



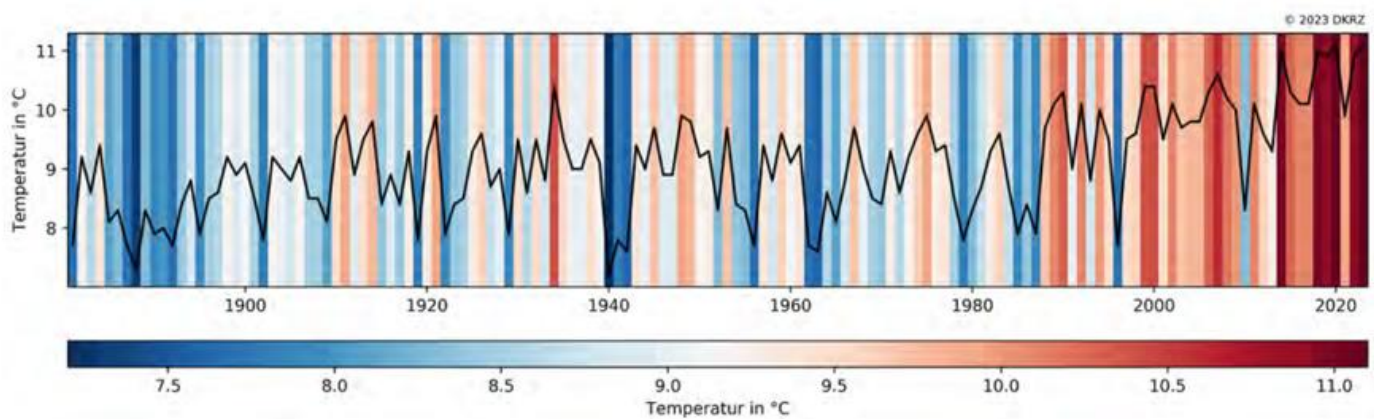
Klimareport Bremen und Bremerhaven

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



Warming Stripes

▼ Die farbigen Streifen und die schwarze Linie zeigen die jährliche Durchschnittstemperatur im Land Bremen 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
Klimazwillinge	11
Klimamodelle	12
Klimawandel und Klimaprojektionen.....	14
Das Klima heute und morgen in Bremen und Bremerhaven	18
Temperatur	20
Niederschlag	24
Sonnenschein und Globalstrahlung	28
Wind.....	32
Meerestemperaturen	34
Meeresspiegel	36
Phänologie	38
Hitzestress in der Tierhaltung	42
Extremereignisse	44
Stadtklima	60
Aktuelle Forschungsthemen zum System Klima	62
Begriffskompass Klima.....	64
Präsenz in der Fläche.....	66
Weblinks	68
Impressum	69



Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

nach der „Begleitstudie Wetter und Klima zur Klimaanpassungsstrategie im Land Bremen“ aus dem Jahr 2018 lesen Sie nun den ersten Klimareport für Bremen und Bremerhaven. Der Report ist das Ergebnis einer engen Zusammenarbeit zwischen dem Deutschen Wetterdienst und der Senatorin für Umwelt, Klima und Wissenschaft der Freien Hansestadt Bremen. Er bietet einen umfassenden Überblick über den aktuellen Wissensstand des Wetters und des Klimas in der Region.

Der Klimareport bildet somit eine aktuelle fundierte Grundlage für Sie, um sich über die Entwicklung des vergangenen, gegenwärtigen und zukünftigen Klimas in Bremen und Bremerhaven zu informieren.

Die Auswirkungen des Klimawandels zeigen sich bereits heute deutlich im Land Bremen. Der Temperaturanstieg sowie Veränderungen in den Niederschlagsmustern sind offensichtlich. Die Temperatur ist seit Beginn der Aufzeichnungen um 1,6 °C angestiegen und die fünf wärmsten Jahre befinden sich alle in den letzten zehn Jahren. Die Niederschlagsverteilung hat sich im Jahresverlauf verändert; das Frühjahr ist trockener und der Winter nasser geworden. Dies hat starke Auswirkungen, besonders auf ein städtisch geprägtes Bundesland wie Bremen. Hohe Temperaturen werden durch den Stadtinsel-Effekt in der Stadt noch höher und große Niederschlagsmengen können durch die Versiegelung schlecht abfließen. Dies zeigten zum Teil die Hochwasser über den Jahreswechsel 2023/2024, die vielfach zu drastischen Überschwemmungen geführt haben. Durch die Nähe zur Weser und der Nordsee sind zudem sowohl Bremen als auch Bremerhaven von Sturmfluten und dem Anstieg des Meeresspiegels betroffen. Doch auch im kleinsten deutschen Bundesland gibt es regionale Unterschiede. So ist es in Bremerhaven durch den Einfluss des Meeres etwas windiger und das Klima etwas gemäßigter als in Bremen.

Der 6. Sachstandsbericht des UN-Weltklimarats (IPCC), veröffentlicht 2021 – 2023, lässt bis Ende dieses Jahrhunderts eine andauernde deutliche Klimaerwärmung erwarten, die auch das kleine Bundesland Bremen vor große Herausforderungen stellen wird. In diesem Report wird die Vielfältigkeit der schon zu beobachtenden und noch anstehenden Veränderungen dargestellt. Die Praxisbeispiele aus Bremen und Bremerhaven zeigen, wie Anpassung an den Klimawandel möglich ist. Dieser Report soll dazu inspirieren, weitere Schritte in Richtung regionaler Klimaanpassung und Klimaschutz zu unternehmen und ist eine wichtige Grundlage für Bremens Ziel, bis 2038 treibhausgasneutral zu werden.

Tobias Fuchs

Vorstand Klima und Umwelt des Deutschen Wetterdienstes



Liebe Bürgerinnen und Bürger aus Bremen und Bremerhaven,

das Klima im Land Bremen verändert sich. Wir alle spüren das immer deutlicher. Über das gesamte Jahr sehen wir stetig steigende Temperaturen, wir erleben mehr heiße Sommertage und weniger Frosttage. Auch die Niederschläge verändern sich. Die vergangenen Jahre waren (mit 2018 als Extrema) deutlich trockener als das Mittel von 1961 – 1990. Im Gegensatz dazu haben wir im vergangenen Jahr einen neuen Niederschlagsrekord (insg. 1076 l/m²) gesehen, mit knapp 50 % mehr Jahresniederschlag im Vergleich zum Mittel von 1961 – 1990. Uns allen sind die Starkregenereignisse aus dem Juni 2023 und die langanhaltenden Niederschläge zum Jahreswechsel 2023/24 mit lokalen Überschwemmungen und vollgelaufenen Kellern noch deutlich in Erinnerung. Hinzu kommt, dass Bremen und Bremerhaven durch ihre Küstennähe durch den klimabedingten Anstieg des Meeresspiegels gefährdet sind.

Das Klima verändert sich deutlich und immer schneller. Das Land Bremen passt sich entsprechend stetig an. Schon im Jahr 2018 wurde eine Klimaanpassungsstrategie für das Land Bremen und die Stadtgemeinden Bremen und Bremerhaven verabschiedet. Viele der darin enthaltenen Schlüsselmaßnahmen sind bereits umgesetzt oder auf einem guten Weg. Derzeit schreiben wir diese Strategie fort, erstmals werden wir dazu einen Hitzeaktionsplan entwickeln. Um diese Strategien und Pläne konkret und passgenau aufstellen zu können, brauchen wir die aktuellen Informationen aus dem Report, den Sie hier in Händen halten. Es ist wichtig, dass wir uns an die bereits jetzt unvermeidbaren Folgen des Klimawandels anpassen. Gleichzeitig wollen wir den Fortgang des Klimawandels abbremsen und aufhalten. Der Senat hat deswegen die ambitionierte Klimaschutzstrategie 2038 beschlossen. Diese beinhaltet eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 95 % bis zum Jahr 2038 gegenüber dem Niveau des Basisjahres 1990. Für all diese Aktivitäten sind lokale Informationen über unser Klima sehr wichtig.

Dieser Report ist also nicht nur eine Bestandsaufnahme unseres jetzigen Klimas und ein Ausblick auf kommende Veränderungen. Er unterstreicht und fordert uns auf, aktiv gegen die Klimakrise anzugehen. Die vorliegenden Erkenntnisse unterstreichen wie dringend es ist, gemeinsam innovative Lösungen zu finden und konsequent auf eine nachhaltige Zukunft hinzuarbeiten. Sowohl Klimaschutz als auch Klimaanpassung sind für das Land Bremen sehr wichtig, um die Lebensqualität als auch die wirtschaftliche Attraktivität in unseren Städten zu erhalten. Das Ziel ist klar: wir wollen in unserem Bundesland eine lebenswerte Zukunft gestalten für alle Bürgerinnen und Bürger. Ich wünsche Ihnen eine aufschlussreiche Lektüre.

Kathrin Moosdorf

Senatorin für Umwelt, Klima und Wissenschaft

Land Bremen

Immer in Veränderung: Wetter und Klima

Das Wetter mit all seinen Erscheinungen prägt unser Leben. Es beeinflusst sowohl unseren persönlichen Alltag als auch Wirtschaft und Gesellschaft. Unser Wetter und Klima verändern sich durch erhöhte Treibhausgasemissionen, die durch den Menschen verursacht werden. Auch unsere Eingriffe in die Natur, wie Landnutzungsänderungen, nehmen Einfluss auf unser zukünftiges Klima und bestimmen, wie sich dieses auf uns auswirkt. Die folgenden Seiten fassen die klimatischen Verhältnisse in der Vergangenheit und Gegenwart in Bremen und Bremerhaven zusammen und informieren über mögliche bevorstehende Entwicklungen.



▲ Bremer Schlachte in der Abenddämmerung.

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 Klimaklassifikation nach Wladimir Köppen zur warmgemäßigten Klimazone der mittleren Breiten.

Das Klima Mitteleuropas wird geprägt durch den Einfluss feuchter, gemäßigt temperierter atlantischer Luftmassen und trockener, im Sommer heißer, im Winter kalter kontinentaler Luft. Die großräumige Zirkulation bestimmt, welche Luftmasse dominiert. Dementsprechend können die Jahreszeiten in einzelnen Jahren sehr unterschiedlich ausfallen. Daraus resultiert die Variabilität des Klimas im Land Bremen. Den dominierenden Einfluss stellt die Nähe zum Meer dar. Die hohe Wärmekapazität des Wassers sorgt für relativ milde Winter und mäßig warme Sommer.

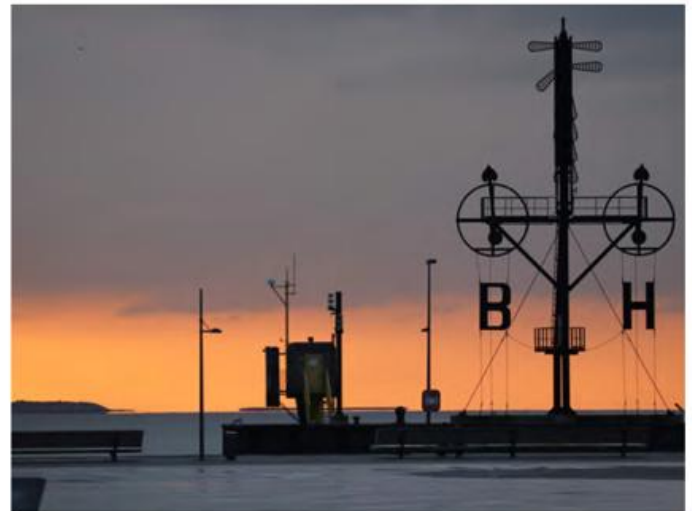
Der Deutsche Wetterdienst (DWD) beobachtet an vielen Orten das Wetter, teilweise seit mehr als 100 Jahren. Registriert werden Parameter wie Temperatur, Niederschlag, Sonnenschein, Wind und vieles mehr. Die Beobachtungswerte variieren von Tag zu Tag und von Jahr zu Jahr. Neben diesen Variationen können durch die Aufzeichnungen der Messsysteme des DWD auch langfristige Änderungen erkannt werden. Demnach ist es im Land Bremen seit 1881 um 1,6 °C wärmer geworden. Gleichzeitig nahm die Anzahl der Frost- und Eistage ab sowie die der Sommertage und Heißen Tage zu (siehe Kapitel „Temperatur“ und „Extremereignisse“). Die jährliche Niederschlagsmenge im Land Bremen hat seit 1881 im Durchschnitt um ca. 94 Liter pro Quadratmeter (l/m²) zugenommen. Dieses gilt insbesondere für den Winter. Die Anzahl der Tage pro Jahr mit mindestens 10 l/m² Niederschlag stieg seit 1951 in Bremerhaven um knapp vier Tage an. In Bremen hat sich die Anzahl nicht nennenswert verändert.

Erfasst wird des Weiteren die Höhe des Meeresspiegels. Auch hier ist eine Änderung zu beobachten. Der Meeresspiegel ist in den letzten 100 Jahren in der Deutschen Bucht um etwa 24 cm gestiegen.

Hat der Mensch einen Einfluss auf das Klima?

Mit dem Ausstoß von Treibhausgasen und der großflächigen Änderung der Landnutzung greift der Mensch in das natürliche Klimasystem der Erde ein. Ein Schwerpunktthema der weltweiten Forschung ist daher die Analyse der Folgen dieser Eingriffe. Die Abbildung unten zeigt die kontinuierliche Zunahme der CO_2 -Konzentration in der Luft seit 1958, gemessen am Mauna Loa Observatorium. In dem betrachteten Zeitraum ist die Konzentration um über 100 ppm (parts per million) gestiegen und liegt jetzt bei gut 420 ppm.

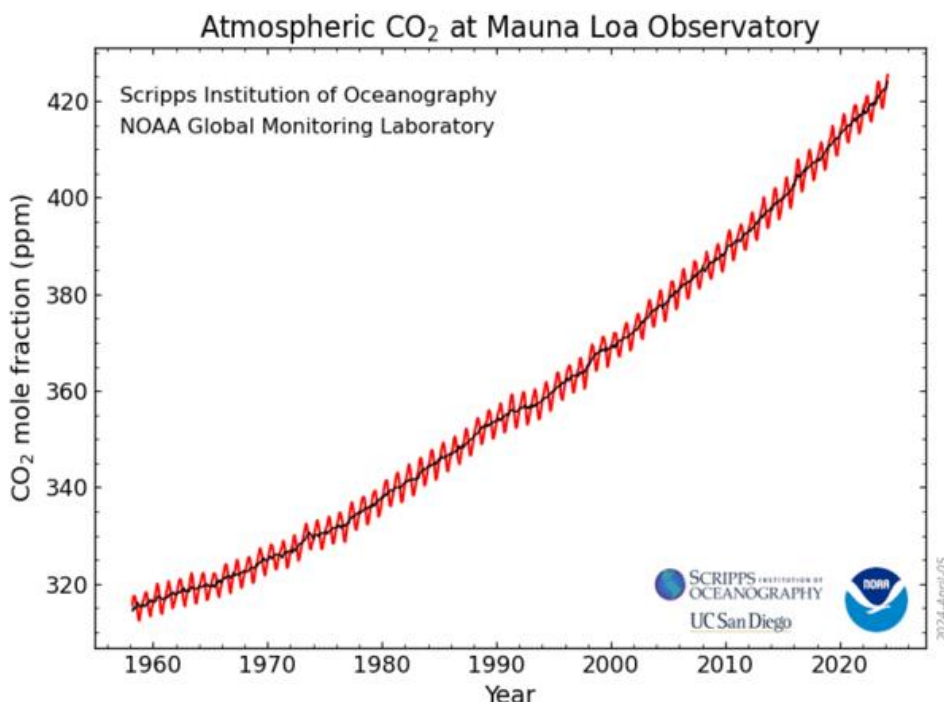
Mit Hilfe von Klimamodellen haben die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen die Auswirkungen auf das globale und regionale Klima auf der Basis von Szenarien untersucht. Für die Region Bremen und Bremerhaven ergibt sich je nach gewähltem Szenario eine Erhöhung der Jahresmitteltemperatur von 1,1 °C bis hin zu 3,5 °C bis 2100 gegenüber dem Bezugszeitraum 1971 – 2000 (siehe Seite 23). Eine Änderung von nur 1,1 °C ist laut den Klimamodellen nur bei deutlicher Reduktion der Emission von Treibhausgasen möglich. Bei weiterhin hohen Treibhausgasemissionen ist derzeit eine Änderung von 2,4 bis 4,9 °C zu erwarten (siehe Tabelle auf S. 23). Damit verbunden nimmt die Anzahl der Frost- und Eistage noch weiter ab, während die Zahl der Sommertage und Heißen Tage deutlich zunimmt (siehe „Kenntage“).



▲ Semaphore, ein Windstärken- und Windrichtungsanzeiger, auf der Kaje in Bremerhaven.

Beim Niederschlag wird sich die Jahressumme in Zukunft kaum verändern. Die Niederschlagsverteilung kann sich aber durchaus von der heutigen unterscheiden: Die Anzahl der Tage mit mindestens 10 l/m² wird sich nach den Ergebnissen der Klimaprojektionen erhöhen.

Ein Anstieg der Lufttemperatur geht auch 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 (siehe Kapitel „Meeresspiegel“).



◀ Mittlere Konzentration des atmosphärischen CO_2 , 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 feinsten Messtechnik aufgezeichnet. Dabei werden nicht nur Bodendaten registriert, sondern auch Messungen auf den Meeren sowie 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 ver-

legt, neue aufgestellt, alte abgebaut. Zudem verbessert sich die Messtechnik immerfort. 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 Kenn-tagen wie z. B. Sommertagen beginnen in der Regel 1951. Alle Daten werden vor Veröffentlichung geprüft und auf Plausibilität untersucht. Aus den gewonnen 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 Bremen. Hier werden unter anderem Luft- und bodennahe Temperaturen sowie Niederschlag, Globalstrahlung, Wind und der Bedeckungsgrad des Himmels gemessen.



▲ Das ehemalige Schulungsschiff „Deutschland“ in Bremerhaven.

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 -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 im Jahresverlauf. 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 (Ozeane, Flüsse, Seen), der Biosphäre (Fau-

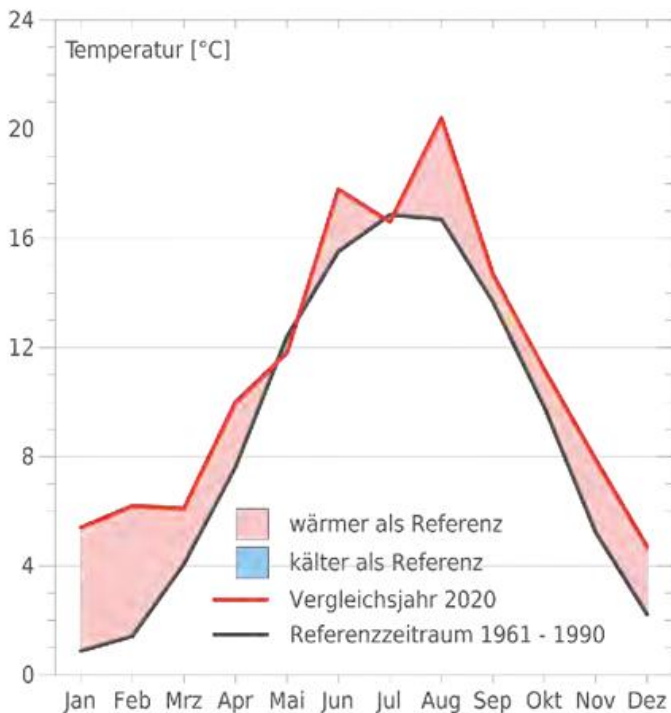
na, Flora), der Lithosphäre (feste, unbelebte Erde) und der Kryosphäre (Eis, Gletscher, Permafrostböden). Die Gesamtheit dieser Komponenten wird Klimasystem genannt.

Das Klima ist immer auf einen Ort bezogen. 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. So unterscheiden sich schon auf kleinstem Raum, wie in Bremen und Bremerhaven, die klimatologischen Verhältnisse. Um das Klima einer Region zu beschreiben, werden entsprechend den Vorgaben der WMO Zeiträume von mindestens 30 Jahren analysiert.

Die international gültige Klima-Referenzperiode der WMO umfasst die Jahre 1961 – 1990. Diese Periode wird verwendet, um langfristige Klimaentwicklungen zu bewerten, da diese von der aktuell beobachteten beschleunigten Erderwärmung nur leicht betroffen ist. Für Aufgaben des Klimamonitorings, wie z. B. der Darstellung monatlicher, saisonaler oder jährlicher Anomalien, die nicht auf die Überwachung des längerfristigen Klimawandels ausgerichtet sind, wird die aktuelle Klimanormalperiode 1991 – 2020 („Jüngere Vergangenheit“) verwendet; diese spiegelt das „erlebte“ Klima der Bevölkerung wider.

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 und trockene oder feuchte Sommer. Das Jahr 2020 war generell wärmer als im vieljährigen Mittel. Allerdings fielen Mai und Juli geringfügig kühler aus als im Durchschnitt.



▲ Monatsmitteltemperaturen im Land Bremen. 2020 war eines der wärmsten Jahre seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Bis auf Mai und Juli wiesen alle Monate zum Teil deutlich höhere Mitteltemperaturen gegenüber der Klima-Referenzperiode 1961 - 1990 auf. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.

Die beschriebene Variabilität zeigt sich nicht nur bei der Temperatur. Sie gilt für alle meteorologischen Elemente. Auch ein sich durch den Klimawandel erwärmendes Klima weist diese Variabilität auf: Es wird nicht jedes Jahr etwas wärmer sein als das vorherige. Einzelne Jahre können sowohl wärmer als auch kälter gegenüber dem mittleren Verlauf sein.

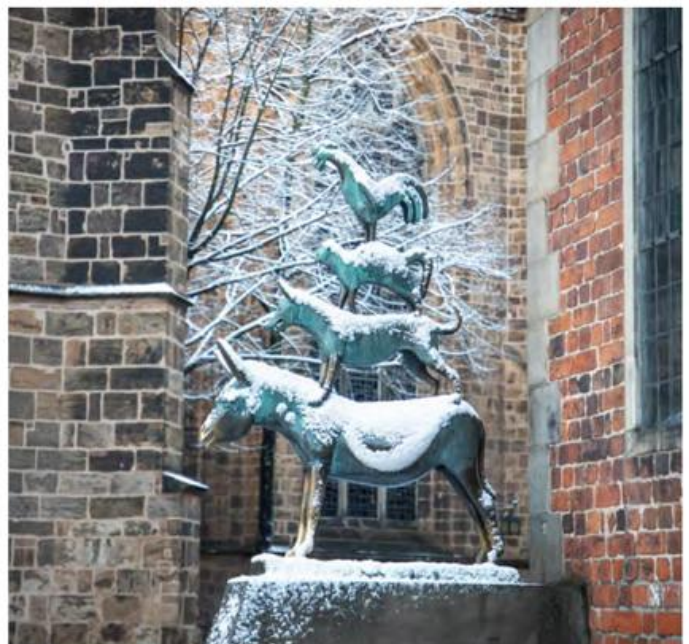
► Die Bremer Stadtmusikanten im Schnee. In Zukunft eine Seltenheit?

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. Der Mensch mit seinen Aktivitäten ist der Haupttreiber des Klimawandels.

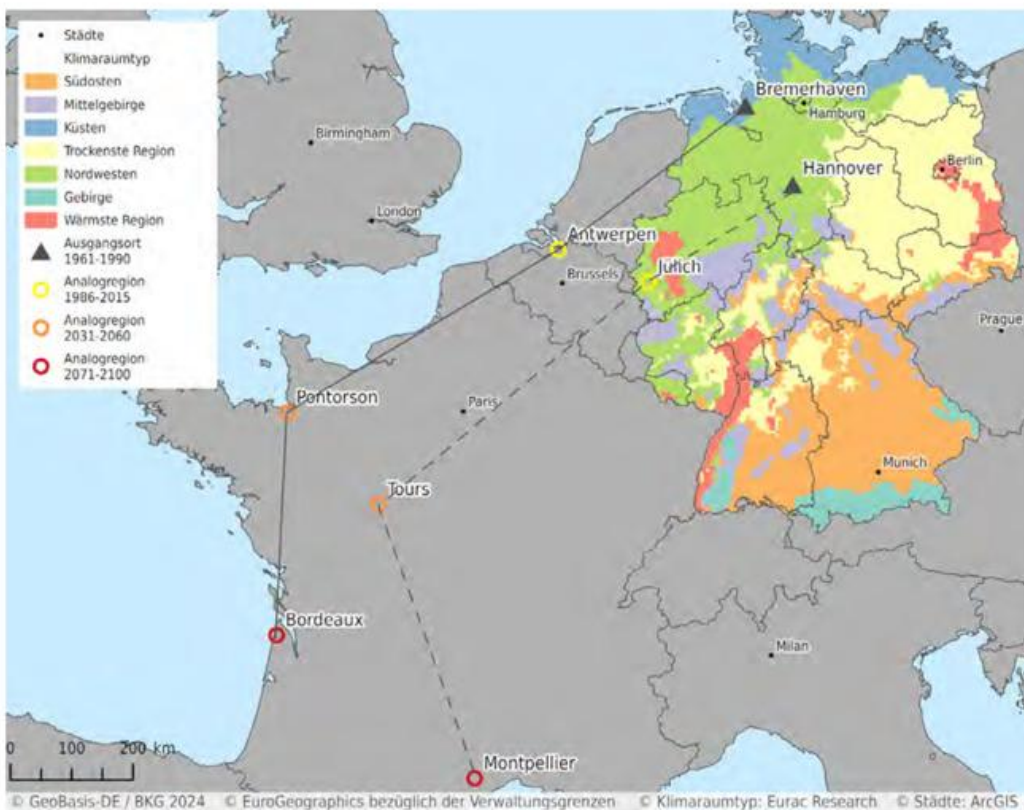
Extremereignisse

Extremereignisse sind sehr seltene Ereignisse, die stark von den mittleren Bedingungen abweichen. Ein Ereignis kann aus vielfältigen Gründen zu einem Extremereignis werden. Es kann ein auf einen Tag bezogenes Ereignis sein, wie eine Orkanböe, ein längerfristiges Ereignis, wie eine anhaltende Trockenheit, oder ein für den Zeitpunkt im Jahr sehr untypisches Ereignis. So ist beispielsweise eine Temperatur von 20 °C an einem Julitag nicht ungewöhnlich. 20 °C am Neujahrstag wären außergewöhnlich und somit ein Extremereignis (siehe Kapitel „Extremereignisse“). Extreme gehören zum Wetter und Klima. So wie sie zum Klima der Vergangenheit gehört haben, so werden sie auch zum Klima der Zukunft gehören. Die Analyse der Intensität und der Häufigkeit des Auftretens solcher extremer Wetterereignisse ist ein wesentlicher Schwerpunkt in der aktuellen Klimaforschung.



