenden Schutzmaßnahmen reagieren zu können, sind weitere umfangreiche wissenschaftliche Forschungen unerlässlich.

Literatur

Ministerium für Klimaschutz, Landwirtschaft, ländliche Räume und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg), 2022: Küstenschutz in Mecklenburg-Vorpommern, 150 Jahre Sturmflut 1872



▲ Kühlungsborn-Ost am 06.01.2012.

FAKTEN

Grundsätze des Küstenschutzes

- Küstenschutz der Landesverwaltung beschränkt sich auf zusammenhängend bebaute Gebiete
- Außerhalb dieser Gebiete soll die Küsten- und Sedimentdynamik möglichst nicht beeinflusst werden
- Eine durchgehende Schutzlinie an der Außenküste zum Schutz gegen Durchbrüche in die inneren Küstengewässer soll erhalten werden
- In der Perspektive sollen die Binnenküsten-Deichsysteme neu organisiert und bauliche Anpassungsstrategien für den städtischen Hochwasserschutz entwickelt werden



Aktuelle Forschungsthemen zum System Klima

Klimaveränderungen basieren auf komplexen Zusammenhängen. Sie erstrecken sich über lange Zeiträume und können regional unterschiedlich ausgeprägt sein. Der Klimawandel ist daher mit der üblichen Wahrnehmung für einen Menschen schwer erfassbar. Die nationale und internationale Forschungsgemeinschaft sieht die Erforschung des Klimasystems und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Gesellschaft als ein zentrales Thema.

Mit der Erkenntnis, dass die vermehrte Verbrennung fossiler Kohlenstoffvorräte die Zusammensetzung der Erdatmosphäre verändern wird, wurde bereits vor mehr als 50 Jahren der Grundstein der modernen Klimaforschung gelegt. In den letzten Jahren konnte der Zusammenhang zwischen der beobachteten Erwärmung der Erdatmosphäre und den Aktivitäten der Menschheit klar belegt werden. Dies verstärkt die Notwendigkeit zur weiteren Erforschung des Klimasystems, um die Auswirkungen der menschlichen Aktivitäten auf dieses bewerten zu können. Dazu hat die Forschungsgemeinschaft für die nächsten Jahre drei wesentliche Ziele formuliert:

- Eine Vertiefung des Systemverständnisses der komplexen Zusammenhänge im Klimasystem
- Die Bewertung und der Umgang mit den durch den Klimawandel verursachten Risiken und Chancen
- Die Rolle der Klimaforschung in der Gesellschaft

Vertiefung des Systemverständnisses zum Klimageschehen

Die Funktionsweise des Klimasystems der Erde ist in seinen groben Zusammenhängen prinzipiell verstanden. Seine Komplexität erfordert jedoch zukünftig noch enorme Forschungsanstrengungen, um bei noch unvollständig verstandenen Prozessen weiterhin Fortschritte im Verständnis zu erzielen. Auch bezüglich der Wechselwirkungen zwischen den Klimasystemkomponenten bestehen noch Verständnislücken, die durch kontinuierliche Forschung vermindert werden.

In Zusammenarbeit vieler Klimawissenschaftlerinnen und -wissenschaftler auf nationaler wie auf internationaler Ebene wurden in den letzten Jahren viele Themengebiete systematisch analysiert und vorhandene Lücken identifiziert. Auf Basis dieser Analysen wurden

sechs Themengebiete herausgearbeitet, die von besonderem Interesse sind:

- Bestimmung und Reduzierung von Unsicherheiten in Klimavorhersagen und Klimaprojektionen
- Verlängerung der Wettervorhersage und Verbindung zur subsaisonalen Klimavorhersage
- Abrupte Klimaänderungen
- Wasserkreislauf in einer wärmeren Welt
- Luftqualität und Klimawandel
- Treibhausgas-Kreisläufe im Klimasystem

Zur Unterstützung dieser Herausforderungen sind neben Forschungsinitiativen dauerhafte Aktivitäten notwendig. So können in Forschungsinitiativen beispielsweise die Basis für langfristige Strategien im Bereich des Ausbaus regionaler und globaler Beobachtungssysteme gelegt und vielerlei Hypothesen durch Modelle überprüft werden. Daneben muss die langfristige und systematische Erfassung der relevanten Prozesse sichergestellt werden. Hierfür ist eine zuverlässige Überwachung der anthropogenen Veränderungen und der natürlichen Variabilität notwendig.

Bewertung und Umgang mit Risiken und Chancen

Der zeitliche und räumliche Versatz zwischen den Ursachen und den Folgen des Klimawandels führt zu einer besonderen Herausforderung aller Akteurinnen und Akteure. Die Frage nach Nutzen und Schaden durch den Klimawandel und die daraus zu entwickelnden Handlungsoptionen müssen als Gemeinschaftsaufgabe vieler Wissenschaftsbereiche interdisziplinär auf regionaler und globaler Ebene bearbeitet werden.

Die regionalen Auswirkungen des Klimawandels treffen weltweit auf unterschiedlich geprägte wirtschaftliche, soziale und kulturelle Gegebenheiten. Auch der

Umgang mit Risiken unterscheidet sich durch die verschiedenen kulturellen Hintergründe teilweise deutlich. Die Aufgabe der Forschung besteht in der Analyse möglicher Herangehensweisen und der Entwicklung von regional spezifischen Handlungsoptionen.

Erforschung des Zusammenspiels Klimawandel und Gesellschaft

Eine wichtige Frage der Zukunft ist die zukünftige Position der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie der Forschungsinstitutionen in der Gesellschaft. Dabei steht die Frage nach deren Aufgabe und den damit verbundenen Grenzen im Vordergrund. Welche Aufgaben hat beispielsweise die Klimaforschung? Wo hört die Verantwortlichkeit auf? Welchen Einfluss sollte die Wissenschaft auf die Politik nehmen? Ist die IPCC-Philosophie („... politikrelevant, aber nicht Politik vorschreibend ...“) übertragbar auf andere Bereiche?

Eine große und dauerhafte Herausforderung einer jeden Wissenschaftsrichtung ist die regelmäßige Analyse der Wissensgenerierung. Auf welchen Annahmen basieren die aktuellen Erkenntnisse? Wo besteht Konsens und wo Dissens? Sind die vorhandenen institutionellen Strukturen der Klimaforschung sinnvoll und die einzelnen Themenfelder ausreichend miteinander vernetzt?

Klimavorhersagen für die nächsten Monate bis Jahre

Wie wird die Witterung der nächsten Wochen, Monate und Jahre? Klimavorhersagen können schon heute die Grundlage für Entscheidungen liefern. In einigen Regionen in der Welt funktionieren die Klimavorhersagen heute bereits gut, in anderen Regionen ist der Forschungsbedarf jedoch noch höher.

Klimavorhersagen geben eine Prognose darüber ab, mit welcher Wahrscheinlichkeit die kommenden Monate bis Jahre wärmer/kälter oder trockener/feuchter als im langzeitlichen Mittel werden. Dem zugrunde liegen

Klimavorhersagen für die kommenden Monate (saisonale Klimavorhersagen) und Jahre (dekadische Klimavorhersagen). Die Kombination mit Nachhersagen aus der Vergangenheit erlaubt eine umfassende statistische Bewertung der Prognosen und die Ableitung von Trendaussagen auf Basis einer Klimatologie. Damit unterscheidet sich die Klimavorhersage grundlegend von der Wettervorhersage, welche Aussagen über detailliertes Wettergeschehen der nächsten Stunden bis Tage trifft.

Bei einer Klimavorhersage über einen Zeitraum von mehreren Monaten bis zu zehn Jahren sind zudem alle Bestandteile des Klimasystems zu berücksichtigen: nicht nur die untere Schicht der Atmosphäre (die Troposphäre in neun bis etwa 16 km Höhe), sondern auch höhere Luftschichten, der Boden sowie der Ozean und das Meereis. Für die Klimavorhersage wird ein mit all diesen Komponenten gekoppeltes Klimamodell genutzt.

Für eine robuste statistische Abschätzung der Qualität und Verlässlichkeit der Klimavorhersagen werden eine Vielzahl an historischen und aktuellen Klimavorhersagen gerechnet, die zu jedem Prognosestart mit leicht variierenden Bedingungen gestartet werden. Die so entstehende Lösungsvielfalt, Ensemble genannt, dient zugleich dazu, die Unsicherheiten, welche durch die Nichtlinearität des Klimasystems bedingt sind, zu bewerten. Saisonale Klimavorhersagen werden unter anderem durch den DWD berechnet und monatlich analysiert. Mit den Ergebnissen sind beispielsweise El Niño-Vorhersagen möglich. Veröffentlicht werden sie auf der Webseite dwd.de/klimavorhersagen.