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 Bremerhaven im Vergleich zu Hannover: Vergangenheit, Gegenwart und mögliche Zukunft.

Eine Studie des Umweltbundesamtes (UBA) 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 der Klima-Referenzperiode 1961 - 1990 ausgewertet und mit denselben in anderen europäischen Regionen verglichen. Lokale Klimaveränderungen können durch räumliche Vergleiche veranschaulicht werden - sogenannte Klimazwillinge. Unter anderem wurde Bremerhaven als Teil der Studie untersucht. So hat diese Stadt „heute“ ein Klima wie vor etwa 50 Jahren (1961 - 1990) die belgische Stadt Antwerpen.

Bei einem Klimawandel ohne nachhaltige Klimaschutzmaßnahmen, wie im Hochemissionsszenario RCP8.5 (siehe Kapitel „Klimawandel und Klimaprojektionen“) angenommen, wird dieser Prozess weiter voranschreiten. 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 „Verschiebung“ der klimatischen Bedingungen deutscher Städte in südlichere Breiten, größtenteils nach Frankreich, wo ähnliche Niederschlagsmengen wie in Deutschland registriert werden.

Somit wäre der Klimazwilling von Bremerhaven für den Zeitraum 2031 - 2060 in der Normandie, nahe der Stadt Pontorson zu finden. Zum Ende des Jahrhunderts (2071 - 2100) ist eine weitere Verschiebung anzunehmen. Klimaprojektionen besagen, dass sich die zukünftigen Temperaturen in Bremerhaven denen im heutigen Bordeaux annähern.

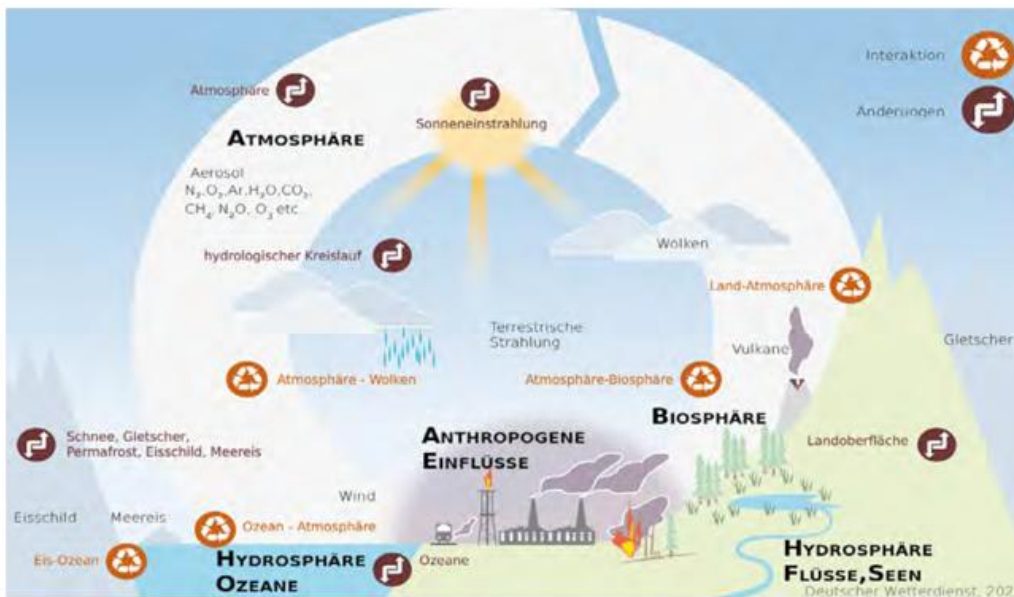
Diese Entwicklung wird existierende Ökosysteme und Infrastrukturen vor große Herausforderungen stellen. Die Auswirkungen auf Flora und Fauna und somit am Ende auf uns Menschen sind derzeit nicht abschätzbar.

Literatur

UBA, EURAC (2021) Klimatische Zwillingstädte in Europa.

Klimamodelle

Die beobachteten Klimaschwankungen und -trends der Vergangenheit einfach in die Zukunft zu übertragen ist im Hinblick auf den Klimawandel nicht sinnvoll. Zur Abschätzung der zukünftigen Klimaentwicklungen werden daher Klimamodelle genutzt. Sie dienen als computer-gestützte Werkzeuge zur vereinfachten Beschreibung von komplexen Vorgängen, die in der Natur ablaufen.



◀ In einem Klimamodell werden die wesentlichen Prozesse und Wechselwirkungen in der Natur mit Näherungsformeln beschrieben. Einige der Wechselwirkungen sind hier schematisch dargestellt.

Die Welt als Gitter

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

Für die Modellierung werden die Atmosphäre und die Ozeane der Erde mit einem dreidimensionalen Gitternetz überzogen. Die Auflösung (Gitterpunkt-Abstand) globaler Klimamodelle ist sehr grob, damit sie innerhalb einer akzeptablen Rechenzeit über viele Jahre gerechnet werden können. Obwohl diese Modelle die grundlegende großräumige Variabilität des Klimas beschreiben, reicht die Auflösung nicht aus, um Unterschiede in den Ausprägungen des Klimawandels einer

bestimmten Region der Erde (z. B. Deutschland) detailliert darzustellen. Hierfür werden regionale Klimamodelle eingesetzt, deren Gitterpunkte ein erheblich engmaschigeres Netz bilden als diejenigen der globalen Klimamodelle. Die regionalen Modelle werden an den seitlichen Rändern von den globalen Modellen gesteuert.

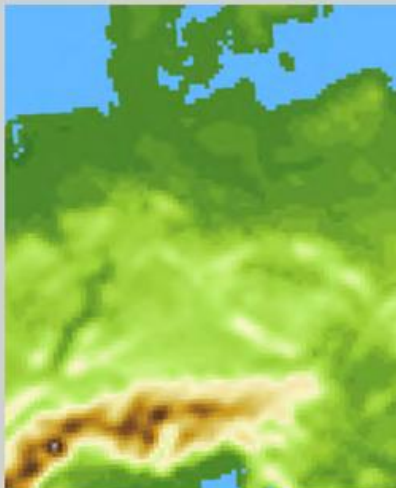
Für Deutschland liegen aktuell Simulationen mit einer räumlichen Gitterweite von 12,5 km und 3 km vor. Das bedeutet zum Beispiel, dass die simulierte Temperatur nur alle 12,5 km bzw. 3 km einen anderen Wert annehmen kann.

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

▼ 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 (Quelle: DWD).



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



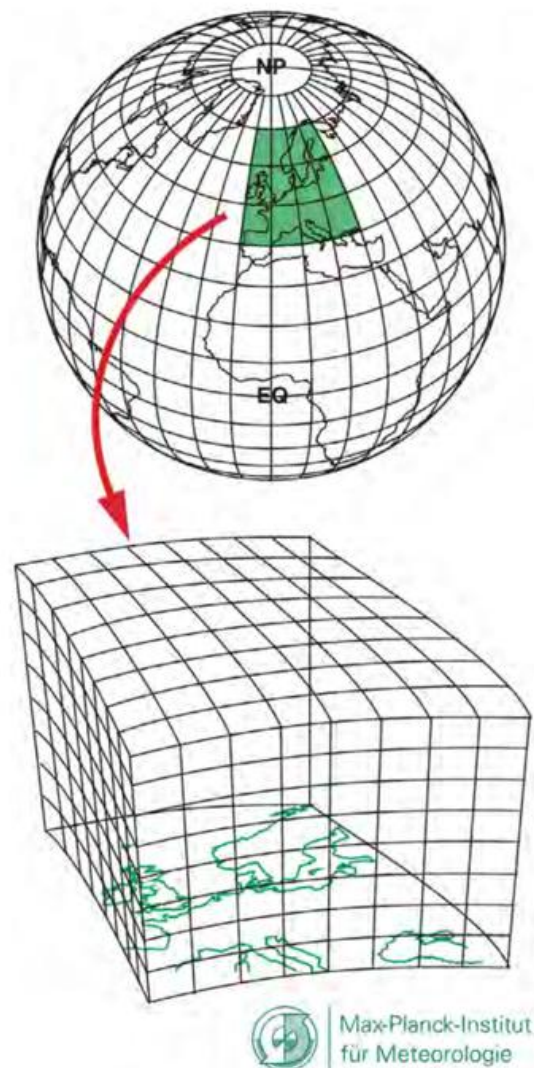
▲ Regionales Klimamodell (grob) $0,44^\circ$ (ca. 50 km)



▲ 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).

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 gegenwärtige 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.



▲ Im Klimahaus Bremerhaven lassen sich verschiedene Klimazonen live erleben.

Klimafaktor Mensch

Der Mensch wirkt auf vielfältige Weise auf das Klima ein. Wesentlich sind zwei Bereiche: Durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern 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

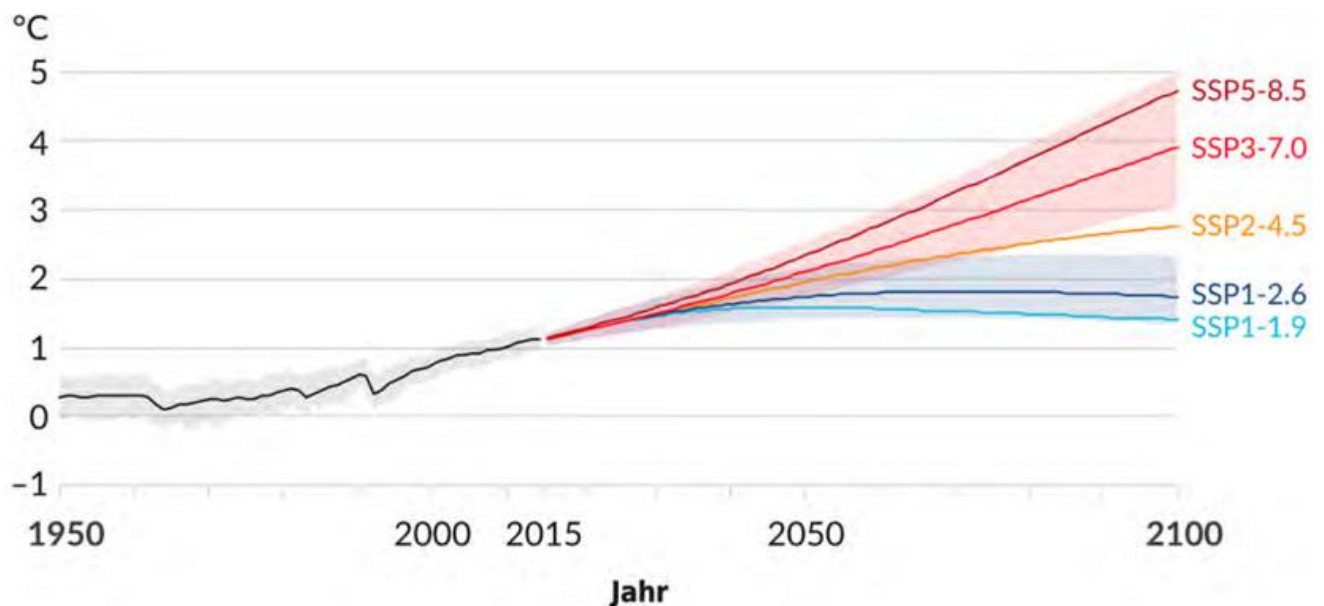
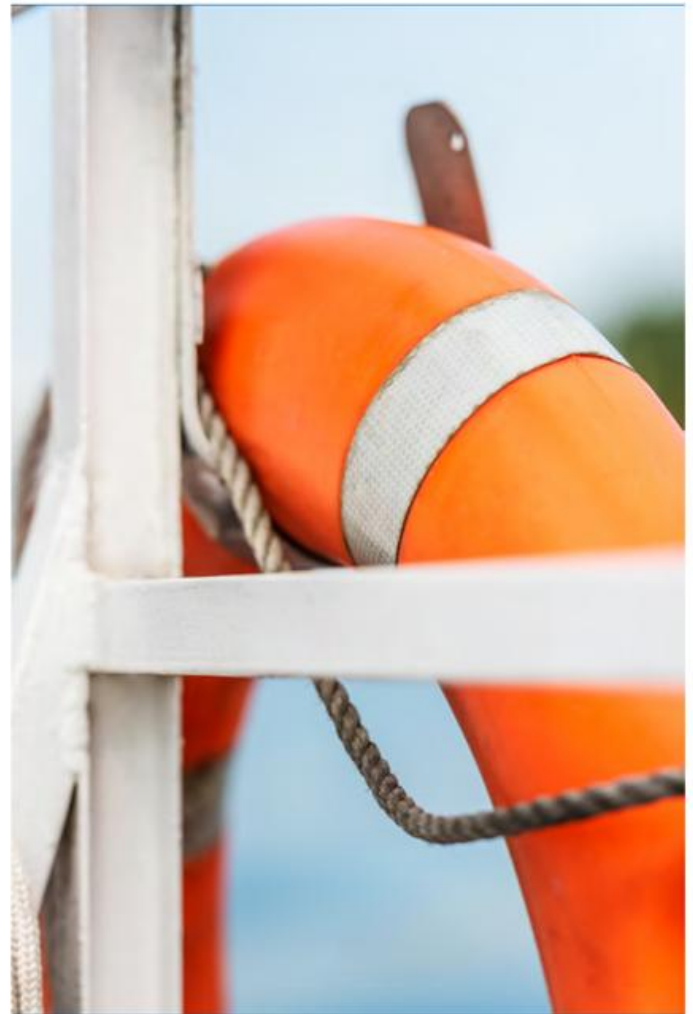
den wahrscheinlichen Verlauf der Einflussnahme. Diese Annahmen werden in der Wissenschaft Szenarien genannt. In den letzten Jahren wurde eine Vielzahl denkbarer Szenarien entwickelt, die einen mehr oder minder starken Einfluss des Menschen auf das Klima beschreiben.

In Vorbereitung auf den 5. Sachstandsbericht des 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 Lebensstiltrends. 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 kon-



▲ 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).

zipiert, dass sie sich gegenseitig ergänzen. Die RCPs legen Pfade für die Treibhausgaskonzentrationen fest und damit auch das Ausmaß der Erwärmung, die bis zum Ende des Jahrhunderts eintreten könnte. Die SSPs hingegen geben die Bühne vor, auf der Emissionsreduzierungen erreicht oder 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.

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.



▲ Das Feuerschiff erfasst wertvolle Daten, die unter anderem zur Berechnung des Klimatrends genutzt werden.

Wie entwickelt sich unsere Emissions-Zukunft?

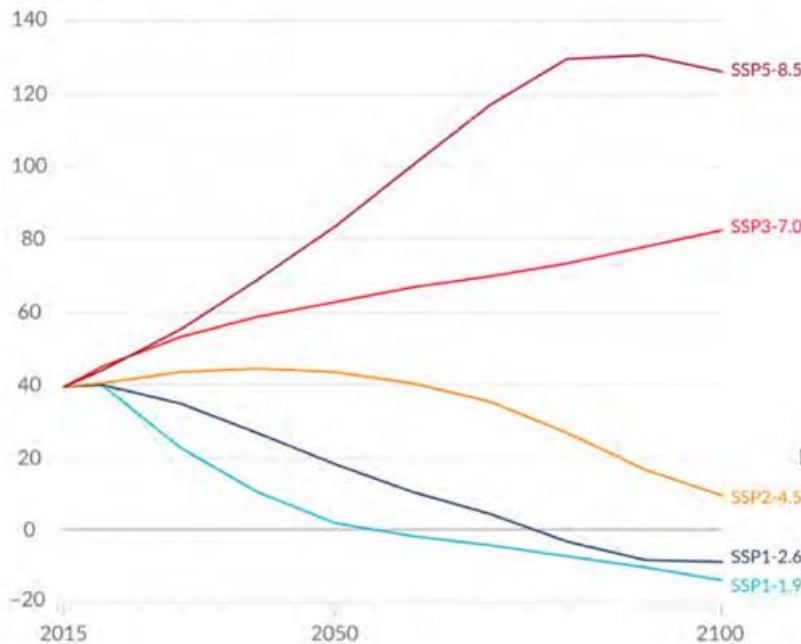
In diesem Klimareport werden Ergebnisse von Simulationsrechnungen für das Land Bremen auf Basis eines Klimaschutzszenarios (RCP2.6) und eines Hochemissionszenarios (RCP8.5) gezeigt.

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

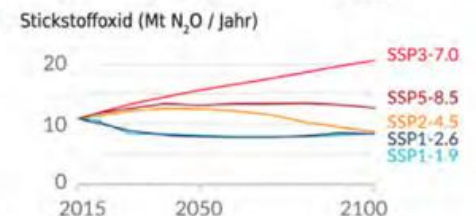
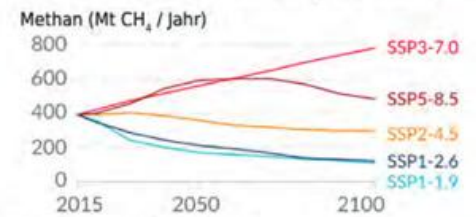
▼ Wie gelassen können wir der Zukunft entgegenblicken? Das fragt sich möglicherweise auch der Knollennasenmann auf dem Lorientplatz.



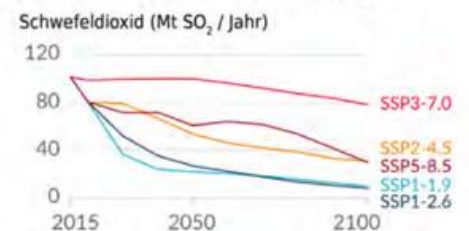
Kohlendioxid (Gt CO₂ / Jahr)



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).

Jahr 2050 mit 3,0 W/m² erreicht. Danach sinkt er kontinuierlich auf 2,6 W/m² im Jahr 2100 (siehe Abbildung oben). 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).

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.

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.

Das Klima heute und morgen in Bremen und Bremerhaven

Im geografischen Gebiet der Bundesrepublik gibt es unterschiedliche Klimaverhältnisse. Diese werden einerseits durch den Übergang vom maritimen zum kontinentalen Einfluss und andererseits durch die naturräumlichen Strukturen bestimmt, die im Wesentlichen durch das Relief geprägt sind. Für Deutschland wurden insgesamt zwölf klimatisch unterschiedliche Modellregionen definiert. Für jede Modellregion wurden die Klimaparameter festgelegt und Klimaprojektionen durchgeführt. Nähere Informationen dazu gibt es im Nationalen Klimareport des DWD.



▲ Segelschiff „Alexander von Humboldt“.

Bremen und Bremerhaven sind Teil der Modellregion „Nordwestdeutsches Tiefland“, die sich von der Nordseeküste bis zu den Mittelgebirgen erstreckt. Sie ist von der Meeresnähe und der niedrigen Geländehöhe geprägt.

Die Klimadiagramme zeigen die Mittelwerte von den Größen Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer der international gültigen Klima-Referenzperiode 1961 – 1990 sowie der aktuellen 30-jährigen Klimanormalperiode 1991 – 2020 im Vergleich. Hier sind Diagramme für Bremen, Bremerhaven und für Deutschland gegenübergestellt. In allen drei Abbildungen ist erkennbar, dass die Temperatur im Zeitraum 1991 – 2020 gegenüber 1961 – 1990 gestiegen ist. Ähnlich verhält es sich mit der Sonnenscheindauer: In den meisten Monaten scheint die Sonne inzwischen

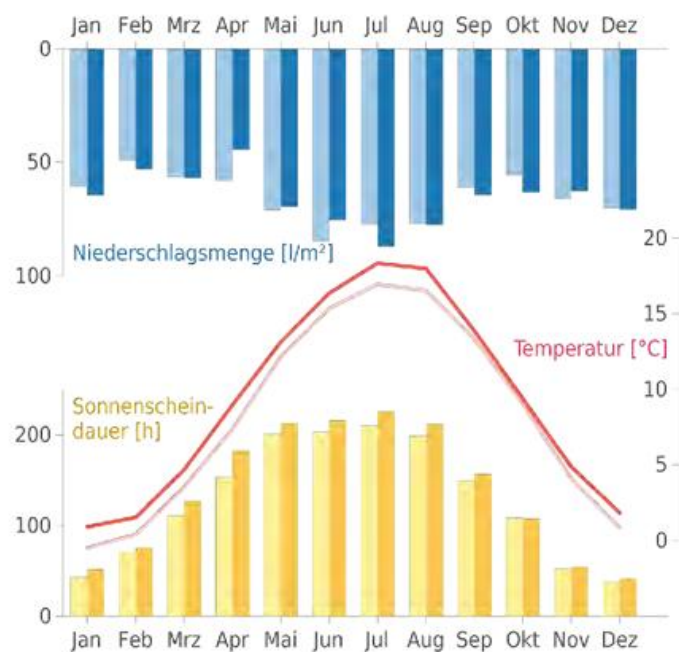
einige Stunden mehr als noch 1961 – 1990. Beim Niederschlag ist kein eindeutiger Trend erkennbar. In den folgenden Kapiteln werden neben Niederschlag, Temperatur und Sonnenscheindauer noch weitere Parameter genauer betrachtet. Zusätzlich zu den klimatologischen Zeitreihen werden auch Praxisbeispiele aus Bremen und Bremerhaven aufgeführt.

Infobox

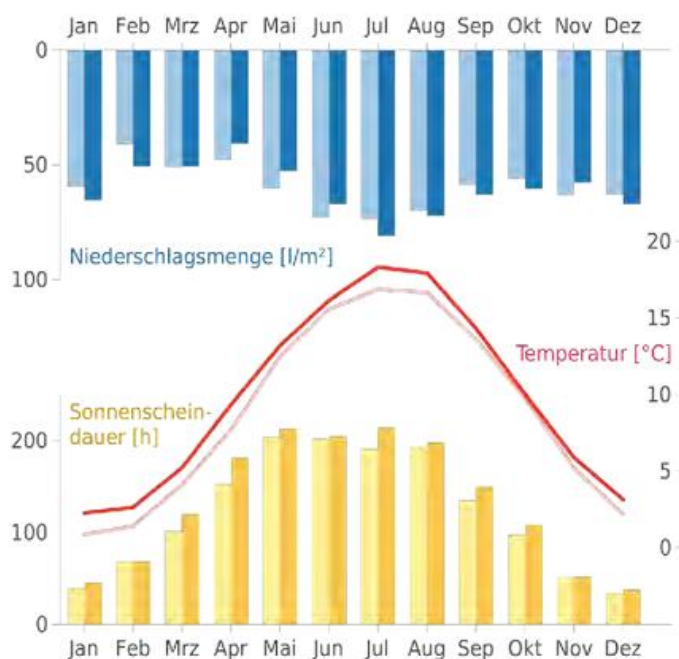
Bremen, Bremerhaven – zwei Städte, ein Land. In diesem Klimareport ist vom „Land Bremen“ die Rede, wenn die Gebietsmittel der Regionen Bremen und Bremerhaven zusammen betrachtet werden. Ist nur von „Bremen“ oder „Bremerhaven“ die Rede, so werden für die jeweiligen Stadtgebiete entweder Stationsdaten oder Gebietsmittelwerte verwendet. Für Projektionen wird die Region „Bremen-Bremerhaven“ dargestellt (7,8 – 9,0° E und 52,6 – 54,0° N).

▼ Vergleich der vieljährigen Mittelwerte 1961 – 1990 und 1991 – 2020. Dargestellt sind Deutschland, Bremen und Bremerhaven. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD. Rechts oben: Bremer Dom.

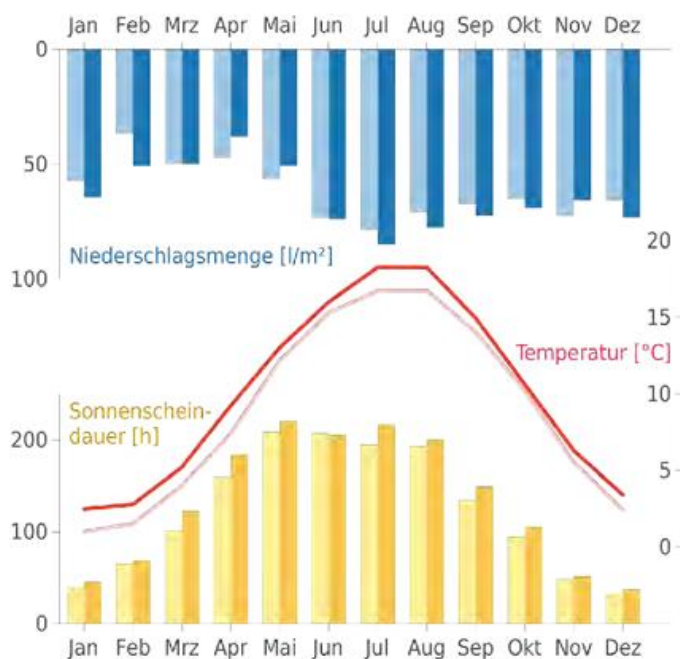
Deutschland



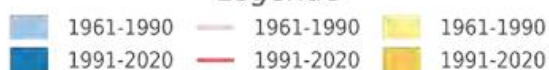
Bremen



Bremerhaven



Legende



Temperatur

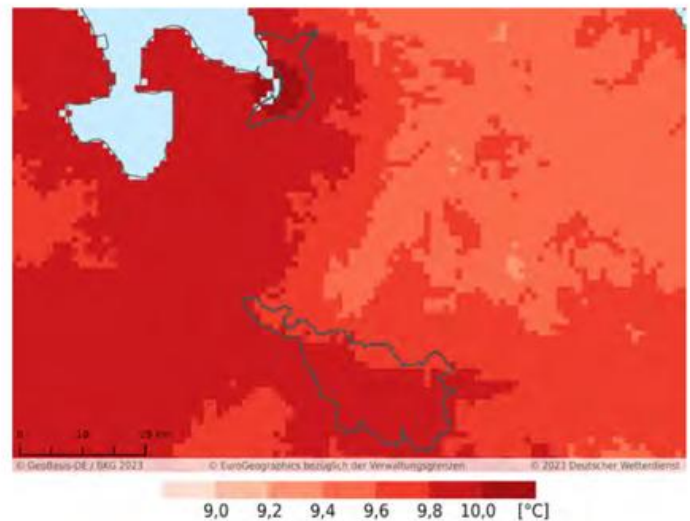
Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt im Land Bremen 9,9 °C, bezogen auf die aktuelle Klimanormalperiode 1991 – 2020. Als Datenbasis wurden Gebietsmittelwerte des Bundeslandes verwendet.