◀ Auf der Webseite www.dwd.de/klimavorhersagen werden die Klimavorhersagen des Deutschen Wetterdienstes veröffentlicht.

Begriffskompass Klima

Beaufort-Skala

Die Beaufort-Skala ist ein Hilfsmittel, mit deren Hilfe die Windstärke anhand der Auswirkungen des Windes abgeschätzt werden kann. Sie reicht von Stärke 0 (Windstille) bis Stärke 12 (Orkan). Der Wind wird standardmäßig 10 m über dem Boden gemessen.

Windstärke	Bezeichnung	Geschwindigkeit [m/s]	Geschwindigkeit [km/h]
0	Windstille	0 - 0,2	< 1
1	leiser Zug	0,3 - 1,5	1 - 5
2	leichte Brise	1,6 - 3,3	6 - 11
3	schwache Brise schwacher Wind	3,4 - 5,4	12 - 19
4	mäßige Brise mäßiger Wind	5,5 - 7,9	20 - 28
5	frische Brise frischer Wind	8,0 - 10,7	29 - 38
6	starker Wind	10,8 - 13,8	39 - 49
7	steifer Wind	13,9 - 17,1	50 - 61
8	stürmischer Wind	17,2 - 20,7	62 - 74
9	Sturm	20,8 - 24,4	75 - 88
10	schwerer Sturm	24,5 - 28,4	89 - 102
11	orkanartiger Sturm	28,5 - 32,6	103 - 117
12	Orkan	ab 32,7	ab 118

Bezugszeitraum für Klimaprojektionen

Angaben über eine Änderung der zukünftigen mittleren klimatischen Verhältnisse werden immer in Relation zu einem Bezugszeitraum getätigt. In dem hier vorliegenden Bericht werden Aussagen zu möglichen zukünftigen Änderungen auf den Zeitraum der Jahre 1971 bis 2000 bezogen. Die Aussagen beschreiben immer die mittleren Verhältnisse über eine Zeitspanne von 30 Jahren.

CMIP6

CMIP6 ist die Abkürzung für „Coupled Model Inter-comparison Project Phase 6“. Damit wird eine Generation globaler Klimamodelle bezeichnet, deren Ergebnisse im 6. Sachstandsbericht des Weltklimarates IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), dargestellt werden. Mit CMIP6-Modellen sind Aussagen für die globale Skala und für große Regionen (z. B. Mitteleuropa) möglich.

Frühindustrieller und vorindustrieller Zeitraum

Der Zeitraum 1881 bis 1910 wird als *frühindustrieller* Zeitraum definiert. Die Definition erfolgt in Anlehnung an die Begriffsbestimmung des vorindustriellen Zeit-

raumes durch die Pariser Klimakonferenz COP21. Bei der Entwicklung der RCP-Szenarien vom IPCC für den 5. Sachstandsbericht umfasst der *vorindustrielle* Zeitraum die Jahre 1861 bis 1880.

Gebietsmittelwerte

Die Wetterstationen können sehr unregelmäßig verteilt über Deutschland. Um Aussagen nicht nur für eine Station, sondern für einen größeren Bereich machen zu können, werden die Messwerte mit Hilfe mathematischer Methoden auf ein 1 km x 1 km-Raster interpoliert. Aus diesen Rasterdaten werden Gebietsmittelwerte für einzelne Städte, Bundesländer und für ganz Deutschland berechnet. Aus diesem Grund sind die im Klimareport angegebenen Kenntage, z. B. Sommertage, meist keine ganzzahligen Werte.

Gefühlte Temperatur

Die Gefühlte Temperatur beschreibt das Temperaturempfinden eines Menschen, das neben der Lufttemperatur auch von der Luftfeuchte, dem Wind und der Strahlung abhängt.

Gefühlte Temperatur (T) [°C]	Thermisches Empfinden
$T \leq -39$	sehr kalt
$-39 < T \leq -26$	kalt
$-26 < T \leq -13$	kühl
$-13 < T \leq 0$	leicht kühl
$0 < T < +20$	behaftlich
$+20 \leq T < +26$	leicht warm
$+26 \leq T < +32$	warm
$+32 \leq T < +38$	heiß
$T \geq +38$	sehr heiß

Kenntage

Temperaturkenntage

- **Heißer Tag:** die höchste Temperatur des Tages hat 30 °C erreicht oder überschritten.
- **Sommertag:** die höchste Temperatur des Tages hat 25 °C erreicht oder überschritten.
- **Tropennacht:** die Temperatur beträgt während der Nacht (Zeitraum: 18 - 06 UTC, koordinierte Weltzeit) dauerhaft 20 °C oder mehr.
- **Frosttag:** die tiefste Temperatur des Tages liegt unter 0 °C.
- **Eistag:** die höchste Temperatur des Tages liegt unter 0 °C.