Veränderungen der Lufttemperatur seit 1881

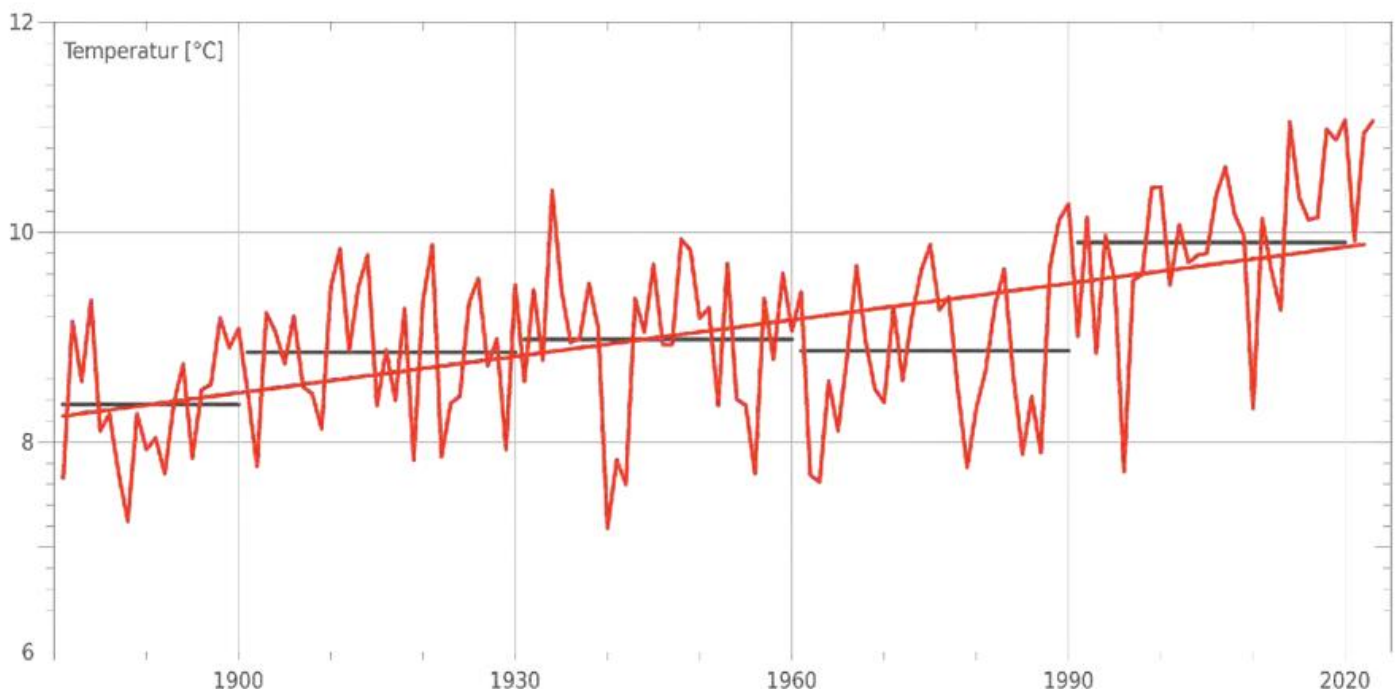
Im Land Bremen ist das Jahresmittel der Lufttemperatur im Zeitraum von 1881 bis 2023 um 1,6 °C gestiegen. Die aktuelle Klimanormalperiode 1991 bis 2020 ist dabei 1 °C wärmer als die Klima-Referenzperiode von 1961 bis 1990 (siehe Abbildung unten).

Bei Betrachtung der Dekaden ist die letzte Dekade von 2011 bis 2020 mit 10,4 °C die bisher wärmste im gegebenen Zeitraum. Trotz des generellen Temperaturanstiegs unterliegen die Jahresmitteltemperaturen Schwankungen und so gibt es mal wärmere und mal kältere Jahre.

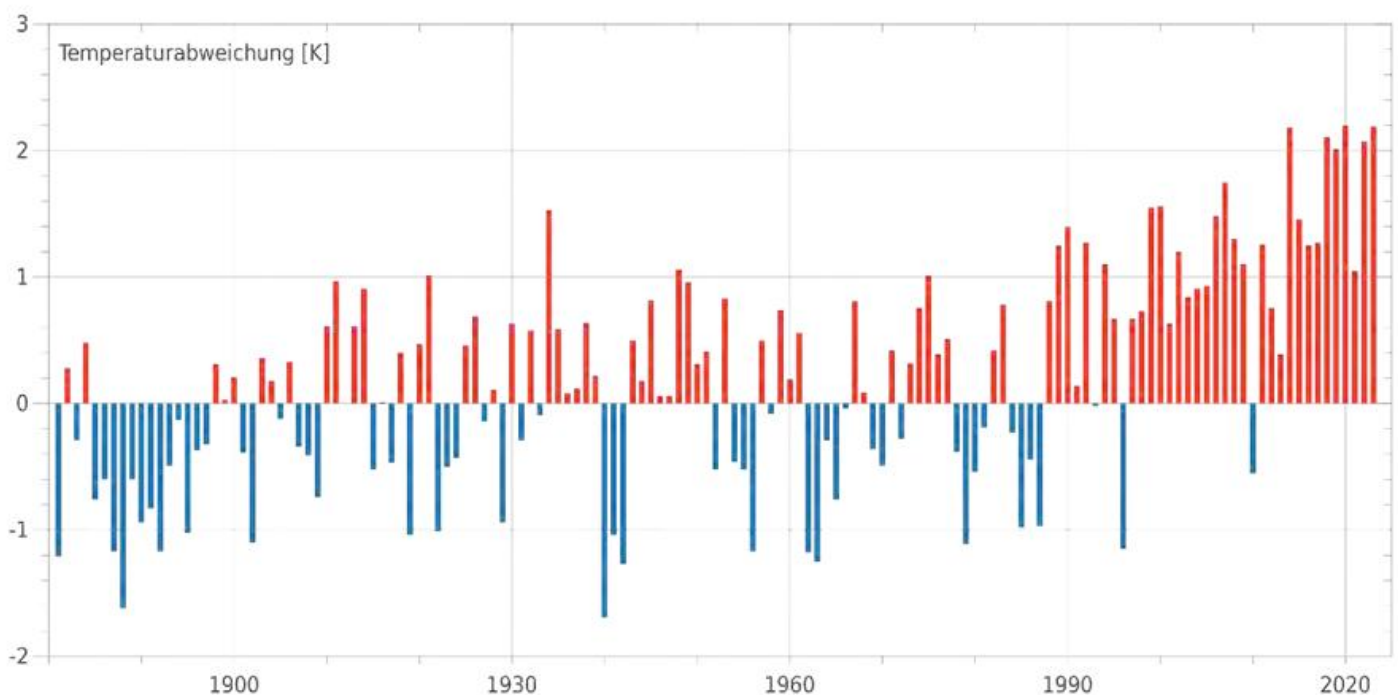
Die wärmsten Jahre im Land Bremen im Zeitraum von 1881 bis 2023 waren 2014, 2020 und 2023 mit je 11,1 °C, das kälteste Jahr war 1940 mit 7,2 °C. Die fünf wärmsten Jahre liegen innerhalb der letzten Dekade (siehe Tabelle). Mit Ausnahme des Jahres 2010 waren alle Jahresmitteltemperaturen seit 2000 deutlich höher als in der Klima-Referenzperiode von 1961 bis 1990



▲ Jahresmittel der Lufttemperatur in Bremen, Bremerhaven und Umgebung; gemittelt aus Rasterdaten (1 km x 1 km) der Jahre 1991 – 2020.



▲ Jahresmittel der Lufttemperatur im Land Bremen 1881 - 2023. Schwarze Linien: 30-jährige Mittel, rote Linien: Jahreswerte und linearer Trend. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.



▲ Jährliche Temperaturabweichung im Land Bremen 1881 - 2023 gegenüber der Klima-Referenzperiode 1961 - 1990. Die roten Balken zeigen positive und die blauen negative Abweichungen. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.

(siehe Abbildung oben). Die Abweichungen liegen in den letzten 13 Jahren zwischen 0,4 und 2,2 K. Temperaturänderungen werden in Kelvin (K) angegeben. Ein Kelvin entspricht einem Grad Celcius.

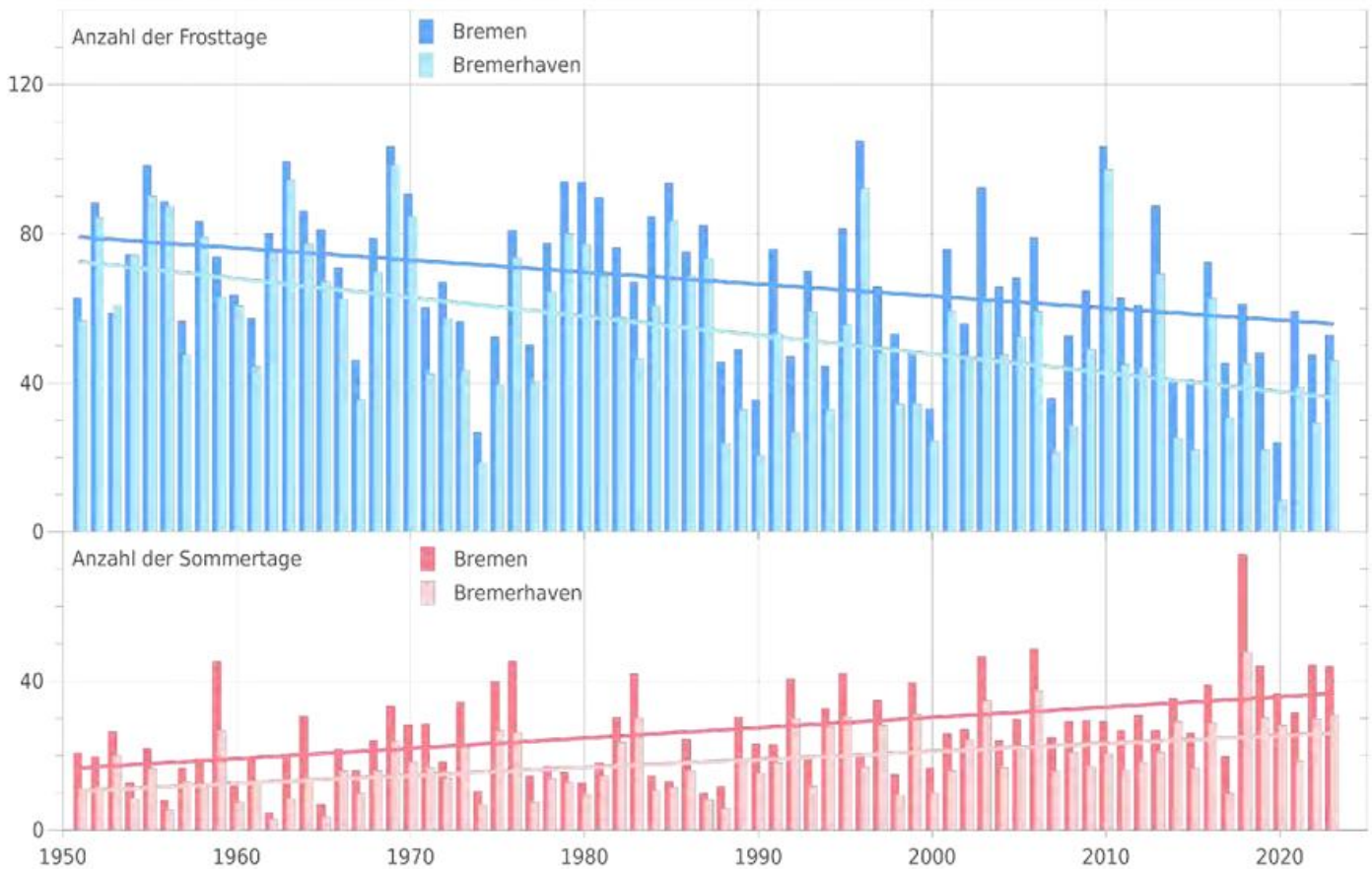
Ein Blick auf die Rasterkarte verrät, dass es im Zeitraum von 1991 bis 2020 in Bremerhaven minimal wärmer war als in Bremen. Durch die Lage an der Nordsee sind vor allem Herbst und Winter in Bremerhaven etwas milder.

Jahresmitteltemperatur [°C]	Jahr
11,1	2020
11,1	2023
11,1	2014
11,0	2018
10,9	2022
10,9	2019
10,6	2007
10,4	2000
10,4	1999
10,4	1934

◀ Die 10 wärmsten Jahre im Land Bremen seit 1881. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.

▼ Sonnige Bremer Schlachte am Weserufer.





▲ Anzahl der Frost- und Sommertage mit linearem Trend in Bremen und Bremerhaven seit 1951. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.

Kenntage

Kenntage wie Sommertage und Frosttage vermitteln Änderungen der Temperaturverhältnisse häufig anschaulicher. Daher wird die Entwicklung dieser beiden Kenntage seit 1951 hier genauer betrachtet.

- Sommertag:
Tagesmaximum der Lufttemperatur $\geq 25\text{ °C}$
- Frosttag:
Tagesminimum der Lufttemperatur $< 0\text{ °C}$

Die Anzahl der Sommertage pro Jahr hat in Bremen und Bremerhaven seit 1951 zugenommen. In Bremer-

haven gibt es inzwischen ca. 26 Sommertage und damit 16 Tage mehr als noch vor 70 Jahren. In Bremen hat sich die Zahl der Sommertage in demselben Zeitraum um 20 auf 36 Tage erhöht. Das Jahr mit den bisher meisten Sommertagen war 2018: 48 Tage in Bremerhaven und 75 Tage in Bremen.

Die Anzahl der Frosttage entwickelt sich im betrachteten Zeitraum in die entgegengesetzte Richtung. In Bremen sind die Frosttage von knapp 80 auf 56 zurückgegangen. In Bremerhaven ist der Rückgang von gut 72 Frosttagen auf 36 Tage deutlicher (siehe Abbildung). Die Anzahl der Frosttage hat sich seit 1951 halbiert.

Im Blickpunkt: Der Sommer 2018

Das Jahr 2018 war mit ca. 11 °C im Jahresmittel im Land Bremen eines der wärmsten seit Beginn der Aufzeichnungen. Die Monate Juli und August gehören mit zu den 20 wärmsten Monaten seit 1881. 2018 wurden in Bremen und Bremerhaven die bisher höchste Zahl an Sommertagen und Heißen Tagen erreicht. Dabei begann der Sommer gefühlt bereits im April – der erste Sommertag an den Stationen Bremen und Bremerhaven wurde am 19. April 2018 registriert.

Der erste Heiße Tag des Jahres war in Bremen am 28. Mai und in Bremerhaven am 29. Mai. Von Ende Juli bis Anfang August 2018 wurden an der Station Bremen an zehn aufeinanderfolgenden Tagen mit Ausnahme des 01. August über 30 °C erreicht. In Bremerhaven war es auf Grund der maritimeren Lage etwas weniger heiß, aber auch dort wurde die 30 °C -Marke mehrfach überschritten. Je früher im Jahr hohe Temperaturen erreicht werden, desto mehr beeinträchtigt dies uns Menschen, da wir dann besonders wenig Zeit zur Akklimation haben.

Zukunft

Modellberechnungen für die Zukunft zeigen, dass die Temperatur in der Region Bremen-Bremerhaven weiter steigen wird (siehe Tabelle und Abbildung auf dieser Seite). Für den kurzfristigen Planungshorizont (2031 - 2060) beträgt dieser Anstieg im Mittel für das Klimaschutzszenario (RCP2.6) 1,1 °C und für das Hochemissionsszenario (RCP8.5) 1,9 °C gegenüber der Periode 1971 - 2000. Für den langfristigen Planungshorizont (2071 - 2100) ist die Temperaturentwicklung stark von dem gewählten Szenario abhängig. Bei dem Klimaschutzszenario wird eine Temperaturerhöhung von 1,1 °C im Mittel erwartet. Dieser Wert kann nur durch eine zeitnahe starke Reduktion der Treibhausgasemissionen erreicht werden. Bei dem Hochemissionsszenario kann die Temperatur im Mittel um 3,5 °C ansteigen. Die Bandbreite des möglichen Temperaturanstiegs geht umso mehr auseinander, je weiter wir in

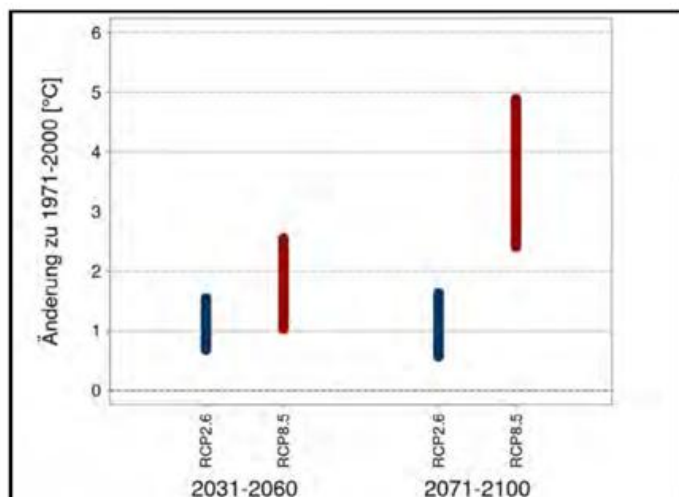
die Zukunft blicken, da sich die Gesellschaft bis dahin in viele verschiedene Richtungen entwickeln kann.

Jahreszeiten

Die beobachtete Erwärmung im Land Bremen verteilt sich auf alle Jahreszeiten, wobei sich die mittlere Temperatur im Frühjahr und im Winter mit +1,2 K etwas stärker erhöht hat als im Jahresmittel (siehe Tabelle). Der Monat mit der größten beobachteten Erwärmung ist April mit +1,7 K im Vergleich von 1991 - 2020 zu 1961 - 1990. Die geringste Veränderung ist im Oktober mit +0,3 K zu beobachten. Zukünftig ist sowohl beim Hochemissionsszenario als auch beim Klimaschutzszenario kurzfristig und langfristig mit einer weiteren Erwärmung in allen Jahreszeiten zu rechnen. Als Konsequenz wird es wahrscheinlicher, dass Hitzewellen häufiger auftreten, während Andauer und Stärke von Frostperioden tendenziell abnehmen.

	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	8,0	8,5	8,9	9,2	0,7 (0,4 1,6)	1,4 (0,8 2,0)	0,9 (0,3 1,5)	3,0 (1,6 3,6)
Sommer	16,4	16,6	17,0	17,5	1,1 (0,5 2,0)	1,8 (0,9 2,9)	1,1 (0,6 1,7)	3,5 (2,2 5,6)
Herbst	9,6	9,5	9,8	10,2	1,4 (0,9 1,9)	2,1 (1,3 3,1)	1,3 (0,6 2,0)	3,9 (2,8 5,9)
Winter	1,5	2,1	2,2	2,7	1,1 (0,6 1,3)	2,1 (0,9 2,8)	1,0 (0,8 1,5)	3,5 (2,7 5,1)
Jahr	8,9	9,2	9,5	9,9	1,1 (0,7 1,5)	1,9 (1,0 2,6)	1,1 (0,6 1,6)	3,5 (2,4 4,9)
	°C	°C	°C	°C	K	K	K	K

▲ Jahreszeitliche und jährliche vieljährige Mittelwerte der Temperatur im Land Bremen (in °C) und erwartete Änderungen (in K) in zwei Szenarien für zwei Planungshorizonte, Darstellung: Median (Min | Max). Die Szenarien beziehen sich auf den Zeitraum 1971 - 2000. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.



▲ Darstellung der Bandbreite der verwendeten Klimaprojektionen für die Jahresmitteltemperatur der Region Bremen-Bremerhaven. Dargestellt sind die vorliegenden Änderungsprognosen für den kurzfristigen (2031 - 2060) und langfristigen (2071 - 2100) Planungshorizont; jeweils als Abweichung zum Bezugszeitraum 1971 - 2000. Je Planungshorizont werden die Ergebnisse für das Klimaschutzszenario (RCP2.6) in blau und das Hochemissionsszenario (RCP8.5) in rot gegenübergestellt. Die dargestellten Balken zeigen den Bereich von der kleinsten bis zur höchsten berechneten Temperaturänderung des Szenarios.

FAKTEN:

Beobachtung

- Stetige Erwärmung um gut 1,6 °C im Land Bremen seit 1881
- Seit 1951 mehr Sommertage und weniger Frosttage
- Temperaturanstieg in allen Jahreszeiten

Kurzfristiger Planungshorizont

- Erwärmung beim Klimaschutzszenario im Mittel um 1,1 °C gegenüber 1971 - 2000
- Erwärmung beim Hochemissionsszenario im Mittel um 1,9 °C gegenüber 1971 - 2000

Langfristiger Planungshorizont

- Erwärmung beim Klimaschutzszenario im Mittel um 1,1 °C gegenüber 1971 - 2000
- Erwärmung beim Hochemissionsszenario im Mittel um 3,5 °C gegenüber 1971 - 2000

Niederschlag

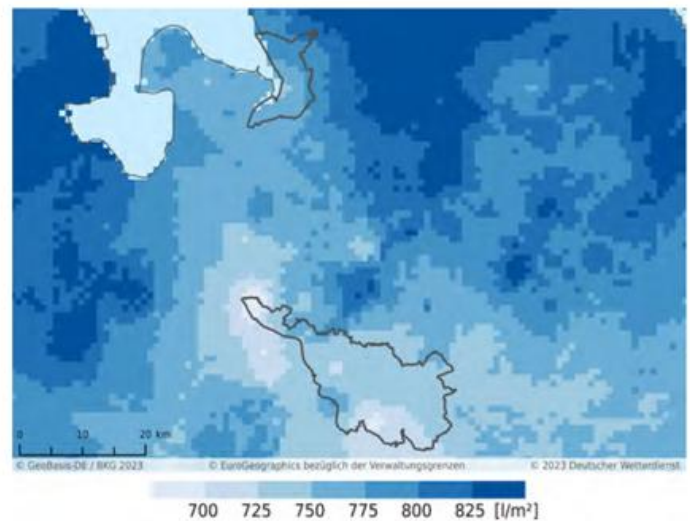
Im Land Bremen fällt heutzutage jährlich etwas mehr Niederschlag als zu Beginn der Messungen. In Bremerhaven ist es dabei etwas nasser als in Bremen. Im bundesweiten Vergleich liegt das Land Bremen mit gut 50 l/m² unter dem deutschen Mittel bezogen auf die aktuelle Klimanormalperiode 1991 - 2020.

Veränderung des Niederschlags seit 1881

Der Niederschlag, welcher in Liter pro Quadratmeter (l/m²) bzw. mm gemessen wird, ist eine sehr veränderliche Größe in Raum und Zeit. Das jährliche Gebietsmittel vom Land Bremen für die aktuelle Klimanormalperiode 1991 - 2020 beträgt 737 l/m², wobei im trockensten Jahr 1959 nur 438 l/m² gefallen sind. Im nassesten Jahr 2023 waren es 1076 l/m². Seit 1881 hat die Niederschlagsmenge um 94 l/m² pro Jahr zugenommen (siehe Abbildung). Das entspricht einem Plus von durchschnittlich 1,8 l/m² in jeder Woche.

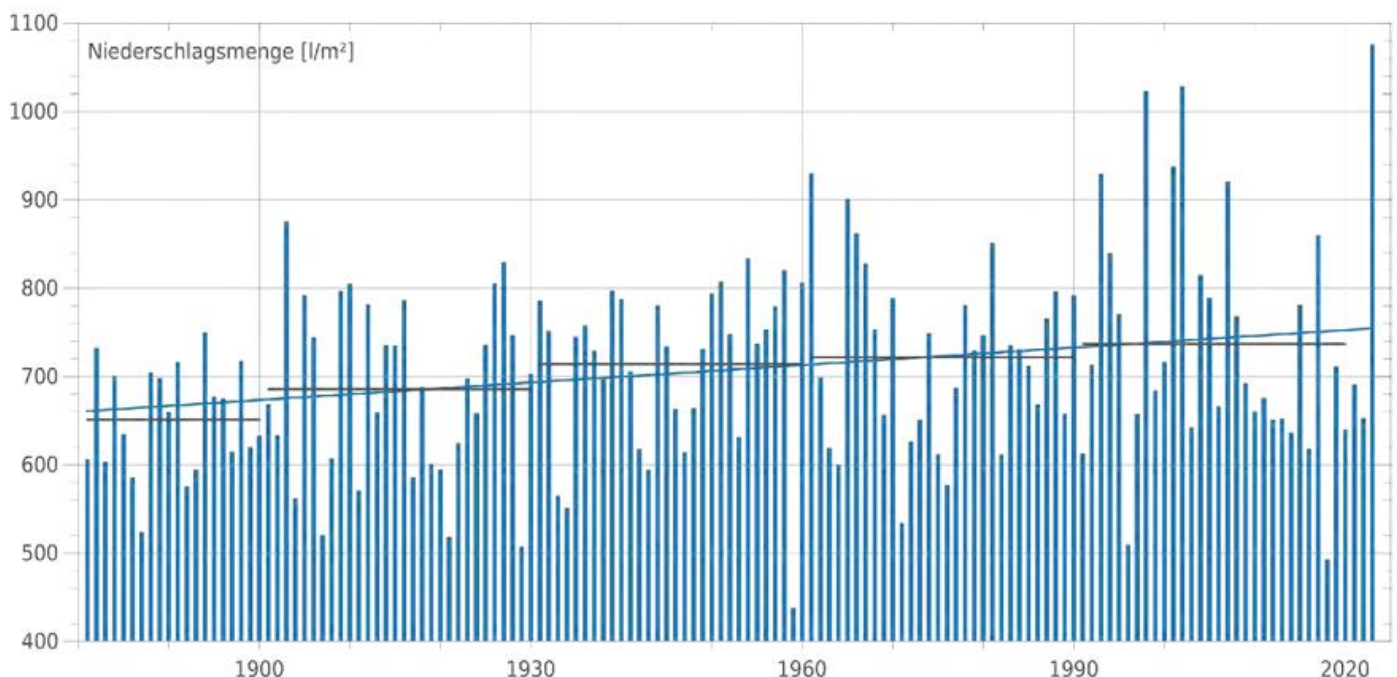
Nichtsdestotrotz gibt es immer mal wieder außergewöhnlich niederschlagsarme Jahre wie zuletzt 2018 mit einer Jahresmenge von 493 l/m², das zweittrockenste Jahr seit Beginn der Messungen.

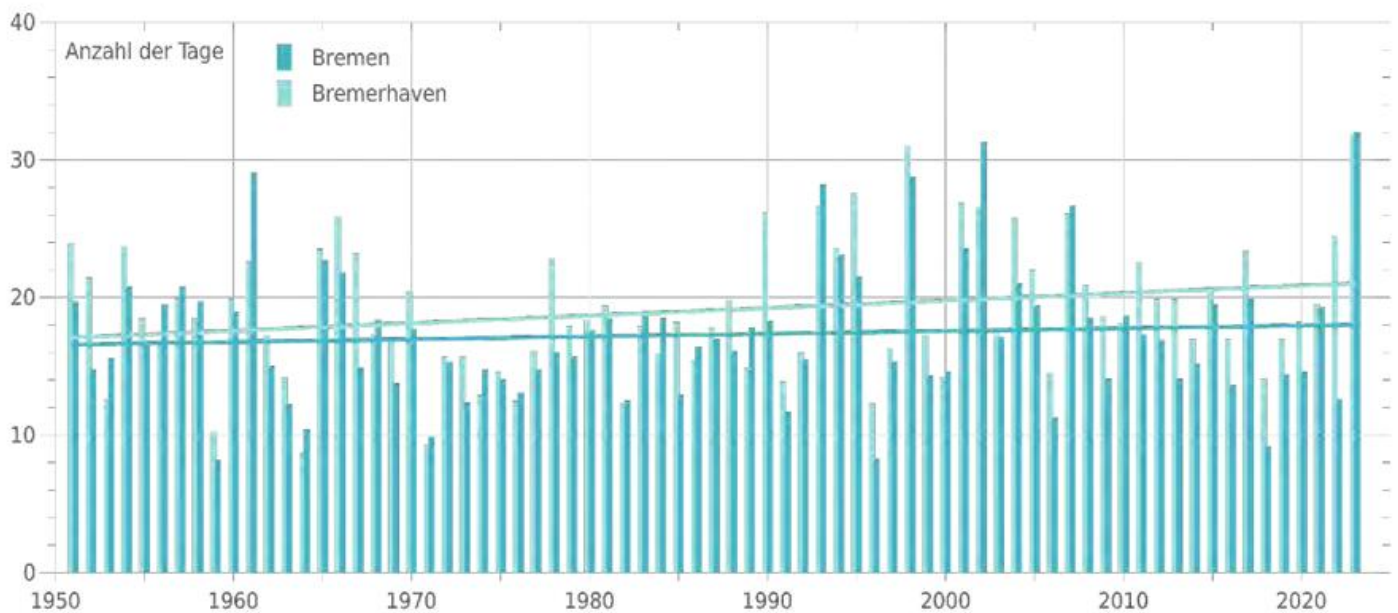
Die Rasterkarte zeigt, dass in Bremen weniger Niederschlag registriert wurde als in Bremerhaven. Generell



▲ Mittlere jährliche Niederschlagsmenge [l/m²] in Bremen, Bremerhaven und Umgebung; gemittelt aus Rasterdaten (1 km x 1 km) der Jahre 1991 - 2020. Datenbasis: Gebietsmittelmerte des DWD.

▼ Jahresmengen des Niederschlags in l/m² und linearer Trend (blaue Linie) für das Land Bremen seit 1881. Schwarze Linien: 30-jährige Mittelwerte. Datenbasis: Gebietsmittelmerte des DWD.





▲ Anzahl der Tage mit mindestens 10 l/m² Niederschlag in Bremen und Bremerhaven und linearer Trend seit 1951. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.

fällt im Land Bremen im Durchschnitt etwas weniger Niederschlag als in benachbarten Gebieten in Niedersachsen.

Die tägliche Niederschlagsmenge variiert in Bremen und Bremerhaven über das Jahr stark. Große Niederschlagsmenge lassen sich durch Kenntage mit einer Tagesmenge von mindestens 10 l/m² beschreiben. In Bremen gibt es im Mittel 18 Tage und in Bremerhaven 20

Tage pro Jahr, an denen mindestens 10 l/m² gemessen wurden, bezogen auf 1991 – 2020. Seit 1951 hat sich die mittlere Anzahl dieser Tage in Bremen kaum verändert, während in Bremerhaven inzwischen knapp vier Tage mehr pro Jahr gezählt werden. An einigen wenigen Tagen fallen sogar 20, 30 oder mehr Liter pro Quadratmeter. Mehr dazu und zum Starkregen im Kapitel „Extremereignisse“.

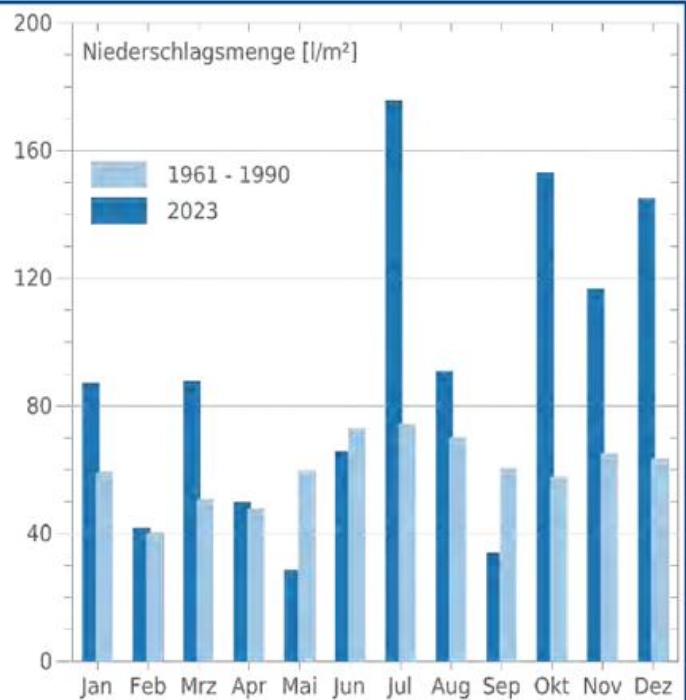


Im Blickpunkt: Das nasse Jahr 2023

Im Jahr 2023 wurde ein neuer Niederschlagsrekord im Land Bremen aufgestellt. Insgesamt sind 1076 l/m² Niederschlag gefallen. Das sind knapp 50 % mehr als im langjährigen Mittel von 1961 - 1990 und mehr als 400 l/m² mehr als im frühindustriellen Zeitraum (1881 - 1910).

Die Monate Juli, Oktober, November und Dezember waren dabei besonders niederschlagsreich (siehe Abbildung). Mit 32 Tagen wurde die bisher höchste Anzahl an Tagen pro Jahr mit mindestens 10 l/m² erreicht. Das erhöhte Niederschlagsaufkommen sorgte in vielen Teilen des Landes für großflächige Überschwemmungen. Mehr dazu im Kapitel „Extremereignisse“.

► Monatsmengen des Niederschlags vom Land Bremen von 2023 im Vergleich zu 1961 - 1990. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.



Jahreszeitliche Unterschiede

Auch wenn der Jahresniederschlag im Land Bremen insgesamt leicht zugenommen hat, so ist diese Zunahme nicht in allen Jahreszeiten gleichermaßen zu beobachten. Während der Frühling seit 1961 eher trockener und der Winter feuchter geworden ist, haben sich die Niederschlagsmengen im Sommer und Herbst nicht eindeutig verändert (siehe Tabelle).

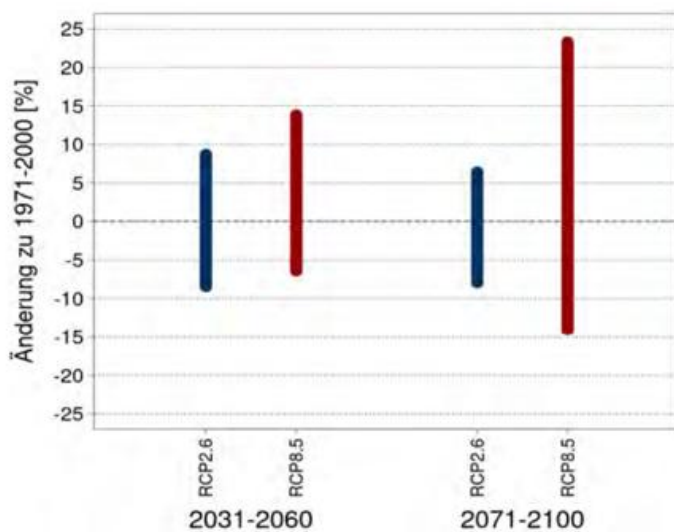
Tendenziell fällt im Sommer durch das häufige Auftreten von kurzen aber heftigen Sommergewittern der meiste Niederschlag. Besonders niederschlagsreiche Monate waren z. B. August 1960 mit 191 l/m², Juli 1993 mit 188 l/m² und Juli 2023 mit 176 l/m².

Für die Zukunft lässt sich in keinem Szenario eine jahreszeiteinspezifische Veränderung vorhersagen.



▼ Jahreszeitliche und vieljährige Mittelwerte der Niederschlagsmengen (in l/m²) im Land Bremen und erwartete Änderungen in zwei Szenarien für zwei Planungshorizonte (in %), Darstellung: Median (Min | Max). Die Szenarien basieren auf dem Referenzzeitraum 1971 - 2000. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.

	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	158	151	154	143	10 (-8 +19)	7 (-5 +22)	3 (-8 +14)	13 (-7 +31)
Sommer	218	210	225	223	-3 (-17 +14)	-1 (-21 +12)	-5 (-17 +7)	-9 (-57 +19)
Herbst	183	188	198	186	2 (-8 +1)	4 (-11 +17)	1 (-7 +12)	8 (-19 +23)
Winter	163	166	180	184	4 (-3 +14)	12 (-6 +21)	3 (-10 +12)	14 (+2 +44)
Jahr	722	716	757	737	4 (-8 +9)	5 (-6 +14)	0 (-8 +6)	8 (-14 +23)
	l/m ²	l/m²	l/m ²	l/m ²	%	%	%	%



◀ Bandbreite der vorhandenen Klimaprojektionen für die Jahresmenge des Niederschlags in der Region Bremen-Bremerhaven. Dargestellt sind die vorliegenden Projektionen für den kurzfristigen (2031 – 2060) und langfristigen (2071 – 2100) Planungshorizont, jeweils als Abweichung zum Bezugszeitraum 1971 – 2000. Es werden je Planungshorizont die Ergebnisse für das Klimaschutzszenario (RCP2.6, blau) und das Hochemissionsszenario (RCP8.5, rot) dargestellt. Die Balken zeigen den Bereich von der kleinsten bis zur höchsten berechneten Niederschlagsänderung des Szenarios.

Zukunft

Eine deutliche Änderung der jährlichen Niederschlagsmenge ist in Zukunft in der Region Bremen-Bremerhaven nicht zu erwarten. Für den kurzfristigen Planungshorizont (2031 – 2060) wird ein mittlerer Anstieg der Jahresmenge von 4 – 5 % im Vergleich zu 1971 – 2000 erwartet. Der Unterschied zwischen den Szenarien RCP2.6 und RCP8.5 ist gering.

Bei dem langfristigen Planungshorizont (2071 – 2100) wird bei dem Klimaschutzszenario keine Änderung des

Niederschlags erwartet. Bei dem Hochemissionsszenario (RCP8.5) ist die Spannweite deutlich größer. Im Mittel wurde ein leichter Anstieg des Niederschlags um 8 % berechnet.

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.



FAKTEN:

Beobachtung

- In Bremerhaven fällt etwas mehr Niederschlag als in Bremen
- Zunahme des Jahresniederschlags um 94 l/m² im Land Bremen seit 1881
- Frühling ist etwas trockener, Winter etwas feuchter geworden
- Keine Veränderung der Anzahl der Tage mit ≥ 10 l/m² in Bremen, in Bremerhaven leichte Zunahme

Kurzfristiger Planungshorizont

- Keine deutliche Änderung der Jahresmenge des Niederschlags

Langfristiger Planungshorizont

- Im Hochemissionsszenario Zunahme des Jahresniederschlags um 8 %

Sonnenschein und Globalstrahlung

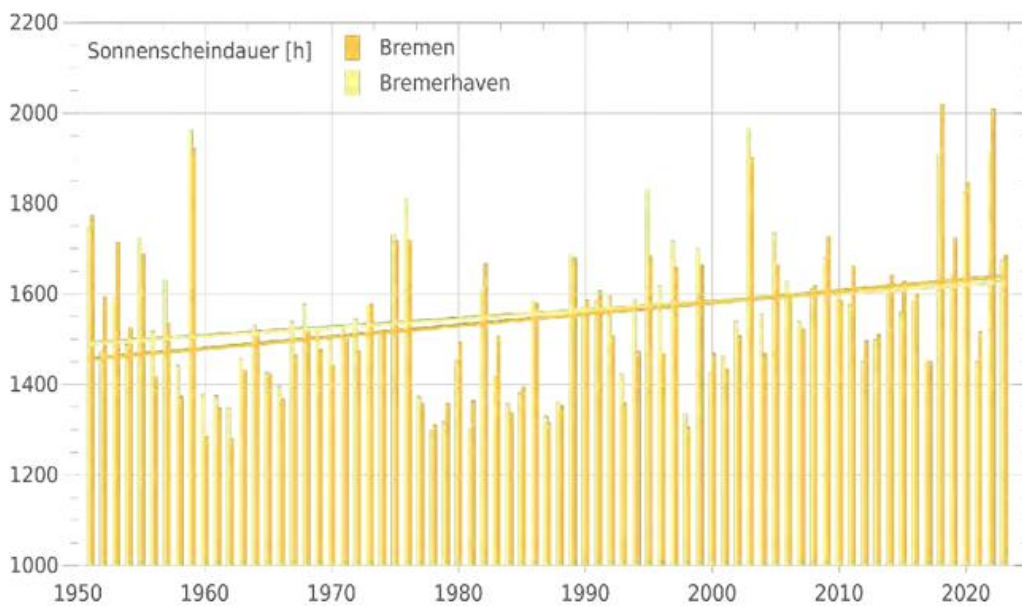
In Bremen und Bremerhaven scheint die Sonne im Mittel circa 1600 Stunden im Jahr. Seit 1951 hat die Sonnenscheindauer in Bremen etwas stärker zugenommen (183 Stunden pro Jahr) als in Bremerhaven (135 Stunden pro Jahr). Auch die Globalstrahlung ist in beiden Regionen seit 1983 angestiegen.

Vergangenheit und Gegenwart

Die Entwicklung der Sonnenscheindauer in Bremen hat sich ähnlich entwickelt wie in Bremerhaven (siehe Abbildung). Die bisherigen jährlichen Gebietsmittel der Sonnenscheindauer in Bremen variierten im Zeitraum 1951 – 2023 zwischen 1282 Stunden (1962) und 2021 Stunden (2018). Neben 2018 wurde auch 2022 die 2000er-Marke mit 2010 Sonnenstunden überschritten. In Bremerhaven bewegt sich die Anzahl der Sonnenstunden pro Jahr zwischen 1299 (1978) und 1967 (2003). Die 2000er-Grenze wurde bisher noch

nicht erreicht. Seit Beginn der Beobachtungen waren die vergangenen zwei Dekaden (2001 – 2010 und 2011 – 2020) die sonnenscheinreichsten in beiden Regionen.

Die mittlere Sonnenscheindauer pro Jahr liegt bei 1595 Stunden in Bremen und 1610 Stunden in Bremerhaven in der Klimanormalperiode 1991 – 2020. Das deutsche Mittel der Sonnenscheindauer liegt im selben Zeitraum bei 1665 Stunden pro Jahr. Somit scheint in Bremen die Sonne im Schnitt jährlich 70 und in Bremerhaven



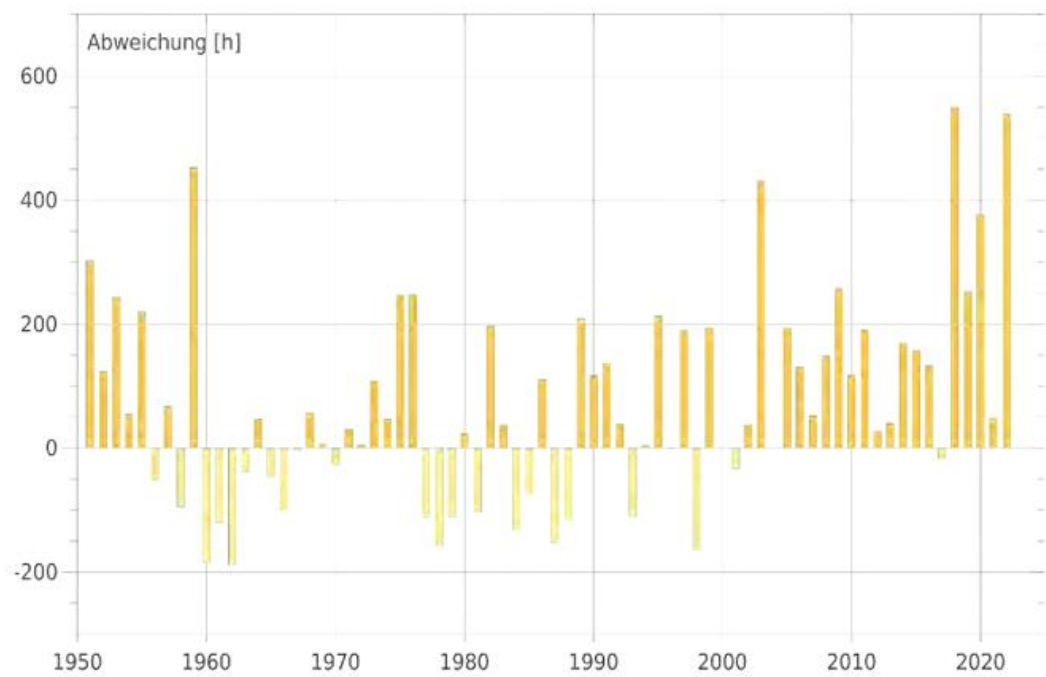
◀ Jahressummen und linearer Trend der Sonnenscheindauer in Bremen und Bremerhaven seit 1951. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.

Im Blickpunkt: Das Sonnenjahr 2022

Im Jahr 2022 wurde die bisher höchste Globalstrahlung in Deutschland gemessen. Das gilt auch für Bremen und Bremerhaven. In Bremen wurden in der Jahressumme 1157 kWh/m² erreicht; das sind 141 kWh/m² mehr als in der aktuellen Klimanormalperiode 1991 – 2020. Die Strahlungsbilanz 2022 war somit um einen Betrag erhöht, der einem mittleren Sommermonat entspricht. Gleiches konnte in Bremerhaven beobachtet werden. Im gesamten Land Bremen sticht besonders der Juni als strahlungsreichster Monat hervor.

Auch die Sonnenscheindauer war 2022 in Bremen und Bremerhaven höher als gewöhnlich. In Bremen schien die Sonne 415 Stunden mehr und in Bremerhaven 308 Stunden mehr als im Jahresmittel der Klimanormalperiode. Zum Vergleich: im Mittel scheint die Sonne im Juli circa 215 Stunden. Im Jahr 2022 gab es in Summe mehr als einen Sommermonat mehr Sonnenschein. Ähnliche Werte wurden auch 2018 erreicht.

55 Stunden weniger als im deutschen Mittel. Dennoch können die Einwohner und Einwohnerinnen Bremens und Bremerhavens durchschnittlich täglich mit 6,5 Stunden Sonne im Sommer und 2,4 Stunden im Winter rechnen. Pro Tag scheint die Sonne statistisch circa 15 Minuten mehr als in der Klima-Referenzperiode 1961 - 1990. Der Anstieg der Sonnenscheindauer verteilt sich in beiden Regionen auf alle vier Jahreszeiten, wobei die Sonnenscheindauer im Frühling am stärksten gewachsen ist mit 56 Stunden. Im Winter ist der geringste Zuwachs zu beobachten mit 13 Stunden.



▲ Abweichung der Sonnenscheindauer in Stunden pro Jahr im Land Bremen im Vergleich zur Klima-Referenzperiode 1961 - 1990. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.

	Sonnenscheindauer [h]				Globalstrahlung [kWh/m²]			
	1961 - 1990	1971 - 2000	1981 - 2010	1991 - 2020	1983 - 1990	1991 - 2000	2001 - 2010	2011 - 2020
Frühjahr	465	479	498	521	318	330	348	357
Sommer	591	600	599	620	406	440	448	448
Herbst	282	286	299	308	148	157	163	163
Winter	139	146	152	152	66	66	63	65
Jahr	1476	1511	1547	1602	938	994	1022	1033

▲ Entwicklung der Sonnenscheindauer [h] und Globalstrahlung [kWh/m²] nach Jahreszeiten im Land Bremen. Bei der Sonnenscheindauer werden 30-jährige Mittelwerte betrachtet. Dagegen werden für die Globalstrahlung aufgrund der kürzeren Messreihe, für die erst Daten ab 1983 vorliegen, soweit möglich Dekadenwerte dargestellt. Datenbasis: Gebietsmittel des DWD.



Globalstrahlung

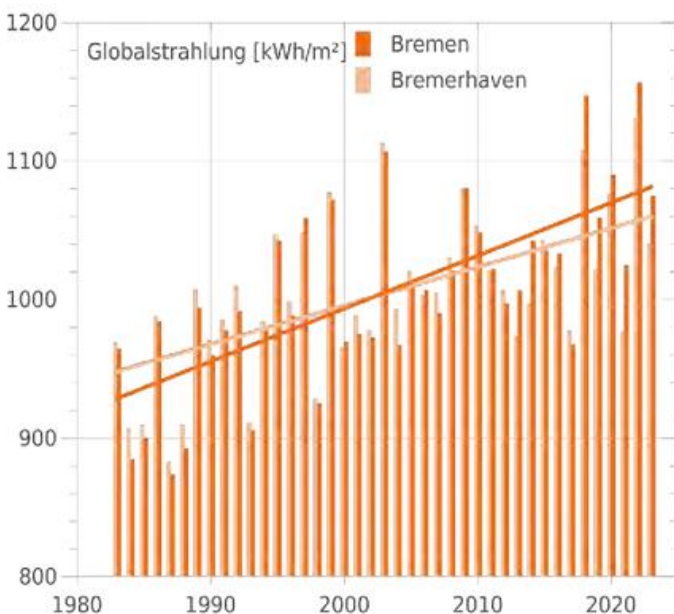
Mit der Globalstrahlung steht uns ein weiterer meteorologischer Parameter zur Verfügung, um die Sonnenstrahlung zu beschreiben. Die Globalstrahlung setzt sich aus der direkten, schattengebenden Sonnenstrahlung und der in der Atmosphäre gestreuten, diffusen Sonnenstrahlung zusammen.

Die Globalstrahlungswerte von Bremen und Bremerhaven ähneln sich sehr, wie auch in der Kartendarstellung zu sehen ist. Der Mittelwert über die aktuelle Klimanormalperiode 1991 – 2020 liegt in beiden Regionen bei gut 1015 kWh/m² pro Jahr. Allerdings hat die jährliche Globalstrahlung in Bremen seit 1983 mit +153 kWh/m² stärker zugenommen, als in Bremerhaven (+112 kWh/m²). Der Jahresrekord wurde im Jahr 2022 aufgestellt: Bremen hat 1157 kWh/m² und Bremerhaven hat 1132 kWh/m² erreicht. Das Jahr 2022 war auch deutschlandweit das bisher strahlungsreichste Jahr.

Die deutliche Zunahme der Globalstrahlung, welche in allen Bundesländern beobachtet werden kann, lässt sich vermutlich durch veränderte Bewölkungsmuster und verminderte Luftverschmutzung erklären. Die Globalstrahlung spielt vor allem für den Sektor der Erneuerbaren Energien eine zunehmend wichtige Rolle.

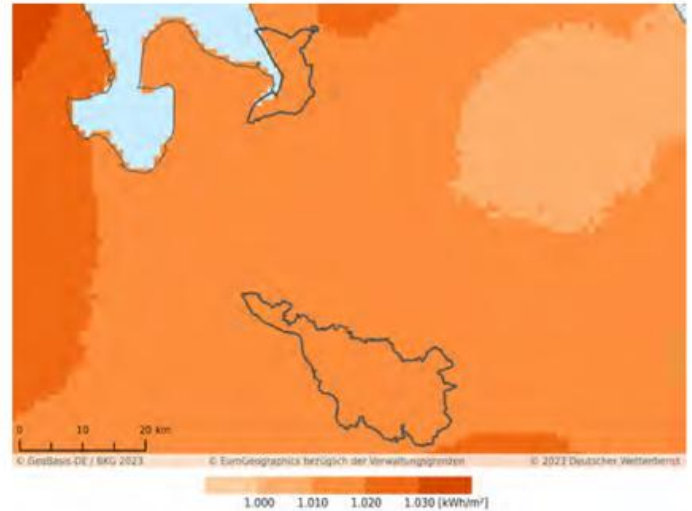
Zukunft

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



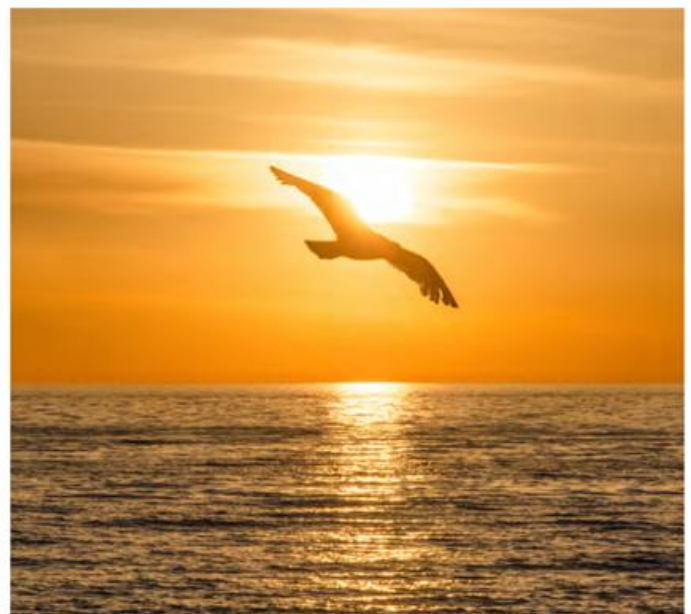
▲ Jahressummen und linearer Trend der Globalstrahlung in Bremen und Bremerhaven seit 1983. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.

▼ Mittlere Jahressummen der Globalstrahlung [kWh/m²] in Bremen, Bremerhaven und Umgebung, basierend auf Bodenmessungen und Satellitendaten der Jahre 1991 – 2020. Auflösung: 1 km x 1 km. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.