Ein Kenntag ist ein Tag, an dem ein definierter Schwellenwert eines klimatischen Parameters erreicht beziehungsweise über- oder unterschritten wird (z. B. Sommertag als Tag mit Temperaturmaximum ≥ 25 °C) oder ein Tag, an dem ein definiertes meteorologisches Phänomen auftritt (z. B. Sturmtag als Tag, an dem mindestens Windstärke 8 gemessen wurde).

Klimaprojektion

Eine Klimaprojektion ist die Beschreibung eines möglichen und plausiblen künftigen Zustandes des Klimasystems nebst der zeitlichen Entwicklungslinie, die dorthin führt. Klimaprojektionen werden üblicherweise mit einem Klimamodell auf der Basis eines Szenarios für zukünftige Zeiträume von Jahrzehnten bis Jahrhunderten erstellt. In diesem Klimareport werden die Planungshorizonte 2031 - 2060 und 2071 - 2100 betrachtet und verglichen mit dem historischen Zeitraum 1971 - 2000.

Klimavorhersage

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

Planungshorizonte

In diesem Bericht wird zwischen einem kurzfristigen und einem langfristigen Planungshorizont unterschieden. Der kurzfristige Planungshorizont beschreibt das Zeitfenster der Jahre 2031 bis 2060, der langfristige das Zeitfenster der Jahre 2071 bis 2100. Auf diese Zeiträume bezogene Aussagen erfolgen immer in Relation zum Bezugszeitraum 1971 bis 2000.

Klima-Referenzperiode und Klimanormalperiode

Angaben über eine Änderung der beobachteten mittleren klimatischen Verhältnisse werden immer in Relation zu einer Referenzperiode getätigt. In diesem Kli-

mareport werden Aussagen über die Vergangenheit auf die Klima-Referenzperiode 1961 - 1990 bezogen. Dieser Zeitraum entspricht der Klima-Referenzperiode der World Meteorological Organization (WMO) für die langfristige Klimaüberwachung. In diesem Bericht werden zusätzlich noch weitere Zeiträume betrachtet: 1971 - 2000 (siehe „[Bezugszeitraum für Klimaprojektionen](#)“, 1981 - 2010, 1991 - 2020). Die Aussagen beschreiben immer die mittleren Verhältnisse über eine Zeitspanne von 30 Jahren. Der Zeitraum 1991 - 2020 ist die aktuelle Klimanormalperiode und wird als „Jüngere Vergangenheit“ bezeichnet.

Spannbreite

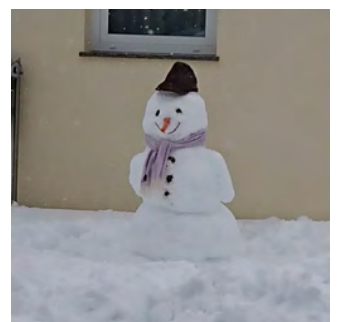
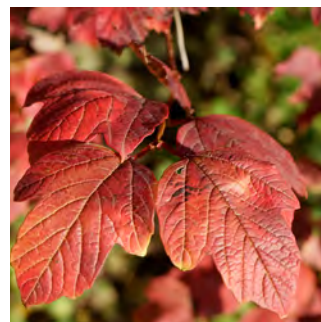
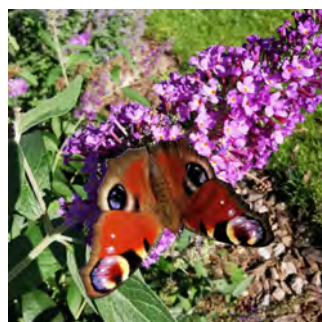
Für die Analyse der zukünftigen klimatischen Entwicklungen wird eine Gruppe von Klimaprojektionen (Ensembles) genutzt. Mit der Spannbreite bzw. Bandbreite wird der Bereich zwischen dem Modellergebnis mit der geringsten und größten Änderung beschrieben.