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

Weder für den kurzfristigen noch für den langfristigen Planungshorizont können derzeit belastbare Aussagen für die zu erwartenden Änderungen der Sonnenscheindauer gemacht werden. Allerdings zeigen alle Klimamodelle, dass für beide Szenarien die Änderungen lediglich in der Größenordnung von wenigen Minuten pro Tag liegen.





▲ Bürgerpark in Bremen.

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 in den Sommermonaten täglich Vorhersagen des UV-Indexes. Diese Maßzahl gibt die Stärke der UV-Strahlung der Sonne an. Je höher der Index-Wert ist, desto schädlicher ist die Strahlung.

Ein Zuviel an Sonnenstrahlung verursacht akute Schäden, wie z. B. Sonnenbrand und Hitzschlag, und kann auch langfristige gesundheitliche Folgen (u. a. vorzeitige Hautalterung und Hautkrebs) haben. Ab einem UV-Index von 3 sind Schutzmaßnahmen, wie die Verwendung von Sonnencreme, Sonnenbrille und Kopfbedeckung erforderlich. 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.

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

▲ Gefährdungseinstufung des UV-Indexes.

FAKTEN:

Beobachtung

- Durchschnittlich 260 Minuten Sonnenschein pro Tag (1991 – 2020)
- Sonnenscheindauer und Globalstrahlung steigen im linearen Trend seit 1951 bzw. 1983 stärker in Bremen als in Bremerhaven
- Große Variabilität von Jahr zu Jahr

Kurzfristiger Planungshorizont

- Änderungen wahrscheinlich nur gering

Langfristiger Planungshorizont

- Änderungen wahrscheinlich nur gering



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 – eindrucksvolle Bilder, die in unseren Köpfen eine Vorstellung zum Wind hervorrufen. In Bremen und Bremerhaven können wir das gesamte Spektrum antreffen. Winde können Schäden verursachen, aber auch zur Stromerzeugung genutzt werden. Die Verteilung der Windgeschwindigkeiten im kleinsten Bundesland ist stark geprägt von der Nähe zur Nordsee.

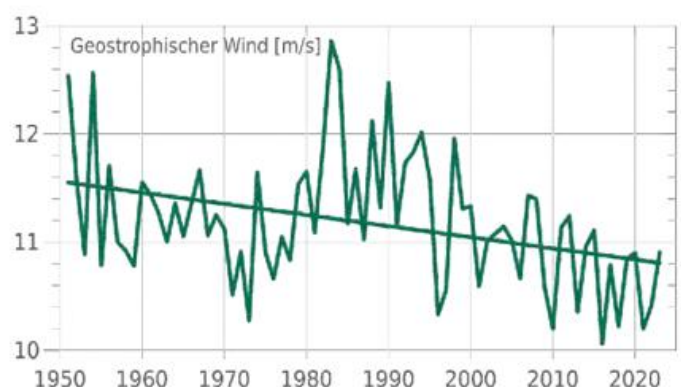


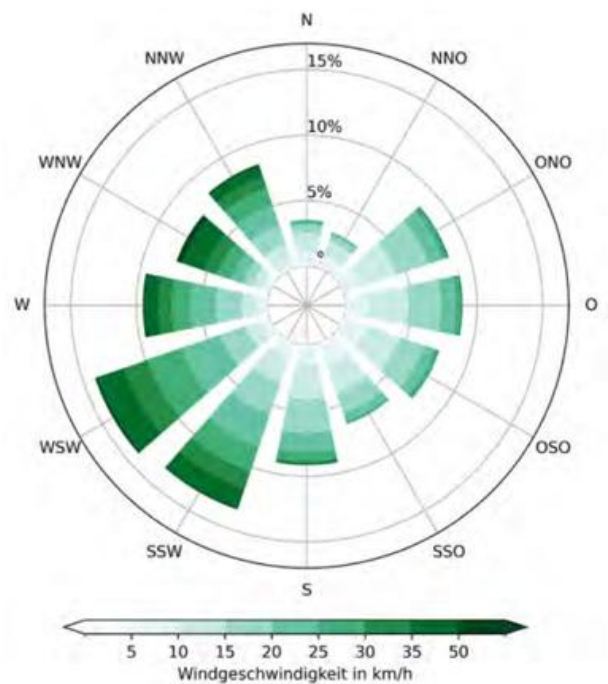
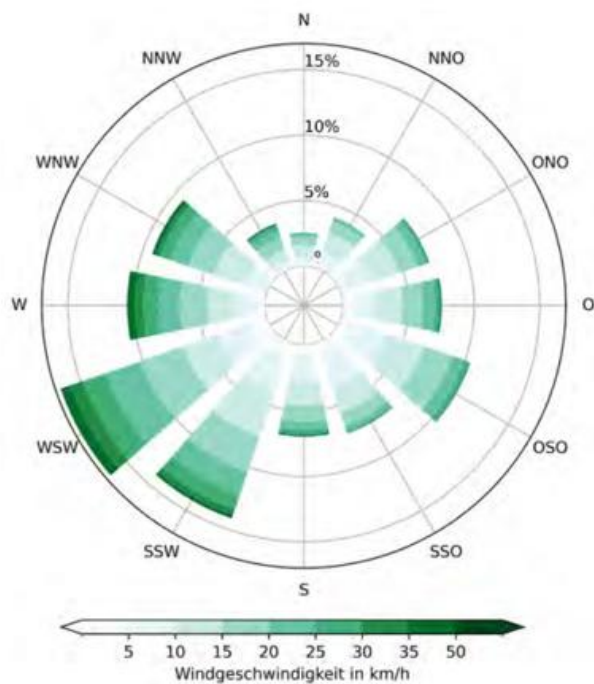
Windverhältnisse in der Vergangenheit und der Gegenwart

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 Messstation (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

▼ Jahresmittel und linearer Trend des geostrophischen Windes, berechnet aus den bodennahen Luftdruckdaten der Stationen Hamburg, Emden und List. Dargestellt ist der Zeitraum 1950 – 2023. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.

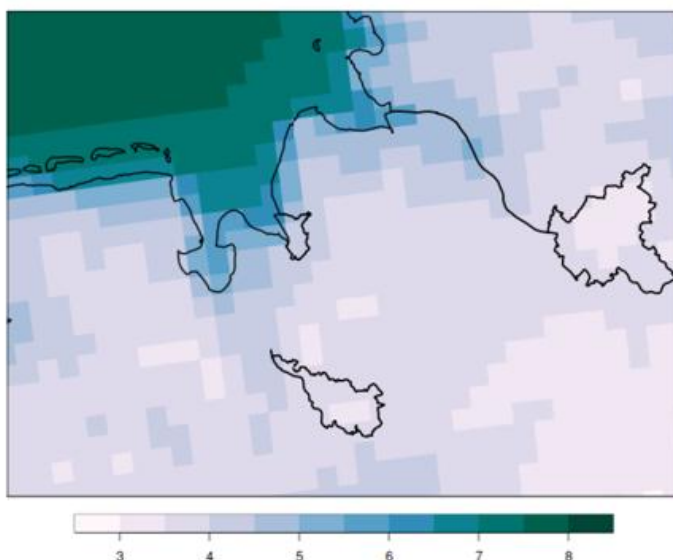




▲ Stärkewindrosen von den Stationen Bremen (links) und Bremerhaven (rechts). Es wurden die stündlichen Mittelwinde der Jahre 2011 bis 2020 gemittelt um diese prozentuale Windverteilung zu erhalten. Die Hauptwindrichtung in Bremen und Bremerhaven ist Südwesten, wobei in Bremerhaven häufiger hohe Windgeschwindigkeiten erreicht wurden. Datenbasis: Stationswerte des DWD.

theoretischer Wind mit der Annahme, dass reibungsfreie Bedingungen vorherrschen. Er beruht auf Luftdruckdifferenzen und ist eng mit dem „wahren“ Wind in den mittleren Breiten gekoppelt. Betrachtet man den geostrophischen Wind, der aus den Luftdruckdaten von Hamburg, Emden und List auf Sylt für die Deutsche Bucht berechnet wurde, zeigen sich Ab-

▼ Jahresmittel der Windgeschwindigkeit (10 m über Grund) in Bremen und Bremerhaven im Zeitraum 1995 – 2018. Flächendarstellung der Rasterwerte (6 km x 6 km) aus Reanalysedaten des Modells COSMO-REA6.



schnitte mit höheren oder niedrigeren Windgeschwindigkeiten (sogenannte multidekadische Schwankung). 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 den 1990er Jahren. Im Jahr 2023 betrug der Jahresmittelwert des geostrophischen Windes 10,9 m/s; dies entspricht knapp 39 km/h.

In Bremerhaven ist es durch die Nähe zum Meer etwas stürmischer als in Bremen. Mehr dazu im Kapitel „Extremereignisse“.

FAKTEN:

Beobachtung

- Etwas höherer Mittelwind und mehr Sturmtage in Bremerhaven an der Nordsee als in Bremen
- Leicht abnehmender Trend in den Windgeschwindigkeiten seit 1950

Kurzfristiger Planungshorizont

- Wahrscheinlich keine oder kaum Änderungen

Langfristiger Planungshorizont

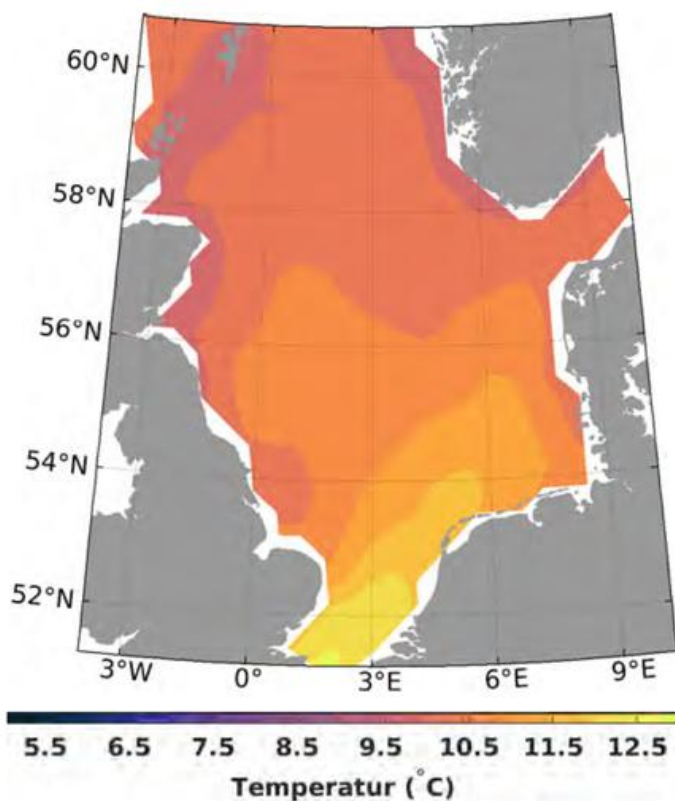
- Veränderung nicht ablesbar

Meerestemperaturen

Das Bundesland Bremen mit Bremerhaven ist aufgrund seiner Lage an der Nordsee besonders von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Die steigenden Temperaturen führen zu einem Anstieg des Meeresspiegels, was zu höher auflaufenden Sturmfluten und Überschwemmungen in der Region führen kann. So kann es langfristig zu einer Versalzung des Grundwassers kommen, was sich u. a. negativ auf die Landwirtschaft auswirkt. Die Nordsee hat zudem eine große wirtschaftliche Bedeutung. Die Seeschifffahrt als Rückgrat des internationalen Logistik- und Transportwesens sowie der Ausbau der Offshore-Windenergie sind ein entscheidender wirtschaftlicher Faktor in der Region.

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.



▲ Langzeitmittel 1991 – 2020 der Meeresoberflächentemperatur der Nordsee.



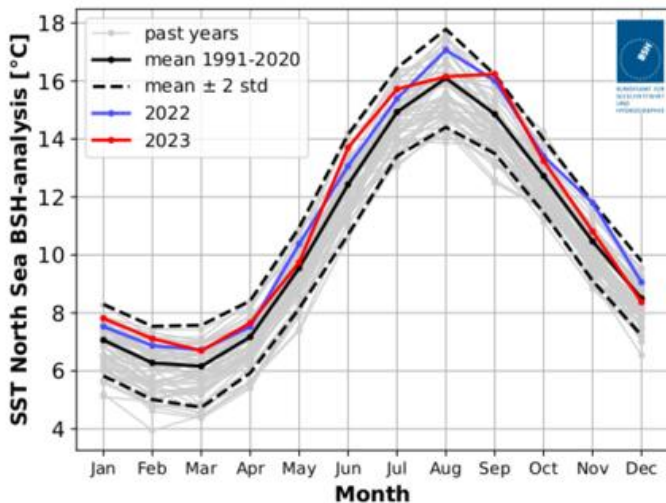
▲ Pingelturm in Bremerhaven

Die Nordsee ist ein Randmeer des Nordatlantiks, mit dem sie sowohl im Norden zwischen Schottland und Norwegen als auch im Süden über den Ärmelkanal verbunden ist. Wassermassen und damit auch Wärme können hier vergleichsweise frei ausgetauscht werden.

Das schlägt sich auch in der klimatologischen Verteilung der Meeresoberflächentemperatur nieder (siehe Abbildung links). Die Nordsee ist im Jahresmittel deutlich wärmer als z. B. die Ostsee. Im Langzeitmittel der Jahre 1991 – 2020 weist die Nordseeoberfläche eine Temperatur von etwa 12 °C im Süden und immer noch um die 10 °C im Norden auf. Im Langzeitmittel der Jahre 1991 – 2020 sind die niedrigsten Oberflächentemperaturen der Nordsee (als Mittel über die gesamte Fläche der Nordsee) im Februar und März mit ca. 6 °C zu beobachten. Am wärmsten ist die Nordsee typischerweise im August mit ca. 16 °C im Mittel.

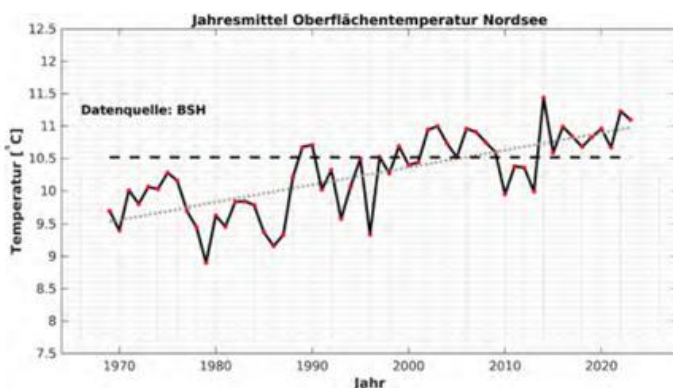
Die Meeresoberflächentemperatur im Klimawandel

Die Jahre 2022 und 2023 waren über fast alle Monate hinweg wärmer als das Langzeitmittel der Klimanormalperiode 1991 – 2020, wie die folgende Abbildung zeigt. Dies ist bereits als ein Indikator für die seit Jahrzehnten beobachtete, menschlich verursachte Klimaerwärmung zu deuten.



▲ Jahresgang des Flächenmittels der Oberflächentemperatur der Nordsee; 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).

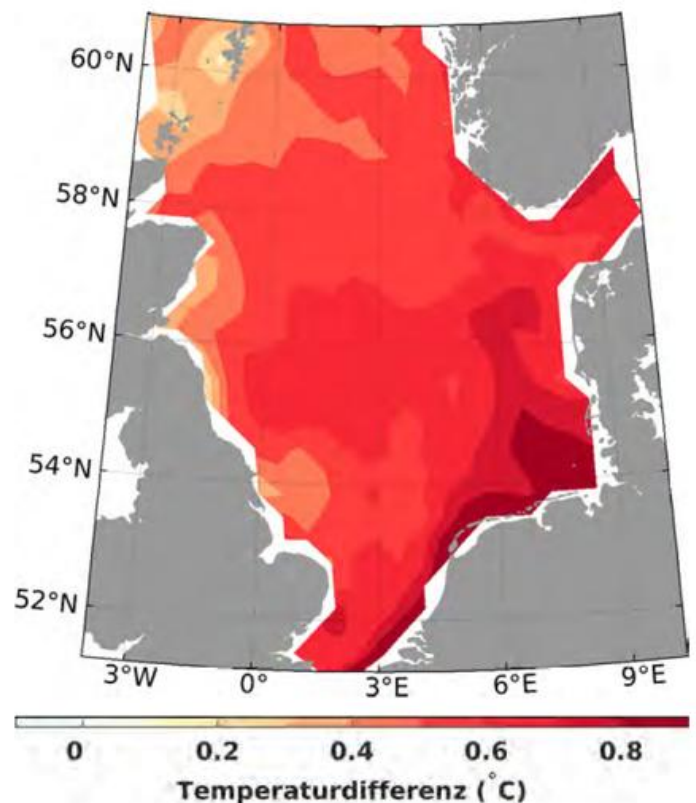
Dies ist ebenso ersichtlich in der langzeitlichen Entwicklung des Jahresmittels der Meeresoberflächentemperatur der Nordsee. Für die Nordsee analysiert das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) die Oberflächentemperatur systematisch bereits seit 1969. Die entsprechende Zeitreihe der Jahresmittel ist geprägt von starken Jahr-zu-Jahr-Schwankungen, die aber eindeutig von einem langfristigen Erwärmungstrend überlagert sind.



▲ Zeitliche Entwicklung der jährlich und über die gesamte Fläche gemittelten Meeresoberflächentemperatur der Nordsee sowie der Mittelwert der Klimanormalperiode 1991 – 2020 (gestrichelte Linie) von 10,5 °C.

Über die gesamte Zeitreihe von 1969 bis 2023 hinweg zeigt sich eine signifikante Erwärmung von ca. 0,27 °C pro Jahrzehnt. Seit 2014 waren alle Jahre im Mittel wärmer als das Langzeitmittel der Klimanormalperiode 1991 – 2020 von 10,5 °C.

Der durch die Nordseeanalyse des BSH abgedeckte längere Zeitraum erlaubt hier einen differenzierteren Einblick in die beobachtete Erwärmung. Wenn man die Differenz zwischen dem Langzeitmittel der hier verwendeten Klimanormalperiode 1991 – 2020 und dem Vergleichszeitraum 1971 – 2000 betrachtet, wird offensichtlich, dass der Erwärmungstrend im südlichen Bereich, entlang der niederländischen Küste und in der Deutschen Bucht am stärksten ausgeprägt ist. Hier sehen wir im Vergleich dieser beiden um 20 Jahre verschobenen Perioden eine Temperaturdifferenz von bis zu 0,8 °C und mehr. Nach Nordwesten hin wird der Erwärmungstrend graduell schwächer, sodass im nördlichsten Bereich der Nordsee, nahe den Shetland-Inseln, eine Temperaturdifferenz von „nur noch“ 0,2 bis 0,5 °C zu beobachten sind. Eine Trendumkehr ist in den nächsten Jahrzehnten nicht zu erwarten. Die Menschen Bremens 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 ist.



▲ Differenz des Langzeitmittels 1991 – 2020 der Meeresoberflächentemperatur der Nordsee zum Bezugszeitraum 1971 – 2000.

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 pro Jahr für den Zeitraum 1901 – 1980 auf 3,7 mm pro Jahr für 2006 – 2018. An der Nord- und Ostseeküste zeigen Pegelmessungen einen ähnlich hohen Anstieg von 1 bis 4 mm pro Jahr. Für die Zukunft sagen Klimamodelle einen weiteren Anstieg voraus. Neue Untersuchungen zur Ozeanerwärmung und zu Eisschilden in der Antarktis und Grönland lassen eine weitere Beschleunigung des Anstiegs wahrscheinlich erscheinen.



Der Meeresspiegel - eine schwankende Größe

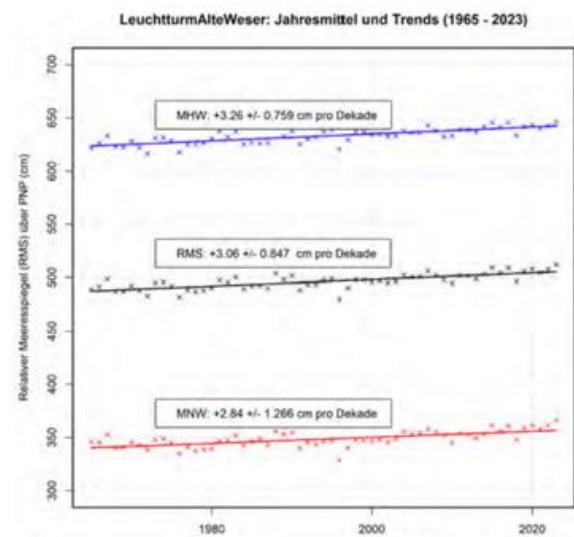
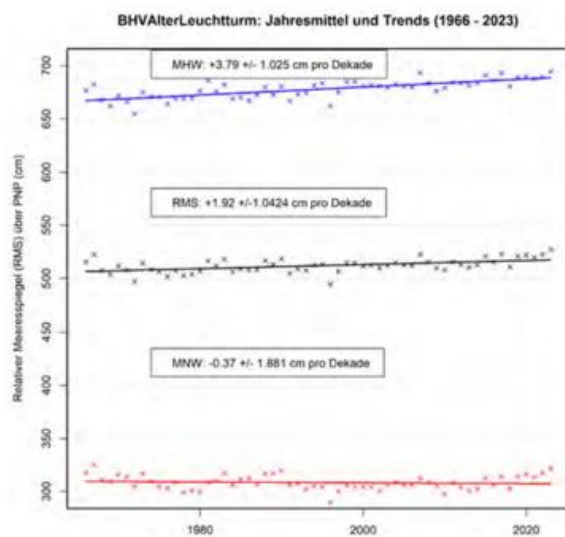
Die Veränderung des Meeresspiegels setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen. Die beiden wichtigsten sind die Ausdehnung des Meerwassers als Folge der globalen Erwärmung und die Zufuhr von Wasser in die Ozeane durch das weltweite Abschmelzen von Landgletschern und der großen Eisschilde in Grönland 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. Regionale 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 Nordseeküste (mit Raten von bis zu 0,7 mm pro Jahr), wäh-

rend die deutsche Ostseeküste im Übergangsbereich zwischen Landhebung und Landsenkung liegt. Diese Landbewegung muss bei der Bestimmung des absoluten Meeresspiegelanstiegs aus Pegelmessungen berücksichtigt werden.

Beobachtete Meeresspiegeländerungen

Für die Deutsche Bucht gibt es Pegelaufzeichnungen, die bis 1843 (für Cuxhaven) zurückreichen. Für den relativen Meeresspiegelanstieg zeigen sie eine Spannweite von 1,7 bis 4,2 cm pro Jahrzehnt. An der Ostküste Großbritanniens und der niederländischen Küste wie auch generell im Nordostatlantik treten ähnliche Anstiege (um 2 cm pro Jahrzehnt) auf wie in der Deutschen Bucht. Viele der deutschen Nordseepegel liegen erst frühestens ab den dreißiger Jahren des vorigen Jahrhunderts oder noch später vor. Am Pegel Bremerhaven gibt es beispielsweise erst ab 1966 Aufzeichnungen der jeweiligen Hoch- und Niedrigwasserscheitelpunkte, für den Leuchtturm Alte Weser in der Wesermündung vor Bremerhaven ab 1965. Beide Pegel zeigen, ähnlich wie die meisten Pegel in der Deutschen Bucht, dass sich die gezeitenabhängigen Wasserstände in der Nordsee unterschiedlich entwickeln (siehe Abbildung auf S. 35). Beispielsweise steigt am Pegel Alte Weser das Hochwasser im Zeitraum 1966 – 2023 um 3,3 cm/Jahrzehnt, während die Niedrigwasserscheitel



▲ Jährliche Mittelwerte des mittleren Hochwassers (MHW, in blau), des mittleren Niedrigwassers (MNW, in rot) und des mittleren Wasserstandes als Maß für den relativen Meeresspiegel (RMS, in schwarz) für die Pegel Leuchtturm Alte Weser (rechts) bzw. Bremerhaven – Alter Leuchtturm (links); jeweils dargestellt ist auch der lineare Trend. Daten ab 1965 bzw. 1966. Datenbasis: BSH.

nur um 2,8 cm/Jahrzehnt ansteigen. Beim Pegel Bremerhaven sind die Unterschiede noch sehr viel größer mit einem Anstieg von 3,8 cm pro Jahrzehnt beim Hochwasser und einem Sinken der Niedrigwasserscheitel von -0,4 cm pro Jahrzehnt. Als Ursache für diese unterschiedliche Entwicklung der Hoch- und Niedrigwasserscheitel kommen sowohl Maßnahmen des Gewässerausbaues als auch veränderte morphologische Verhältnisse im Elbe-Weser-Dreieck in Frage.

Zukünftige Änderungen des Meeresspiegels

Im aktuellen 6. Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change von 2021 werden für verschiedene Szenarien bzgl. der zukünftigen Entwicklung der atmosphärischen Treibhausgaskonzentration 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 1,8 °C oberhalb des vorindustriellen Niveaus hinausläuft) ergibt sich ein wahrscheinlicher Anstieg des global gemittelten Meeresspiegels von 32 – 61 cm (relativ zum Mittel der Periode 1985 – 2014), für das SSP5-8.5 (mit quasi ungebremsen 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 zwi-

schen 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 bis zu einem Meter zusätzlichen Meeresspiegelanstieg bis 2100 bewirken.

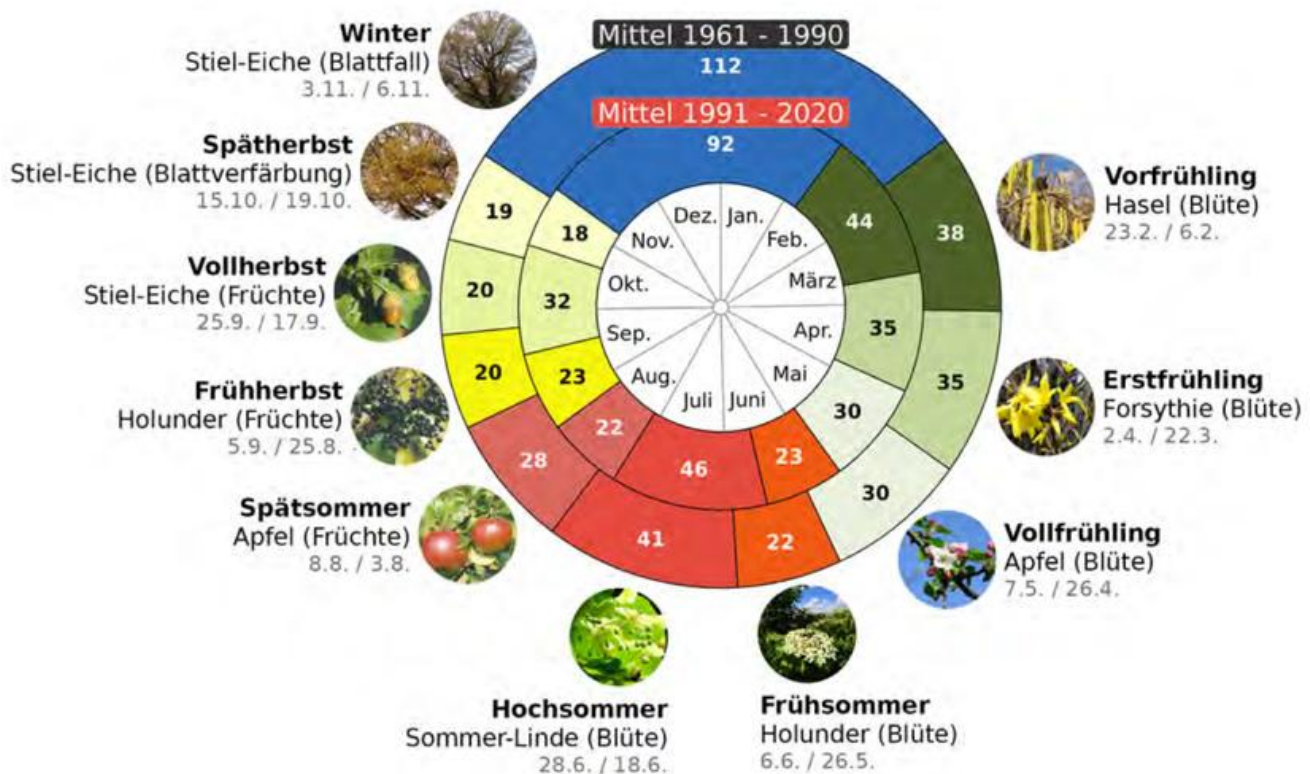
Durch die große Wärmespeicherkapazität der Ozeane wird der Meeresspiegelanstieg, ungeachtet des weiteren Verlaufs der Erderwärmung, weit über das 21. Jahrhundert andauern. Verschiedene Projektionen ergeben wahrscheinliche Bandbreiten von 0,8 – 2,0 m (im SSP1-2.6) bis 1,9 – 4,1 m (im SSP5-8.5) bis zum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

Phänologie

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



▲ Die verschiedenen Entwicklungsphasen der Pflanzen sind phänologischen Jahreszeiten zugeordnet. Die „Phänologische Uhr“ zeigt diese Jahreszeiten und ihre sogenannten Leitphasen für das Land Bremen. 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.

Der Kreislauf der Natur als Klimaindikator

Die Phänologie beschreibt im Jahresverlauf periodisch wiederkehrende Erscheinungen in der Natur: das Aufblühen einer Pflanze, Frucht reife, 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 – Wachstumsphase im Frühling und Sommer und Ruhephase im Winter – an den jahreszeitlichen Wechsel ihrer Umweltbedingungen angepasst.

Auch die Natur im Land Bremen zeigt Auswirkungen der sich verändernden klimatischen Bedingungen. So verschieben sich beispielsweise die Eintrittszeiten der phänologischen Jahreszeiten. 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 Wachstum und Entwicklung der Pflanzen verantwortlich, deren langjährige Beobachtung und statistische Auswertung Veränderungen zu Tage fördern.

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.

Im Land Bremen wurden in dem hier betrachteten Zeitraum phänologische Beobachtungen an mehr als 40 Standorten vorwiegend von ehrenamtlich tätigen Bürgerinnen und Bürgern aller sozialen Schichten und aus nahezu allen Berufsgruppen durchgeführt. Heute sind in jedem Naturraum mindestens zwei ehrenamtlich mitarbeitende Personen für diese Aufgabe unterwegs und neben diesen kann inzwischen jede Nutzerin oder jeder 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 17 Tage früher als in der Klima-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 elf Tagen beobachtet werden.



▲ Apfelblüte nach Frostschutzberegnung.

Dem Erstfrühling folgt der Vollfrühling, welcher durch das Erblühen der ersten Apfelbäume (*malus domestica*) beginnt. Hier tritt die Blüte in den Jahren 1991 – 2020 auch um elf Tage früher ein als in der Klima-Referenzperiode.

Mit der Blüte des Schwarzen Holunders (*sambucus nigra*) setzt der Frühsommer ein, dessen Eintrittszeit sich in der Klimanormalperiode 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 zehn 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 in der Klimanormalperiode 1991 – 2020 durchschnittlich elf Tage 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, tritt im Land Bremen mit drei bis vier Tagen geringfügig später ein als im Mittel der Jahre 1961 bis 1990. Der Grund hierfür ist, dass höhere Temperaturen im Herbst den Chlorophyllabbau im Blatt verlangsamen und damit zu einer späteren Blattverfärbung führen.

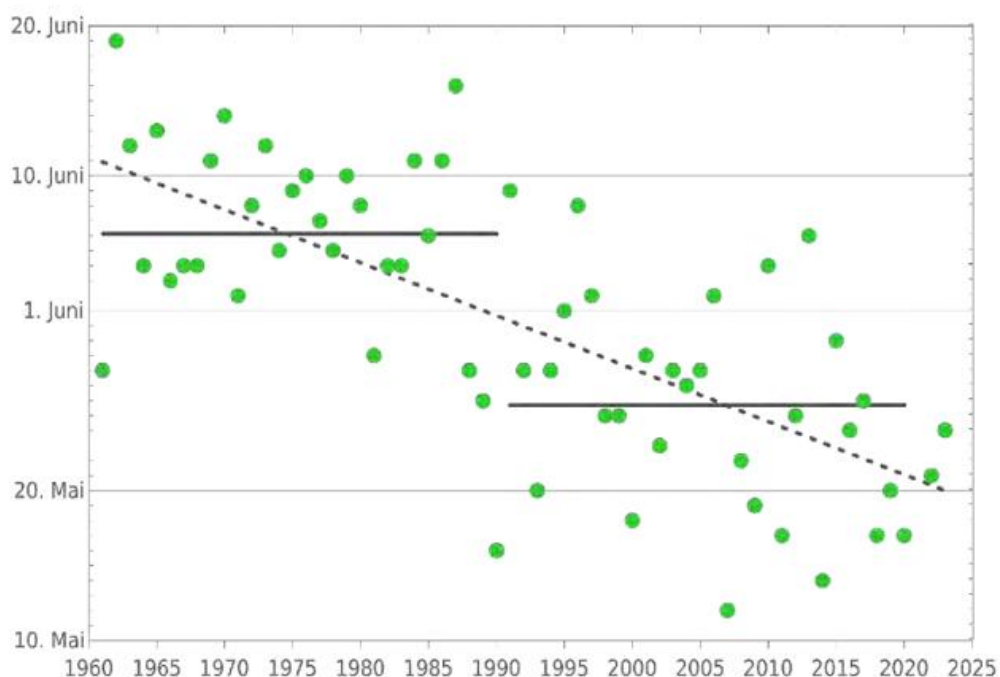
Die Eintrittstermine der Frühjahrsphasen zeigen die stärksten Änderungen. Das liegt einerseits daran, dass zu Beginn der Vegetationsperiode die stärksten Veränderungen stattfinden, und daran, dass diese Phasen wesentlich durch den Anstieg der Temperatur ausgelöst werden, während in späteren Phasen neben der Temperatur insbesondere auch Wasserhaushaltsgrößen eine zunehmende Rolle spielen, die im Laufe der Vegetationszeit sowohl beschleunigend beispielsweise bei trockenheitsbedingter Notreife als auch verlangsamend bei ausreichender Wasserversorgung wirken können. Im letzteren Fall kann die jeweils betrachtete Pflanze eine optimalere Entwicklung nehmen.

▼ Beginn der phänologischen Jahreszeiten in Bremen und Bremerhaven. Es werden die Klima-Referenzperiode 1961 - 1990 und die aktuelle Klimanormalperiode 1991 - 2020 verglichen. Datenbasis: Gebietsmittel des DWD.

Phänologische Jahreszeit	1961 - 1990		1991 - 2020	
	Bremen	Bremerhaven	Bremen	Bremerhaven
Vorfrühling	23.02.	25.02.	06.02.	09.02.
Erstfrühling	02.04.	05.04.	22.03.	24.03.
Vollfrühling	07.05.	10.05.	25.04.	28.04.
Frühsommer	06.06.	08.06.	25.05.	28.05.
Hochsommer	27.06.	30.06.	17.06.	20.06.
Spätsommer	08.08.	11.08.	03.08.	07.08.
Frühherbst	05.09.	08.09.	25.08.	28.08.
Vollherbst	25.09.	26.09.	17.09.	18.09.
Spätherbst	15.10.	15.10.	19.10.	19.10.
Winter	03.11.	03.11.	07.11.	06.11.

▼ Rhododendronpark in Bremen.





▲ Eintrittstermine 1961 – 2023 der Leitphase der phänologischen Jahreszeit Frühsommer im Land Bremen, die sich an dem Beginn der Blüte des Schwarzen Holunders orientiert. Die gestrichelte schwarze Linie zeigt den linearen Trend, die schwarzen durchgezogenen Linien den Mittelwert über zwei 30-jährige Zeiträume. Datenbasis: Gebietsmittel des DWD.



▲ Blüte Schwarzer Holunder.

Unterschiede zwischen den Städten Bremen und Bremerhaven

Die beschriebenen Entwicklungen beziehen sich auf die mittleren Werte für das Gesamtgebiet des Bundeslandes Bremen mit seinen beiden Städten Bremerhaven und Bremen. Zwischen den beiden Städten gibt es leichte Unterschiede, die in der Tabelle dargestellt sind.

Aufgrund der nördlicheren und meernäheren Lage treten die phänologischen Entwicklungsphasen im Stadtgebiet von Bremerhaven bis in den Herbst hinein im Mittel zwei bis drei Tage später ein als im bremischen Stadtgebiet. Im Herbst nivelliert sich der Unterschied. Der Entwicklungsunterschied bleibt auch beim Vergleich der beiden Perioden 1961 – 1990 und 1991 – 2020 erhalten.

Allgemeiner Trend

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



Hitzestress in der Tierhaltung

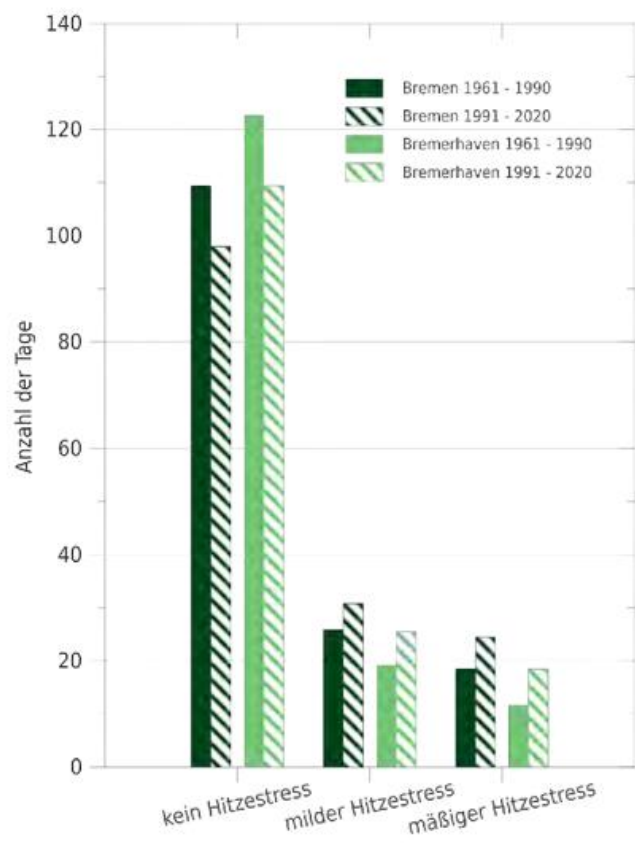
Hohe Temperaturen können bei Nutztieren, vor allem in der Stallhaltung, zu einem gesundheitlichen Risiko werden. Dieser Hitzestress wird bei der Milchviehhaltung mit Hilfe des THI (Temperatur-Luftfeuchtigkeit-Index) beschrieben.



Hohe Lufttemperaturen bei gleichzeitig hoher Luftfeuchtigkeit können negative Auswirkungen auf das Wohlbefinden und die Gesundheit von Nutztieren haben und in Extremfällen zu erhöhten Tierverlusten führen. Die Tiere zeigen deutliche Signale der Be- oder Überlastung.

Vor allem Milchkühe reagieren sehr sensibel auf Hitzestress, weshalb alles unternommen werden sollte, um die Hitzebelastung möglichst gering zu halten. Die Komforttemperatur liegt bei Milchkühen in einem Bereich von ca. 0 bis 17 °C. Mit steigender Umgebungstemperatur wird die Kuh in ihrer Anpassungsfähigkeit stark gefordert. Die Kuh versucht Körperwärme abzugeben, indem sie durch verstärktes Atmen oder Schwitzen die Verdunstung steigert. Aber die Luftfeuchte begrenzt die Wärmeabgabe durch Verdunsten.

▼ Anzahl der Tage ohne, mit mildem oder mäßigem Hitzestress in Bremen und Bremerhaven. Es werden je die Monate Mai bis September betrachtet und zwei vieljährige Zeiträume verglichen. Datenbasis: Gebietsmittel des DWD.



▼ Gruppierung der einzelnen Indexwerte

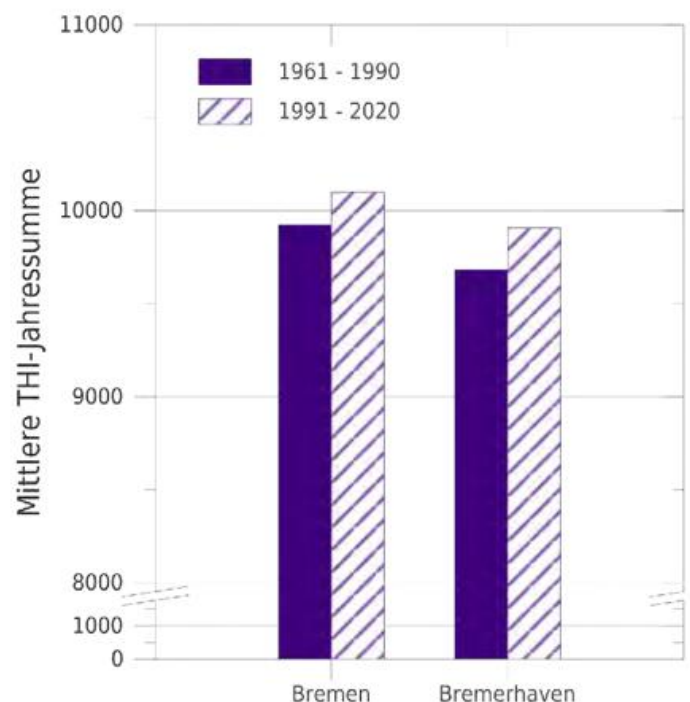
THI - Werte	Bedeutung
≤ 68	kein Hitzestress
> 68 bis ≤ 72	milder Hitzestress
> 72 bis ≤ 80	mäßiger Hitzestress
> 80 bis ≤ 90	starker Hitzestress
> 90	extremer Hitzestress

Unter Hitzestress wird der Stoffwechsel von Milchkühen zusätzlich beansprucht, vermehrtes Stehen belastet die Klauen. Eine sinkende Futteraufnahme führt zudem zu einem Energiedefizit und schwächt das Immunsystem der Kuh. Vor allem bei länger anhaltenden Hitzeperioden kann dies zu einem vermehrten Auftreten von Faktorenkrankheiten wie Mastitis, Stoffwechsel- und Fruchtbarkeitsstörungen führen.

Um den Hitzestress bei Rindern und hier speziell beim Milchvieh einschätzen und konkrete Maßnahmen ergreifen zu können, wurde in den USA der TH-Index (Temperature-Humidity-Index = Temperatur-Luftfeuchtigkeits-Index, THI) - entwickelt. Der THI wird mit Hilfe eines Modells berechnet und bezieht sich immer auf die Temperatur der Außenluft.

Der THI wird im Jahr im Zeitraum Mai bis September (153 Tage) eines Jahres als Tageswert bestimmt. Der Tageswert ist dabei der höchste Wert der 24 Stundenwerte des jeweiligen Tages. Klimatologisch gibt es unterschiedliche Auswertemöglichkeiten. Einerseits wurde die Summe aller Tageswerte in der jeweiligen Jahressaison gebildet und daraus konnten dann langjährige Mittelwerte der Klimareferenzperiode 1961 - 1990 und der aktuellen Klimanormalperiode 1991 - 2020 gebildet und verglichen werden. Es zeigt sich, dass die thermische Belastung für die Tiere im Zeitraum 1991 bis 2020 gegenüber der vorherigen Periode deutlich zugenommen hat. Dabei sind in Bremerhaven insgesamt geringere THI-Summen verzeichnet worden als in der Stadt Bremen.

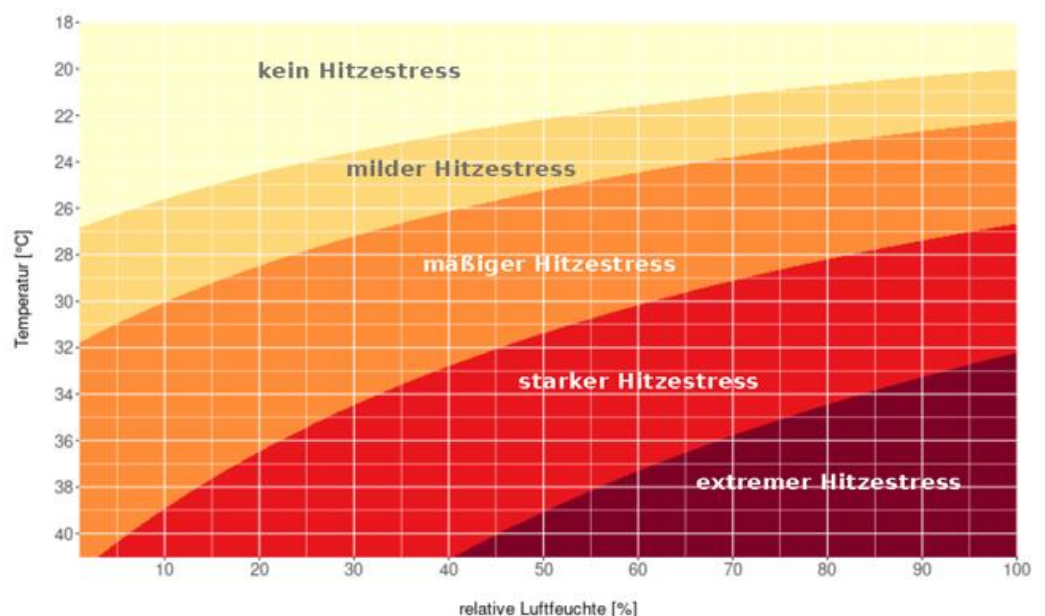
Eine weitere Möglichkeit ist die Auswertung der Anzahl der Tage mit den einzelnen Hitzebelastungsklassen. Hier kann erkannt werden, dass in Bremen die Anzahl der Tage ohne Hitzestress von 109 (72 %) auf 98 (66 %) zurückgegangen ist. Demgegenüber nahm die Anzahl der Tage mit mildem Hitzestress um fünf Tage zu und auch der mäßige Hitzestress ist nunmehr an durchschnittlich sechs weiteren Tagen zu spüren. Starker Hitzestress für das Milchvieh tritt im Bundesland Bre-



▲ Vergleich der mittleren THI-Jahressummen in Bremen und Bremerhaven der Klima-Referenzperiode 1961 - 1990 und der aktuellen Klimanormalperiode 1991 - 2020.

men höchstens an einem oder zwei Tagen in der jeweiligen Saison auf. Eine leicht zunehmende Tendenz ist auch dabei zu erkennen. Extremer Hitzestress für Rinder ist in Bremen seit 1961 noch nicht aufgetreten.

▼ Hitzestress für Rinder. Darstellung der Temperatur-Luftfeuchte-Relation zur Festlegung der Klassen des Temperature-Humidity-Index (THI).



Extremereignisse

Markante Situationen bleiben im Gedächtnis. Ein verheerender Orkan, extreme Hitze oder eine katastrophale Sturmflut: Extremereignisse können große Zerstörungen anrichten und sind häufig Ursache für menschliches Leid. Was sind Extremereignisse, wie hat sich die Häufigkeit von Extremen in der Vergangenheit entwickelt und welche Veränderungen sind in Zukunft zu erwarten?



▲ Sonnenuntergang in Bremerhaven am 29. April 2024.

Extrem = selten

Extremereignisse sind Ereignisse, die selten auftreten und sich deutlich von normalen Zuständen unterscheiden. Einige bekannte Beispiele aus der Vergangenheit sind die Sturmflut vom 31. März 1845, bei der die Siedlung Rungholt im nordfriesischen Gebiet unterging, sowie das Jahr 1816 nach dem Ausbruch des Vulkans Tambora, welches als Jahr ohne Sommer bekannt ist.

Auch aus der näheren Vergangenheit sind Extremereignisse in Erinnerung. In vielen Köpfen sind beispielsweise die Hochwasser entlang der Elbe in den Jahren 2002 und 2013 präsent. Beide Fluten wurden durch sehr hohe Niederschlagsmengen ausgelöst. In Erinne-

rung sind auch, die bis dato einmalige, Hitzewelle im Juli 1994 oder die Stürme Anatol (1999) und Christian (2013) sowie das aufeinanderfolgende Sturmtrio Ylenia, Zeynep und Antonia im Februar 2022.

Durch eine gefühlte Häufung der Extremwetterereignisse steht berechtigterweise eine Frage im Raum: Was erwartet uns mit dem Klimawandel zukünftig? 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 häufig kaum länger. Die statistische Erfassung eines extremen Ereignisses ist auf dieser Skala daher nicht einfach.

Temperatur

In den vergangenen Jahrzehnten ist die durchschnittliche Temperatur signifikant angestiegen. In der Folge treten nun häufiger Tage mit sehr hohen Temperaturen und längere Hitzeperioden auf. Das kleinste deutsche

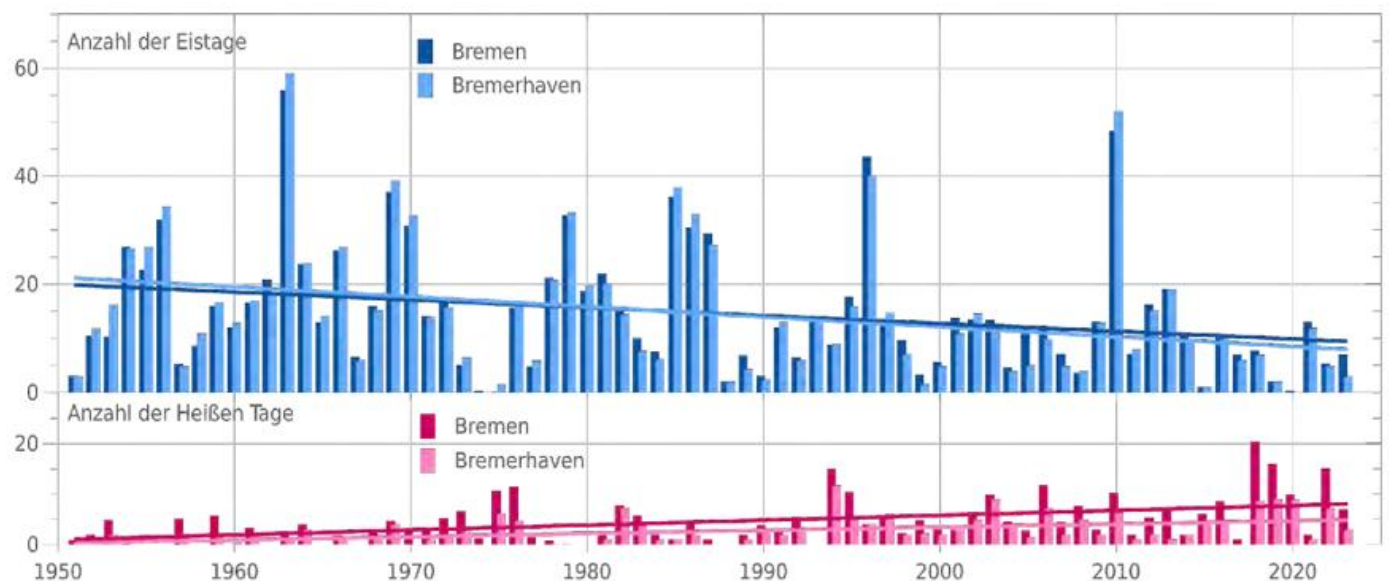
30 °C sowie die Eistage mit einer Tageshöchsttemperatur unter 0 °C. Die Anzahl der Heißen Tage ist im Zeitraum von 1951 bis 2023 im Durchschnitt von unter einem Tag pro Jahr auf sieben Tage pro Jahr angestiegen. Das Maximum in Bremen wurde 2018 mit 20,4

Bremen				Bremerhaven			
Maximum [°C]	Datum	Minimum [°C]	Datum	Maximum [°C]	Datum	Minimum [°C]	Datum
37,6	09.08.1992	-23,6	13.02.1940	35,9	20.07.2022	-18,6	25.02.1956
37,4	25.07.2019	-22,1	20.02.1940	35,8	09.08.1992	-18,0	16.02.1956
37,0	20.07.2022	-21,8	11.02.1929	35,6	25.07.2019	-17,5	15.02.1956
36,8	04.07.2015	-21,6	27.01.1942	34,8	04.07.2015	-17,2	14.01.1987
36,3	07.08.2018	-21,1	16.02.1956	34,7	20.08.2009	-15,9	22.02.1956
36,2	20.07.2006	-20,6	04.01.1979	34,7	19.08.2012	-15,8	01.02.1954
36,1	21.08.1943	-20,5	23.02.1986	34,6	07.08.2018	-15,7	23.02.1956
35,8	12.08.2003	-20,4	22.01.1940	34,3	18.06.2002	-15,6	24.02.1956
35,8	19.07.2022	-20,2	05.02.1941	34,3	24.07.2019	-15,6	21.12.1981
35,6	04.08.2022	-19,9	25.02.1956	34,2	02.08.2013	-15,6	02.01.1997

▲ Die Top-10-Temperaturminima und -maxima von Bremen und Bremerhaven. Datenbasis: Stationswerte des DWD.