Starkregen

Bei Starkregen handelt es sich um hohe Niederschlagsmengen, die in kurzer Zeit fallen. Starkregen kann überall auftreten und zu schnell ansteigenden Wasserständen und Überschwemmungen führen. Häufig geht Starkregen mit Bodenerosion einher. Der DWD warnt vor Starkregen in drei Stufen, wenn voraussichtlich bestimmte Schwellenwerte überschritten werden. Die [Warnkriterien](#) sind auf der DWD-Website zu finden.

Szenarien

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



Präsenz in der Fläche

Unsere Beratungsstellen

Deutscher Wetterdienst Klima- und Umweltberatung

Deutschland überregional:

Klima der Zukunft sowie
Stadt- und Regionalklimatologie
Frankfurter Straße 135
63067 Offenbach
✉ klima.offenbach@dwd.de

Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Bremen, Ausland und Weltmeere:

Regionales Klimabüro Hamburg
Bernhard-Nocht-Straße 76
20359 Hamburg
✉ klima.hamburg@dwd.de

Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen:

Regionales Klimabüro Potsdam
Michendorfer Chaussee 23
14473 Potsdam
✉ klima.potsdam@dwd.de

Nordrhein-Westfalen, Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland:

Regionales Klimabüro Essen
Wallneyer Straße 10
45133 Essen
✉ klima.essen@dwd.de

Baden-Württemberg:

Zentrum für Medizin-Meteorologische Forschung
Sachgebiet Regionale Klima- und Umweltberatung
Stefan-Meier-Straße 4
79104 Freiburg
✉ klima.freiburg@dwd.de

Bayern:

Regionales Klimabüro München
Helene-Weber-Allee 21
80637 München
✉ klima.muenchen@dwd.de



Medizin-Meteorologie



Zentrum für Medizin-Meteorologische Forschung
Stefan-Meier-Straße 4
79104 Freiburg
✉ mm.freiburg@dwd.de

Deutscher Klimadienst (DKD)



DKD Geschäftsstelle
Frankfurter Straße 135
63067 Offenbach
✉ gs.dkd@dwd.de

Agrarmeteorologie



Fachleitung und Beratung
Frankfurter Straße 135
63067 Offenbach
✉ lw.offenbach@dwd.de

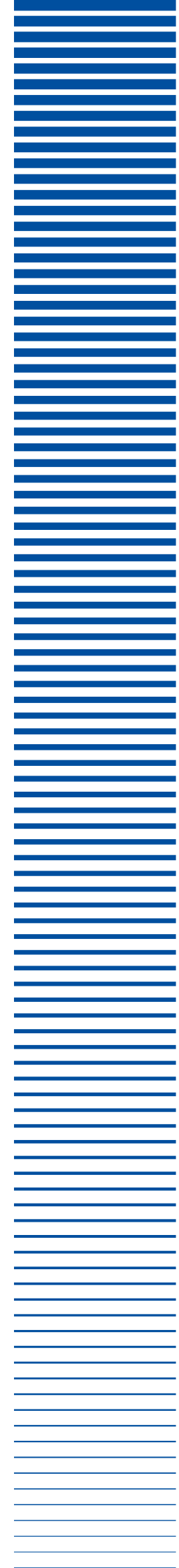
Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung
Bundesallee 33
38116 Braunschweig
✉ lw.braunschweig@dwd.de

Agrarmeteorologische
Forschung und Beratung
Alte Akademie Nr. 16
85354 Freising
✉ lw.weihenstephan@dwd.de

Hydrometeorologie



Hydrometeorologie
Frankfurter Straße 135
63067 Offenbach
✉ hydromet@dwd.de



Weblinks

Sachstandsberichte des IPCC

6. Sachstandsbericht

<https://www.de-ipcc.de/250.php>



Phänologie

Informationen zur Phänologie

www.dwd.de/phaenologie



Daten und Informationen zum Klimawandel

Auswertungen zur Klimaentwicklung in Deutschland

www.dwd.de/zeitreihen



Klimadaten Deutschland

www.dwd.de/klimadaten



Deutscher Klimaatlas

www.dwd.de/klimaatlas



Besondere Ereignisse

www.dwd.de/witterungsereignisse



Klimareports

Nationaler Klimareport

https://www.dwd.de/DE/leistungen/nationalerklimateport/download_report.html?nn=16102



Klimavorhersagen

Klimavorhersagen

www.dwd.de/klimavorhersagen



Weitere Klimareports

<https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimareports/klimareports.html>



Attribution

Informationen zur Attributionsforschung

www.dwd.de/attribution



Weiterführende Informationen

DAS Basisdienst

<https://www.das-basisdienst.de/DAS-Basisdienst/DE/home/>



Monitoringbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/monitoringbericht-2023>



Klimafakten

www.klimafakten.de



Impressum

Der Klimareport Mecklenburg-Vorpommern ist eine Veröffentlichung des Deutschen Wetterdienstes. Die Erstellung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Ministerium für Klimaschutz, Landwirtschaft, ländliche Räume und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern.