Bundesland verzeichnete als absolute Höchsttemperaturen 37,6 °C am 9. August 1992 an der Wetterstation in Bremen und 35,9 °C am 20. Juli 2022 in Bremerhaven. Die kältesten Tage liegen deutlich weiter zurück. In Bremen wurden am 13. Februar 1940 frostige -23,6 °C gemessen, während es in Bremerhaven am 25. Februar 1956 -18,6 °C waren. Zur klimatologischen Einordnung extremer Temperaturereignisse dienen die Kenntage (Abbildung unten). Dazu gehören die Heißen Tage mit einer Tageshöchsttemperatur von mindestens

Tagen verzeichnet, dicht gefolgt vom insgesamt sehr warmen Jahr 2019 mit 16 Heißen Tagen sowie 1994 und 2022 mit jeweils 15 Tagen. In Bremerhaven ist im selben Zeitraum ein Anstieg von 0 auf etwa 4,5 Heiße Tage erfolgt. Dieser geringere Anstieg ist der direkten Nordseenähe geschuldet. Das Jahr mit der höchsten Anzahl Heiße Tage war 1994 mit 11,7 Tagen. Mehr als zehn Heiße Tage wurden im betrachteten Zeitraum in Bremen insgesamt neunmal, in Bremerhaven nie verzeichnet.



▲ Anzahl der Eistage (Tageshöchsttemperatur < 0 °C) und Anzahl der Heißen Tage (Tageshöchsttemperatur ≥ 30 °C) von 1951 bis 2023 sowie die linearen Trends in Bremen und Bremerhaven. Datenbasis: Gebietsmittelmerte des DWD.

Auffällig ist, dass die meisten Heißen Tage in den vergangenen drei Dekaden liegen.

Gegenläufig verhält sich die Entwicklung der Eistage. Diese sind im Zeitraum von 1951 bis 2023 in Bremen um durchschnittlich 10,1 Tage, in Bremerhaven um 10,4 Tage zurückgegangen. Die meisten Eistage gab es in beiden Orten 1963: In Bremen wurden 55,9 Tage, in Bremerhaven 59,2 Tage registriert. Mehr als 30 Eistage gab es in Bremen und Bremerhaven jeweils neunmal, nach 1995 allerdings nur ein einziges Mal. Auch zukünftig wird es Jahre geben, in denen Eistage gehäuft auftreten. Allerdings werden diese Jahre voraussichtlich seltener als in der Vergangenheit vorkommen.

Mehrtägige Hitzeperioden beeinflussen den Menschen und haben zum Teil erhebliche negative Folgen für die Gesundheit. Wetterlagen, die hohe Temperaturen, hohe Luftfeuchte, geringe Windgeschwindigkeit, intensive Sonneneinstrahlung und geringe nächtliche Abkühlung aufweisen, können zu hitzebedingten Erkrankungen führen. Hitzewarnsysteme stützen sich auf die jeweils aktuellen Wettervorhersagen, um Episoden mit hoher Wärmebelastung zu prognostizieren. Seit 2005 betreibt der DWD ein Hitzewarnsystem, um die Auswirkungen möglichst gering zu halten. 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 Hitzebelastung heraus.

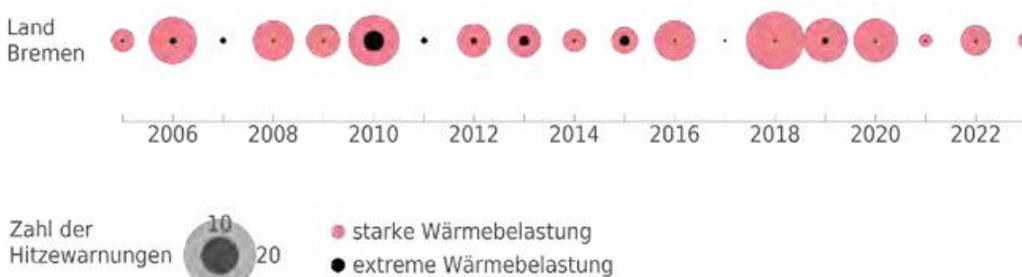
In den Jahren 2010 und 2018 wurden im Land Bremen die meisten Hitzewarnungen ausgesprochen. Die höchste Anzahl an Warnungen vor extremer Wärmebelastung fiel in das Jahr 2010 mit fünf Warnungen. Aufgrund des kurzen Zeitraums ist im Bereich Zahl der Hitzewarnungen bislang kein Trend erkennbar.

Durch die bereits vorhandene und weiter fortschreitende Erwärmung dürften hohe Temperaturen jenseits der 30-Grad-Marke auch im Land Bremen zukünftig noch häufiger auftreten. Diese werden oft mit länger anhal-



tenden Hitzeperioden verbunden sein. Die Ergebnisse der regionalen Klimaprojektionen geben hier klare Indizien. Eine belastbare Abschätzung, welche Spitzentemperatur zukünftig auftreten kann, gibt es bisher nicht.

In Zeiten globaler Erwärmung stellt sich die Frage, wie die Chancen auf kalte Winter im Land Bremen stehen. In Norddeutschland werden Kältephasen durch längere Witterungsperioden, die durch arktische oder eurasische Kaltluftzufuhr geprägt sind, hervorgerufen. Wie sich die Wahrscheinlichkeit für derartige Witterungssituationen vor dem Hintergrund eines häufiger eisfreien, arktischen Küstengewässers entwickeln wird, ist Gegenstand aktueller Forschung. Grundsätzlich schwächt sich aber die Intensität solcher Witterungsverhältnisse durch die globale Erwärmung ab.



◀ Vom DWD ausgegebenen Hitzewarnungen im Zeitraum 2005 bis 2023 für das Land Bremen.



Bremens Parkgewässer im Klimawandel - Hin zu einem klimaangepassten Kleingewässermanagement durch das Projekt „KlimPark“

Bremens Kleingewässer sind ein beliebtes Naherholungsziel und für die Biodiversität in der Stadt von großer Bedeutung. Mit zunehmenden Trocken- und Hitzeperioden durch den Klimawandel leisten sie zudem einen wichtigen Beitrag, um unsere Stadt zu kühlen. Jedoch belasten heiße Tage und extreme Trockenheit gleichzeitig die meist sehr flachen und durch ihre Lage in Grünanlagen viel Laubeintrag ausgesetzten Teiche und Gräben. Durch die intensive Erwärmung können die Gewässer weniger Sauerstoff aufnehmen. Außerdem werden Umsetzungsprozesse beschleunigt und es kommt zu einer erhöhten Verschlämmung sowie einer sauerstoffzehrenden Nährstoffmobilisierung aus den Sedimenten. Durch niedrige Wasserstände während Hitze- und Trockenperioden wird die Situation noch verschärft, da sich Nährstoffe im Wasser aufgrund einer geringeren Verdünnung anreichern. Dadurch kann es zu einer verschlechterten Wasserqualität mit extremen Algenwachstum und erheblichen Sauerstoffdefiziten in den Kleingewässern kommen, was wiederum ein Fischsterben oder Belastung der Lebensbedingungen der aquatischen Flora und Fauna herbeiführen kann.



▲ Der Teich im Friedhof Riensberg – ein typisches Bremer Kleingewässer, welches auch zu den 31 im Projekt KlimPark untersuchten Fokusgewässern zählt.

Mit dem Projekt Klimaangepasste Parkgewässer (KlimPark) baut das Bremer Umweltressort auf die 2018 beschlossene Klimaanpassungsstrategie und die Schlüsselmaßnahme „Klimaangepasste Gestaltung und Unterhaltung von Gewässern“ auf. Das Projekt rückt die zuvor weniger beachteten Park- und urbanen Kleingewässer in den Fokus. Konkret werden Teiche und Gräben untersucht, Pilotmaßnahmen entwickelt und umgesetzt, die Bevölkerung eingebunden und ein ge-



▼ Untersuchung der Wasserqualität des Waller Park Sees im Rahmen des Projekts KlimPark.



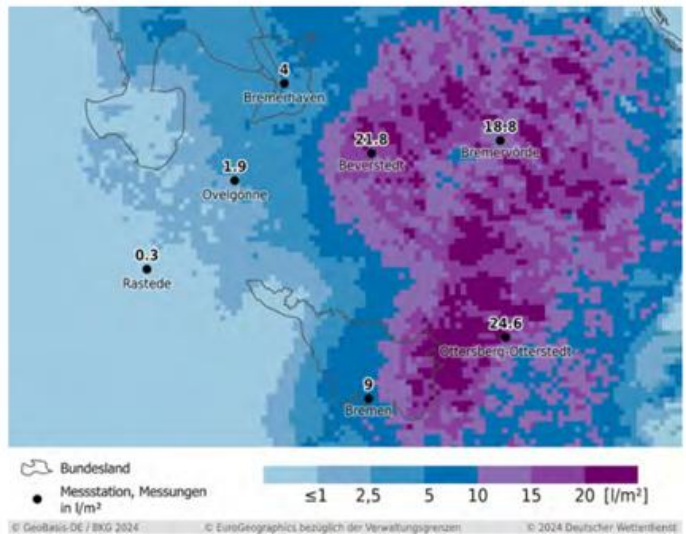
samtstädtisches Handlungskonzept für ein klimaangepasstes Kleingewässermanagement erarbeitet, um die Bremer Kleingewässer fit für die Klimakrise zu machen. Das veränderte Management berücksichtigt einerseits die ökologischen Herausforderungen, andererseits wird auch das Potenzial für eine qualitativ unbedenkliche Aufnahme von Niederschlagswasser bei Starkregenereignissen ausgelotet. Ziel ist eine Starkregenvorsorge und gleichzeitig trockenheitsbedingten niedrigen Wasserständen der Gewässer entgegenzuwirken. Im Projekt werden u. a. innovative technische Verfahren wie eine Gewässersanierung mittels linearer Belüftung und Sedimentkonditionierung an Pilotgewässern erprobt. Durch Gründung eines Kooperationsforums wird die institutionelle Zusammenarbeit der verschiedenen Akteure im Kleingewässermanagement gestärkt. Durch eine Citizen Science Initiative werden auch Bürgerinnen und Bürger und v. a. Schülerinnen und Schüler gegenüber Klimafolgen und Anpassungsnotwendigkeiten an den Gewässern sensibilisiert. Gleichzeitig leisten diese einen Beitrag zum regelmäßigen Kleingewässermonitoring, um Anpassungs-/Sanierungsbedarfe an den Gewässern künftig besser priorisieren zu können. Das Projekt „KlimPark: Klimaangepasste Parkgewässer - Handlungskonzept zum klimaangepassten Management von Parkgewässern in Bremen“ (2022 – 2025) wird gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz.

Weitere Informationen zum Projekt KlimPark unter www.klimapark-bremen.de.

Niederschlag

Niederschlagsextreme sind auf verschiedenen Zeitskalen von Bedeutung und stellen eine Vielzahl von Herausforderungen dar. Intensive Starkregenfälle können innerhalb kurzer Zeit (Minuten bis Stunden) Straßen oder Felder in reißende Wasserströme verwandeln. Sie verursachen lokale, oft plötzlich auftretende Überschwemmungen und belasten in Städten und Dörfern die Kanalisation. Auf dem Land führen Starkregenfälle zu erosionsbedingten Schäden durch den Verlust fruchtbaren Bodens auf den Feldern und dessen Eintrag in Siedlungsräume.

In der Klimareferenzperiode 1961 – 1990 sind in Bremen im Mittel jährlich 717 l/m^2 und in Bremerhaven 742 l/m^2 Niederschlag registriert worden. In der aktuellen Klimanormalperiode 1991 – 2020 verzeichnen beide Städte mit 729 l/m^2 in Bremen und in Bremerhaven 771 l/m^2 eine Zunahme des vieljährigen Mittels. Der höchste Jahresniederschlag fiel in Bremen mit $1077,4 \text{ l/m}^2$ im Jahr 2023, gefolgt von 2002 mit $1038,1 \text{ l/m}^2$. In Bremerhaven war 2023 das niederschlagreichste Jahr mit $1070,7 \text{ l/m}^2$, 1998 belegt mit $1063,8 \text{ l/m}^2$ den zweiten Platz. Neben den besonders nassen Jahren, gab es auch die, in denen im Vergleich sehr wenig Niederschlag fiel. Mit nur $431,2 \text{ l/m}^2$ in Bremen und $468,3 \text{ l/m}^2$ in Bremerhaven war das Jahr 1959 außergewöhnlich trocken. Häufig sind einzelne Extremereignisse für hohe Jahressummen verantwortlich. So wurde die höchste Tagessumme in Bremen seit 1890 am 12. August 1964 mit $78,5 \text{ l/m}^2$ gemessen und in Bremerhaven mit $70,5 \text{ l/m}^2$ am 8. August 2002.



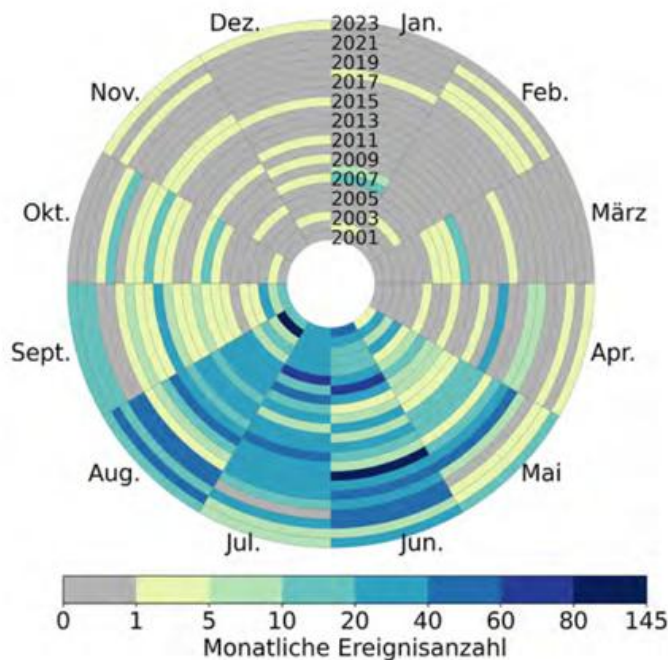
▲ Starkregenereignis: In der Nacht vom 20.06.2023, 23:50 Uhr, zum 21.06.2023, 00:50 Uhr, entwickelten sich in schwülwarmer Luft Schauer und Gewitter, die räumlich eng begrenzt zu hohen Niederschlagsmengen führten. Die Bodenmessstationen liefern exakte Angaben zu den lokal gefallenen Regenmengen, Radarbilder zeigen die flächendeckende Verteilung des Niederschlags. Im RADOLAN-Verfahren werden beide Informationen kombiniert. Punkte: Automatische Niederschlagsstation, Tagessumme des Niederschlags in l/m^2 ; farbiges Raster: Stundensumme des Niederschlags in l/m^2 aus RADOLAN. Größe der Rasterzellen $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$.

fasste und von den Niederschlagsstationen nicht registriert wurde. Um solch hohe Mengen in so kurzer Zeit zu erreichen, müssen verschiedene meteorologische Faktoren zusammenspielen. Lokal sind starke Hebungsprozesse erforderlich, die zu einem Ausfallen der Luftfeuchtigkeit führen, sowie die Fähigkeit warmer Luftmassen, mehr Feuchtigkeit aufzunehmen. Die großräumige Wetterlage muss zudem eine kontinuierliche Zufuhr warmer und feuchter Luftmassen gewährleisten. Zieht dann die Luftmasse nur langsam oder gar nicht ab, führt das zu anhaltenden Niederschlägen. Dies erklärt, warum Niederschlagsereignisse im Sommer tendenziell intensiver ausfallen können als im Winter. In Bremen und Bremerhaven treten solche Ereignisse insbesondere zwischen Mai und August auf, wie die Abbildung auf Seite 49 zeigt. 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 waren auch mitgeführte Sedimente, die zu irreparablen Verschmutzungen führen können, problematisch. Die Entfernung von hart gewordenem Schlamm nach solchen Ereignissen gestaltet sich besonders mühsam.



In Erinnerung blieben die Starkregenfälle in den Nachtstunden des 20. Juni 2023. Im Osten von Bremen fielen innerhalb einer Stunde über 20 l/m^2 . Die kombinierte Karte aus Mess- und Radardaten (rechts oben) zeigt dieses Ereignis. Es ist ersichtlich, dass der Niederschlag nicht das gesamte Stadtgebiet er-

▼ Alle Stark- und Dauerregenereignisse (Dauerstufen 1 bis 72h) für die einzelnen Monate, die das Land Bremen und Niedersachsen 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.



Die Notwendigkeit von Forschung im Bereich Starkniederschlag ist hoch, da die Anforderungen an quantitative Angaben zu großen bis außergewöhnlichen Niederschlagsmengen für praxisrelevante Zielsetzungen aufgrund der Klimawandelthematik gestiegen sind.

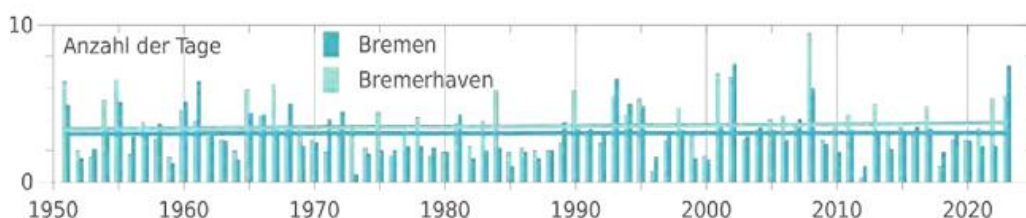
Starkniederschlagsereignisse, die für verschiedene Szenarien relevant sind, können lokale, kurzzeitige und intensiv auftretende Niederschläge sowie langanhaltende und ausgedehnte Niederschläge mit erheblichen Gesamtmengen umfassen. Beispielsweise wird die Häufigkeit von Niederschlägen mit einer Dauer von 15 Minuten als wichtige Kennzahl für die Siedlungsentwässerung betrachtet. Für das Risikomanagement von Flusshochwassern sind hingegen Niederschläge mit einer Dauer von 12 Stunden oder länger von Bedeutung. Dem identifizierten Forschungs- und Entwicklungsbedarf sowohl für das Risikomanagement der Siedlungs-

entwässerung als auch für den Umgang mit Flusshochwassern muss weiterhin nachgekommen werden.

Seit den 2000er Jahren ist es dank Fernerkundungsmethoden wie dem DWD-Wetterradarverbund möglich, Niederschläge flächendeckend zu erfassen, einschließlich lokaler und kurzzeitiger hoher Intensitäten. Obwohl dieser Zeitraum von nunmehr gut zwei Dekaden aus klimatologischer Sicht noch relativ kurz ist, bietet er bereits wertvolle Daten. Die Analyse der Nutzbarkeit dieser Daten steht jedoch noch am Anfang.

Bis zum Jahr 2000 stellten die Messdaten der Bodenniederschlagsstationen 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 unten auf dieser Seite zu sehen. Wir nehmen an, dass die Messung an einer Station einer Stichprobe entspricht. Nehmen wir die Mittel aller Stationen, wie es bei der Bildung des Mittelwertes über die Fläche des Landes gemacht wird, so ist die Auswertung auf Basis der großen Menge der Stichprobenwerte statistisch belastbarer. Die größte Anzahl derartiger Starkregenereignisse trat im Flächenmittel von Bremen im Jahr 2002 mit 7,5 Tagen und in Bremerhaven 2008 mit 9,5 Tagen auf. Bisher ist in jedem Jahr mindestens ein Tag mit Starkregen aufgetreten. Der lineare Trend seit 1951 bis heute von einem zusätzlichen Starkregentag ist nur begrenzt aussagefähig. In der Klima-Referenzperiode 1961 – 1990 wurden im Stadtgebiet Bremen durchschnittlich 2,7 Tage pro Jahr beobachtet, in Bremerhaven waren es mit 3,3 Tagen erwartungsgemäß etwas mehr. Verglichen mit der aktuellen Klimanormalperiode 1991 – 2020 stieg der Wert in Bremen auf 3,3 Tage pro Jahr und in Bremerhaven auf 3,7. Eine Aussage über einen linearen Trend seit 1951 bis heute ist kaum aussagefähig. Generell ist bei einem derart geringen Auftreten Vorsicht bei der Interpretation geboten.



◀ Anzahl der Tage mit mindestens 20 l/m² Niederschlag sowie die linearen Trends im Zeitraum 1951 bis 2023. Datenbasis: Gebietsmittelwerte des DWD.



▲ Regenwolken über Bremerhaven.

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 im Land Bremen

Die Untersuchung von Starkniederschlagsereignissen wird auch im Land Bremen zukünftig an Bedeutung gewinnen. Diese Ereignisse, die besonders in den Sommermonaten mit heftigen Gewittern auftreten, können örtlich begrenzte schwere Überflutungen und damit erhebliche Schäden verursachen. Das Land trägt hier die Verantwortung für die Daseinsvorsorge und den vorbeugenden Katastrophenschutz. Die Starkregenwarnungen des DWD stellen dabei eine entscheidende Informationsquelle dar. Sie umfassen Warnungen vor markantem Wetter und Unwetter, die sowohl kurzfristige intensive Regenfälle (Starkregen) als auch längere Regenereignisse (Dauerregen) berücksichtigen.

▼ 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 beeinflusst 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 flache und nur wenig höhenmäßig strukturierte Landschaft, die ein schnelles Abfließen von Starkregen nicht fördert, sondern das Wasser am Ort des Niederschlags hält.





Im erwähnten Starkregenforschungsprojekt zusammen mit dem GDV zeigte sich: Extreme Regenfälle haben zwischen 2002 und 2017 über 5200 Schäden an Wohngebäuden im Land Bremen verursacht. Insgesamt verursachten 22 Starkregenfälle im kleinsten Bundesland 18,5 Millionen Euro Schaden.

Gerade die kurzen, heftigen Niederschläge verursachen besonders häufig hohe Schäden. Diese extremen Niederschläge werden im Land schließlich über die Weser in die Nordsee abgeführt. Daher spielt für die Entwässerung der Außenwasserstand der Nordsee 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 jedoch erhebliche Schäden an der Infrastruktur und Verluste in der Landwirtschaft verursachen können. Aufgrund ihrer begrenzten Ausdehnung und der begrenzten Beobachtung konnten nicht alle Ereignisse in der Vergangenheit erfasst werden. Um diese Informationslücke zu schließen, werden seit 2001 verfügbare Radardaten verwendet. Die Ergebnisse zeigen, dass im Süden Deutschlands pro Jahr mehr Hagelereignisse auftreten als im Norden. Es ist jedoch nicht möglich, basierend auf den vorhandenen Beobachtungsdaten Entwicklungstendenzen für die Anzahl der Hagelereignisse zu bestimmen. Alternativ können Daten verwendet werden, die indirekt auf Hagelfälle hinweisen, wie Konvektionsparameter, die das Potenzial für Gewitter- und Hagelbildung beschreiben. Statistische Analysen dieser Parameter zeigen eine leichte Zunahme des Potenzials in den letzten 20 bis 30 Jahren.

Die räumliche Auflösung der derzeit verwendeten regionalen Klimamodelle reicht noch nicht aus, um Hagel direkt zu modellieren. Hagel wird daher nur grob über Parametrisierungen abgeschätzt, was bedeutet, dass keine Aussagen über zukünftige Trends möglich sind. Analysen des Konvektionspotenzials zeigen für den kurzfristigen Planungshorizont keine einheitliche Tendenz.





Durch Reallabore und Partnerschaften zur Starkregen- und Sturmflutvorsorge - Ergebnisse aus dem Projekt „BRESilient - Klimaresiliente Zukunftsstadt Bremen“



KLIMARESILIENTE
ZUKUNFTSSTADT BREMEN



▲ Sturmflut in Bremen - Das Wasser der Weser nagt an der Verwallung der Pauliner Marsch, welche ein deutlich niedrigeres Schutzniveau bietet als die Hauptdeiche. Durch den Meeresspiegelanstieg werden künftig höhere Sturmflutwasserstände erwartet, welche eine Überflutung des Gebiets Pauliner Marsch und Im Suhrfelde zur Folge haben könnten.

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Verbundprojekt „BRESilient - Klimaresiliente Zukunftsstadt Bremen“ (2017 - 2023) hatte zum Ziel, gemeinsam mit Bürgerinnen und Bürgern sowie weiteren relevanten Akteuren aus Wirtschaft, Wissenschaft, Politik, Verwaltung und Zivilgesellschaft in verschiedenen Modellbereichen konkrete Anpassungsmaßnahmen zum Umgang mit Klimawandelfolgen zu entwickeln und umzusetzen.

Im Fokus standen u. a. zwei Pilotgebiete, die aufgrund ihrer exponierten Lage im besonderen Maße von Klimawandelfolgen betroffen sind: Das beliebte Naherholungsgebiet Pauliner Marsch & Im Suhrfelde liegt vor dem Deich im Herzen Bremens und ist nur durch eine Verwallung vor Hochwasser geschützt. Bei schweren Sturmfluten kann die Weser über die Verwallung treten und fast die gesamte Fläche bis zu mehreren Metern hoch überfluten. Durch den Klimawandel steigt die Hochwassergefährdung woraus sich ein großer Bedarf an einer Hochwasserrisikovorsorge insbesondere für die vielen ansässigen Sport- und Kleingartenvereine ergibt. Im Überschwemmungsgebiet Blumenthaler

Aue und Beckedorfer Beeke in Bremen-Nord fließen zwei kleinere Gewässer bei der historischen Burg Bloemendal in einer Senke zusammen. Durch den Klimawandel häufiger zu erwartender Starkregen kann hier zu schwer vorhersagbarem Hochwasser durch Sturmfluten mit Überschwemmungen des Burggeländes führen. Gefährdet sind u. a. auch die Besucher:innen der Burg und eine Kindertageseinrichtung.