Autoren

Kirsten Heinrich

Co-Autoren: Falk Böttcher (DWD), PD Dr. Heike Culmsee (LUNG M-V), Jan Deepen (LM MV), Tim Kruschke (BSH), Jens Möller (BSH), Annett Püschel (DWD), Oliver Weiner (DWD), Wiebke Winzig (DWD)

Einzelne Kapitel beruhen auf dem Nationalen Klimareport des Deutschen Wetterdienstes (2022).

Beiträge weiterer Landes- und Bundesinstitutionen

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

Bernhard-Nocht-Straße 78

20359 Hamburg

<https://www.bsh.de>

Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie
Mecklenburg-Vorpommern

Abteilung Naturschutz und Naturparke

Goldberger Straße 12b

18273 Güstrow

<https://www.lung.mv-regierung.de>

Ministerium für Klimaschutz, Landwirtschaft, ländliche Räume und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern

Paulshöher Weg 1

19061 Schwerin

<https://www.regierung-mv.de/Landesregierung/lm/>

Redaktion

Kirsten Heinrich, Annett Püschel, Dr. Birger Tinz

Gestaltung und Satz

Kirsten Heinrich, Annett Püschel

Zitierhinweis

DWD (2024): Klimareport Mecklenburg-Vorpommern; 2. Auflage, Deutscher Wetterdienst, Deutschland, 88 Seiten.

ISBN 978-3-88148-556-2 (Print)

ISBN 978-3-88148-557-9 (Online)

Online-Ausgabe

Dieses Heft finden Sie als digitale Ausgabe auf unserer Webseite www.dwd.de/klimareports. Hier stehen auch Links zu weiterführenden Informationen und ähnlichen DWD-Produkten sowie Klimareports anderer Bundesländer und Regionen.

Die Online-Ausgabe unterliegt der Lizenz



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

Druck

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV),
Hausdruckerei

Bildnachweise

Titelseite:

Königsstuhl auf Rügen, Oliver Weiner,

Schweriner Schloss, Dr. Beatrix Romberg,

Hafeneinfahrt Warnemünde, Laura van der Lubbe

weitere Fotos:

alle DWD (Kirsten Heinrich, Rüdiger Manig), *außer:*

S. 7/12/13 oben/18/23/27 links und 3. v. 1./28/

31/33 oben 2., 3. und unten/ 34/37/42/44/49

/51/62/65 links/70/72 rechts/83 2. und 3. v. 1.

Laura van der Lubbe

S. 10 Karin Ahrens-Liepert

S. 13 Oliver Weiner

S. 22 Jens Heinrich

S. 43/74/76/78/79 StALUMM, Abt. Küste

S. 46/52/61 Ministerium für Klimaschutz, Landwirtschaft, ländliche Räume und Umwelt MV

S. 56 PD Dr. Heike Culmsee

S. 57 links Dr. Heike Ringel, **rechts** Udo Steinhäuser

S. 58 oben Udo Steinhäuser, **unten** Naturwacht des Naturparks Mecklenburgische Schweiz und Kummerower See

S. 59 oben James Dickey

S. 63/73 Ulrike Dembowski

S. 65 rechts Rudolf Kemnitz

S. 72 Martin Ondrusch

S. 85 links unten Piqs: **links oben** makuba,

rechts unten pixabay



Mecklenburg-Vorpommern
Ministerium für Klimaschutz,
Landwirtschaft, ländliche
Räume und Umwelt

**Ministerium für Klimaschutz, Landwirtschaft, ländliche Räume und Umwelt
Mecklenburg-Vorpommern**

Paulshöher Weg 1
19061 Schwerin



Deutscher Wetterdienst

Klima- und Umweltberatung
Regionales Klimabüro Hamburg
Bernhard-Nocht-Str. 76
20359 Hamburg
Tel.: +49 69 / 8062 4948
E-Mail: klima.hamburg@dwd.de

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



www.blauer-engel.de/uz14a