Mit dem Ziel das Schadenspotential zu verringern, wurden für beide Gebiete zunächst Situations- und Gefährdungsanalysen durchgeführt, welche die Kenntnis über den Ist-Zustand der Modellgebiete (Flächennutzung, vorhandene Infrastruktur, Hochwassergefährdung, betroffene Stakeholder, etc.) erheblich verbesserten. Daraufhin wurden in Reallaborworkshops mit betroffenen Akteuren Maßnahmenvorschläge für Anpassungsmaßnahmen zur Sturmflut- bzw. Starkregenvorsorge für die Gebiete gemeinsam erarbeitet und priorisiert. Diese wurden im weiteren Projektverlauf in Form konkreter Kooperations-, Beratungs- und Kommunikationsinstrumente umgesetzt, um bei den betroffenen Akteuren langfristig das Risikobewusstsein zu



▲ Überschwemmung auf Burg Blomendal. Bei Starkregen kommt es hier immer wieder zu Hochwasser der Gewässer Blumenthaler Aue und Beckedorfer Beeke. Durch das Projekt BRESilient wurden Maßnahmen erarbeitet, um das Schadensrisiko für die Nutzenden der Burganlage zu minimieren.

stärken, für Anpassungsnotwendigkeit zu sensibilisieren und die private Eigenvorsorge zu unterstützen. Für beide Modellgebiete wurde eine Partnerschaft initiiert (Sturmflutpartnerschaft Pauliner Marsch & Im Suhrfelde bzw. Starkregenpartnerschaft Blumenthaler Aue) mit regelmäßigen Treffen zwischen den Stakeholdern (Anwohnerinnen und Anwohner, Vereine und Nutzerinnen und Nutzer der Gebiete) und der für den Hochwasserschutz zuständigen Bremer Umweltbehörde.

Mit dem in Deutschland bisher einzigartigen Instrument der Sturmflutpartnerschaft dieser Art sowie der Starkregenpartnerschaft wurde eine nachhaltige Zusammenarbeit und ein wechselseitiger Informationsfluss mit den betroffenen Akteuren der jeweiligen Gebiete bei der Hochwasservorsorge etabliert und dauerhaft verstetigt sowie das Risikobewusstsein der Stakeholder weiter gestärkt. Auch nach Projektende werden sich die Partner mindestens einmal im Jahr zur Hochwasservorsorge austauschen und weiter zusammenarbeiten.

Durch im BRESilient-Projekt erstellte Websites, Broschüren und Informationstafeln in den Modellgebieten mit Informationen und Handlungsempfehlungen zur Starkregen- bzw. Sturmflutvorsorge wurde die Eigenvorsorge der betroffenen Personen in den gefährdeten Gebieten weiter gestärkt. Diese Kommunikationsinstrumente bleiben nach Projektabschluss bestehen und sollen zudem, wie in einem Transferkonzept skizziert, auf weitere Bremer Gebiete übertragen werden. Zudem wurde ein Starkregen-Kurzfristvorhersagesystem für

das Gebiet der Blumenthaler Aue entwickelt, welches Nutzer:innen und Anwohner:innen frühzeitig benachrichtigt und ihnen akute Eigenvorsorge ermöglicht. Objektschutzberatungen zu den Gebäuden und Außenflächen von sieben Sport- und Kleingartenvereinen im Gebiet Pauliner Marsch & Im Suhrfelde sowie der Burg Blomendal ergaben detaillierte Anhaltspunkte über die konkrete Gefährdungslage und die Möglichkeiten einer effizienten Schadensvermeidung. Außerdem wurden im Rahmen einer Machbarkeitsstudie hydraulische Modellierungen durchgeführt, die zeigen, durch welche Maßnahmen eine schnellere Entwässerung der Gebiete nach einer Überflutung erreicht werden könnte.

Befragungen bei den teilnehmenden Akteuren bestätigten eine hohe Wirksamkeit der umgesetzten Maßnahmen zur Steigerung der Klimaresilienz. So steigerten die umgesetzten Beteiligungsformate bei den Teilnehmenden z. B. das Wissen über Risiken und Anpassungsmöglichkeiten und die Motivation im Rahmen ihrer Möglichkeiten Maßnahmen zur Vorsorge gegenüber Überschwemmungen umzusetzen bzw. diese zu unterstützen. Weitere Informationen zum Projekt BRESilient unter www.bresilient.de.

▼ Interessierte Bürgerinnen und Bürger erarbeiten gemeinsam mit Vertreterinnen und Vertretern aus Forschung, Verwaltung und Wissenschaft Maßnahmen zur Starkregenvorsorge für das überschwemmungsgefährdete Gebiet Blumenthaler Aue. Der Austausch wird im Rahmen einer Starkregenpartnerschaft Blumenthaler Aue regelmäßig fortgeführt.



Projekt KLAS - Eine KLimaAnpassungsStrategie an Extreme Regenereignisse für die Stadtgemeinde Bremen

www.klas-bremen.de



▲ Extremes Regenereignis im August 2011 in Bremen.

Mit dem Projekt KLAS, das seinen Beginn nach extremen Regenereignissen im Jahr 2011 hatte, blickt die Stadtgemeinde Bremen auf mehr als zehn Jahre Aktivitäten zur Starkregenvorsorge zurück. Als sogenanntes „kommunales Leuchtturmvorhaben“ zur Klimaanpassung wurde das Projekt KLimaAnpassungsStrategie Extreme Regenereignisse (KLAS) von 2012 bis 2014 im Rahmen eines Förderprogramms der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel vom Bundesumweltministerium gefördert (FKZ: DAS 03DAS005).

Darauf folgten zwei Anschlussförderungen für das Projekt KLAS durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt zur Entwicklung lösungsorientierter Produkte zum Schutz der Umwelt (2015 - 2017, Az.: 32372/01; 2018 - 2021, Az.: 32372/02).

Mithilfe der Projektförderungen und den Kooperationspartnern konnte eine integrierte Starkregenvorsorgestrategie für Bremen ausgearbeitet und Instrumente für eine

langfristige Implementierung der Strategie entwickelt sowie erste Maßnahmen umgesetzt werden.

Die Starkregenvorsorge wird in Bremen im Kontext der Anpassung an den Klimawandel bearbeitet und als kommunale Gemeinschaftsaufgabe verstanden, d. h. es wird ganzheitlich, fachgebiets- und ressortübergreifend gearbeitet. KLAS ist daher ein Gemeinschaftsprojekt der Senatorin für Umwelt, Klima und Wissenschaft und aller relevanten Akteure aus der Stadtentwässerung, der Wasserwirtschaft, der Stadtplanung und Stadtentwicklung, des Straßenbaus und der Straßenunterhaltung, der Grünflächenplanung und -pflege, der Gefahrenabwehr, der Betreiber relevanter Infrastrukturen sowie der Bürgerinnen und Bürger bzw. entsprechender Informations- und Beratungsstellen.

Im Rahmen von KLAS wurde für Bremen eine integrierte Starkregenvorsorgestrategie ausgearbeitet, die dazu führen wird, dass die Auswirkungen von extremen Regenereignissen sukzessive minimiert werden. In der ersten Säule der Handlungsstrategie geht es um die Überflutungsvorsorge und ein Risikomanagement in Bereichen mit besonderem Überflutungsrisiko. Da-

▼ Runder Tisch der Projektbeteiligten



Überflutungsvorsorge und Risikomanagement



**„Wet-Spots“ im Blick:
Öffentliche Baumaßnahmen und
Schutz kritischer Infrastrukturen**

Wasser- und klimasensible Stadtentwicklung



**Schwammstadt im
„Huckepackverfahren“:
Berücksichtigung bei allen
Planungsverfahren**

Stärkung der Eigenvorsorge Privater



**Privat und Stadt- Hand in Hand:
Privater Objektschutz und
naturnahe Grundstücksgestaltung**

▲ Integrierte Starkregenvorsorgestrategie der Stadtgemeinde Bremen.

für werden, unter Beteiligung aller relevanter Stellen im Sinne der kommunalen Gemeinschaftsaufgabe, konkrete Baumaßnahmen umgesetzt.

Die zweite Säule der Strategie ist, dass in Bremen die Aspekte der Starkregenvorsorge und eines naturnahen Umgangs mit Niederschlagswasser im Sinne einer „wasser- und klimasensiblen Stadtentwicklung“ (Schwammstadt-Prinzip) bei allen Neubauvorhaben konsequent mitgedacht werden. Verwaltungsintern wurden die Verfahren dahingehend in den letzten Jahren geschärft. So wird erreicht, dass immer mehr Niederschlagswasser am Entstehungsort zurückgehalten und bewirtschaftet wird. So wird das Kanal- und Gewässersystem bei Starkregen langfristig entlastet, der naturnahe Gebietswasserhaushalt gefördert und nebenbei noch positive Effekte für die Heizvorsorge erreicht.

Die dritte Säule der Strategie ist die Eigenvorsorge der Grundstückseigentümerinnen und Grundstückseigentümer. Denn trotz aller Aktivitäten im öffentlichen Raum kann es im gesamten Stadtgebiet kleinteilig immer wieder zu Überflutungen von Gebäuden durch z. B. Rückstau oder ungeschützte Gebäudeöffnungen

kommen. Zur Unterstützung der Eigenvorsorge ist im Rahmen des Projektes KLAS u. a. das Starkregen-Vorsorgeportal für Bremen entwickelt worden (www.starkregen.bremen.de). Das Online-Portal veröffentlicht eine stadtgebietsweite Starkregenkarte, bietet die Möglichkeit, eine Detailauskunft zu den Überflutungsgefahren auf den jeweiligen Grundstücken zu beantragen sowie ein kostenloses Beratungsangebot vor Ort zu Überflutungsrisiken und Objektschutzmöglichkeiten.

▼ Extreme Regenereignisse im August 2011 in Bremen.



Wind

Was einige in Deutschland als stürmisch empfinden, ist im kleinsten Bundesland eine frische Brise, und die gibt es hier im Norden recht häufig. Sturm- und Orkanereignisse sorgen in Bremen und Bremerhaven regelmäßig für Gesprächsstoff. Die höchste Windspitze seit Aufzeichnungsbeginn wurde in Bremen während des Orkans Quimburga am 13. November 1972 mit 152,6 km/h gemessen, während sie in Bremerhaven am 23. Dezember 1954 mit 156,6 km/h erreicht wurde.

Im Februar 2022 ereignete sich eine Abfolge von Stürmen, nämlich Ylenia, Zeynep und Antonia. An der Messstation in Bremen registrierte der DWD eine Orkanböe von 117,4 km/h, in Bremerhaven erreichten die Böen mehr als 126 km/h. Die Folge waren umgestürzte Bäume, hohe Sachschäden sowie unzählige Einsätze für Rettungsdienste und Feuerwehren im ganzen Bundesland.

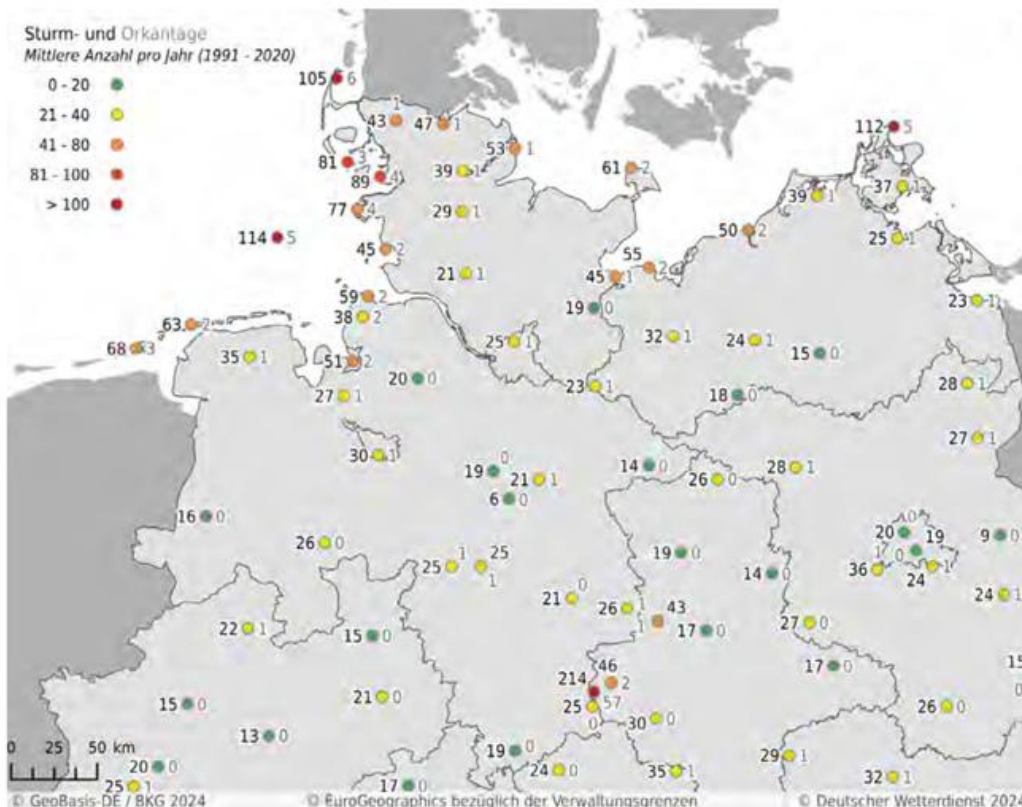
Markante Sturmereignisse wie 2022 beleben regelmäßig die Diskussion über mögliche Änderungen der Häufigkeit und Intensität von Stürmen oder generell über Langzeittrends der Windgeschwindigkeit. Die Antwort darauf gestaltet sich schwierig. Fast alle Windzeitreihen weisen Inhomogenitäten auf. Zudem sind die verfügbaren Zeitreihen meist nur einige Jahrzehnte lang – zu kurz, um beispielsweise Langzeittrends über 100 Jahre bestimmen zu können. Die besonders interes-



sierenden Stürme und Orkane sind seltene Ereignisse und damit nur mit möglichst langen, homogenen Zeitreihen statistisch zu bewerten.

Sturmtage

Sturmtage sind Tage, an denen Spitzenwindgeschwindigkeiten, von mindestens 62 km/h (Bft 8) gemessen werden. Ab Windstärke Bft 8 (stürmischer Wind) bewegt der Wind große Bäume, Zweige brechen ab und das Gehen wird erheblich behindert. Die See ist mäßig hoch mit ziemlich hohen Wellenbergen, Schaumstreifen und verwehten Wellenköpfen. Bei Sturmstärke (Bft 9) können Äste brechen, Ziegel von Dächern gehoben oder Gartenmöbel umgeworfen werden. Auf der See zeigen sich hohe Wellen mit verwehter Gischt, Brecher beginnen sich zu bilden.



◀ Mittlere Anzahl der Sturm- und Orkantage 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.

Letztendlich werden bei schwerem Sturm (Bft 10) beispielsweise Bäume entwurzelt oder Gartenmöbel weggeweht. Auf hoher See entstehen sehr hohe Wellen, weiße Flecken auf dem Wasser, lange, überbrechende Kämme und schwere Brecher. Eine Übersicht über Windgeschwindigkeiten gibt die „Beaufort-Skala“.



Unterschiede in den Häufigkeiten von Sturmereignissen lassen sich recht deutlich im kleinsten Bundesland erkennen. Bei Windstärken ab 117 km/h (Bft 12) sprechen Meteorologen von Orkan. Dabei besteht die Gefahr schwerer Verwüstungen. Die Abbildung auf der vorherigen Seite zeigt die mittlere Anzahl von Sturm- und Orkantagen pro Jahr in der Klimanormalperiode 1991 – 2020. Diese Tage verteilen sich sehr ungleichmäßig. Die meisten Sturmtage treten in Norddeutschland entlang der Küstenlinien von Nord- und Ostsee auf, die wenigsten im Binnenland. Erwartungsgemäß treten in Bremerhaven mit durchschnittlich 51 Sturm- und 2 Orkantagen pro Jahr fast doppelt so viele wie in Bremen mit 27 Sturmtagen und nur einem Orkantag pro Jahr auf.

Bremerhaven ist stärker gefährdet als Bremen, da am häufigsten an der Nordseeküste die höchsten Windspitzen verzeichnet werden. Aus den Ergebnissen der Klimaprojektionen ist für die Zukunft bei den Stürmen keine deutliche Änderung erkennbar.

Tornados

Als kurzlebige, räumlich stark begrenzte, rotierende Luftmassen unter einer konvektiven Wolke mit Bodenkontakt, die hohe Schäden verursachen, gehören Tornados zu den gefährlichsten und intensivsten Wettererscheinungen weltweit, auch in Norddeutschland. Mittlerweile werden mehr Tornados entdeckt als vor 20 Jahren. Dies lässt jedoch keine Rückschlüsse auf eine Zunahme ihrer Gesamtanzahl zu.

In einer Ära der Hochtechnologie und Digitalisierung ist es deutlich einfacher geworden, besondere Ereignisse mithilfe von Smartphones und dem Internet schnell zu dokumentieren und zu verbreiten. Dennoch bleiben schwächere Tornados, die nur geringfügige Schäden verursachen, oft unentdeckt. Regen oder

Hindernisse wie Wälder und Hügel beeinträchtigen die freie Sicht auf sie.

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.



▲ Wasserhose über der Nordsee am 10. Juli 2007.

Mehr als zehn Tornados wurden bestätigt, die direkten Einfluss auf Bremen und Bremerhaven hatten. Dabei wurde der erste Tornado mit unbekannter Stärke am 08. September 1773 in Dreye beobachtet. Der Ort liegt direkt an der Weser und grenzt im Nordwesten an Bremen. Der bis heute stärkste Tornado der Stufe F3 wurde am 11. Juli 1951 beobachtet. Während einer Schwergewitterlage, die in Norddeutschland mit Starkregen, Hagel und Blitzschlägen schwere Schäden anrichtete, entstand dieser Tornado. Die Windhose zog mit 100 bis 150 m breiter Bahn von Hude über Nord-Bremen und Ritterhude nach Gnarrenburg, (Quelle: Dr. F. Hamm: Naturkundliche Chronik Nordwestdeutschlands. Landbuch-Verlag, Hannover, 1976). Diese Schneise ist damit mehr als 50 km lang. Neben über 1 000 entwurzelten Bäumen, gab es unter anderem Überschwemmungen, Ernteaussfälle, Gebäudeschäden. Leider wurden bei diesem Ereignis nicht nur Menschen verletzt, sondern auch drei Personen getötet. Zwei von ihnen verloren im Stadtgebiet von Bremen durch den Tornado das Leben. Zuletzt wurde ein Tornado am 28. April 2020 in Gröpelingen gesichtet. Stärkere Tornados

Datum	Ort	Fujita-Skala
08.09.1773	Dreye	F0
03.07.1905	Bremerhaven	unbekannt
13.11.1950	Oberneuland	F1
11.07.1951	Bremen	F3
01.07.1953	Oberneuland	unbekannt
01.01.1954	Bremen-Walle	unbekannt
30.07.1973	Bremerhaven	unbekannt
17.03.1975	Bremen-Flughafen	unbekannt
07.06.1985	Bremen-Blumenthal, Lüssum-Bockhorn	F1
24.09.1985	Bremen-Bürgerweide	F1
15.08.2011	Bremerhaven	unbekannt
28.04.2020	Gröpelingen	F0

▲ Tornados in und um Bremen und Bremerhaven.

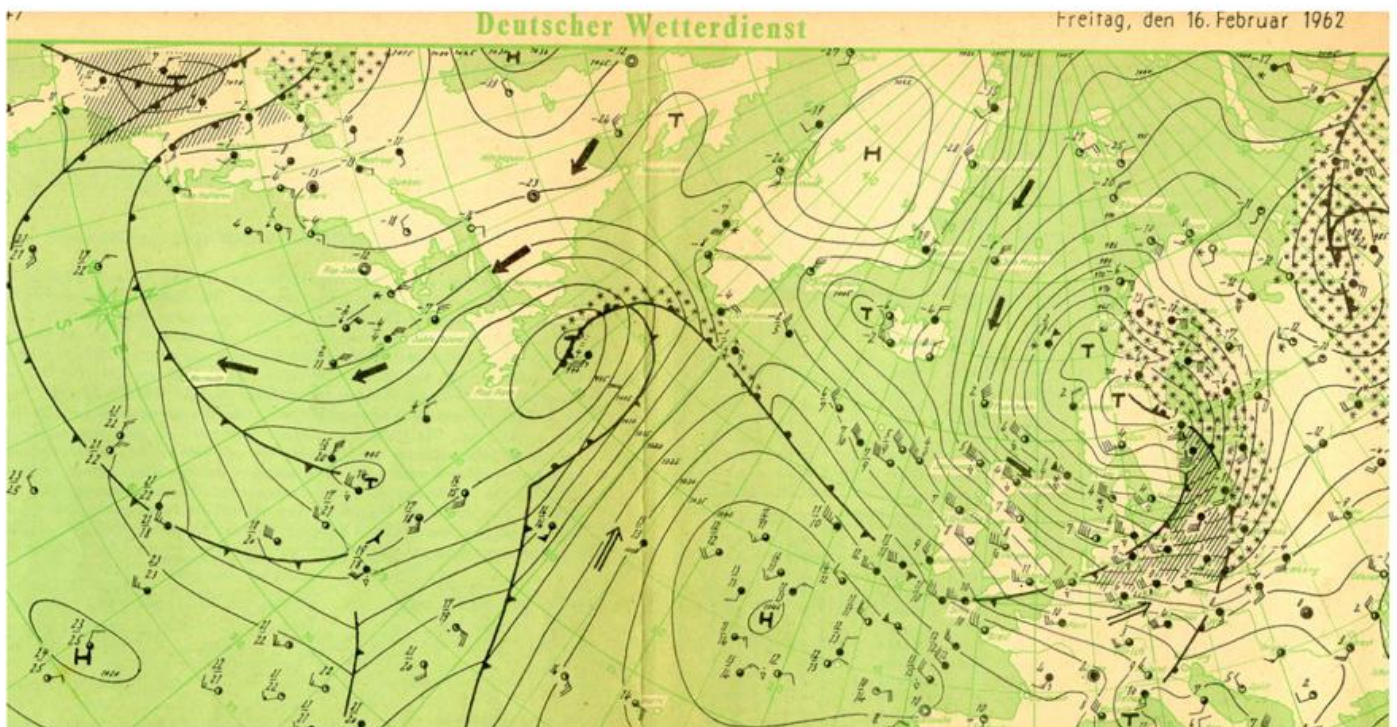
mit großer Zerstörungskraft sind im Land Bremen zum Glück selten. Auf Basis der vorliegenden regionalen Klimaprojektionen ist nicht abzuleiten, dass Tornados zukünftig häufiger auftreten werden. Aufgrund des zukünftig höheren Energiepotenzials ist jedoch eine Zunahme in der Intensität von Tornados denkbar.

Sturmfluten und Hochwasser

Hochwasser kann verschiedene Ursachen haben und tritt in Form von Sturmfluten, Flusshochwasser und Sturzfluten auf. Am Ende kommt es bei allen drei Arten durch einen erhöhten Wasserstand zu Überschwemmungen und teils weiträumigen Schäden.

Für das Land Bremen stellen Sturmfluten aufgrund außergewöhnlich hoher Wasserstände eine besondere Gefahr dar. Allgemein sorgt bei **Sturmfluten** das Zusammenspiel von Gezeiten und auflandigem Wind, welches das Wasser ins Landesinnere drückt, für erhöhte Wasserstände an Küsten oder an Seeufern. Windstärke, Windrichtung und Gezeitenbedingungen bestimmen dabei die Schwere einer Sturmflut. Es werden leichte, schwere und sehr schwere Sturmfluten charakterisiert. Sturmfluten im Land Bremen drücken stromaufwärts gegen das Weserwasser und verhindern so den normalen Abfluss zur Nordsee. **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 küstennahen Gebieten entfalten. Deiche dienen als Schutzanlage vor gezeitenbedingten Fluten oder Flusshochwasser.

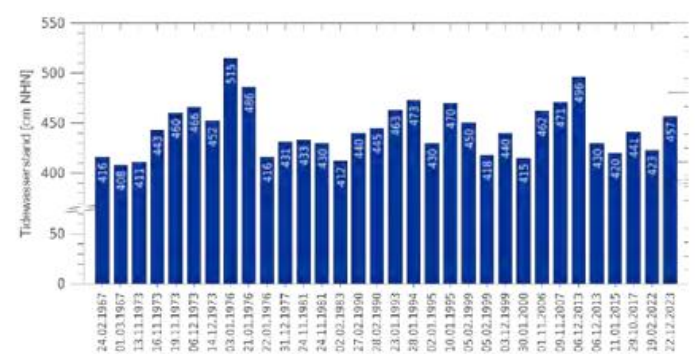
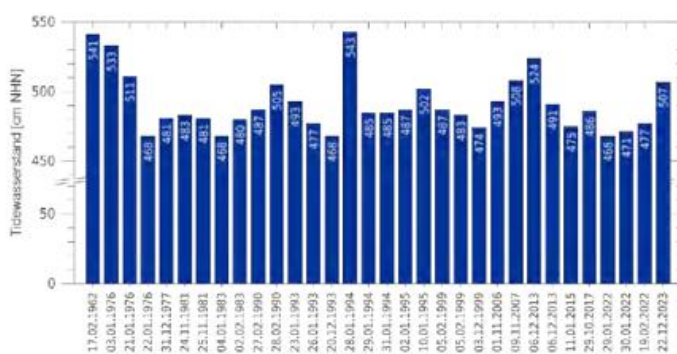
Infiltration, das Eindringen von Niederschlägen in den Boden, ist ein wichtiger Teil des Wasserkreislaufs der Erde. Böden und Vegetation nehmen dabei die fallenden Niederschläge auf. Sind die Böden allerdings gesättigt, gefroren oder versiegelt, kann das Wasser nicht oder nur eingeschränkt einsickern. 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.



▲ Die Wetterkarte vom Freitag, den 16. Februar 1962 zeigt das Bodendruckfeld über Europa und dem Nordatlantik. Das Orkantief „Vincinette“ lag zu diesem Zeitpunkt über Südnorwegen. Die dazugehörige Kaltfront erstreckte sich vom Seegebiet „Zentrale Ostsee“ über Norddeutschland bis zum Ärmelkanal. Über der Nordsee herrscht zu diesem Zeitpunkt ein strammer Nordwestwind, der mit Orkanböen, auch in Bremen und Bremerhaven, einherging. Das Wasser der Nordsee wurde zum Sturmhöhepunkt in die Wesermündung gedrückt und es kam zu einer schweren Sturmflut, die immense Schäden angerichtet hat.

Das Orkantief „Vincinette“ sorgte in der Nacht vom 16. auf den 17. Februar 1962 für eine der folgenreichsten Sturmfluten des 20. Jahrhunderts. Es wurden bis dato nicht beobachtete Wasserstände erreicht. Während Bremerhaven aufgrund des 1961 in Betrieb genommenen Sturmflutsperrwerkes an der Geeste einer Katastrophe entkommen konnte, gab es in Bremen vor allem in nicht von Deichen geschützten Gebieten schwere Sachschäden. Sieben Personen kamen ums Leben. Die Wasserstände dieser Sturmflut wurden im Januar 1976 noch einmal übertroffen, die Wassermassen hatten Dank umfangreicher Schutzmaßnahmen nicht so großes Zerstörungspotential wie 1962.

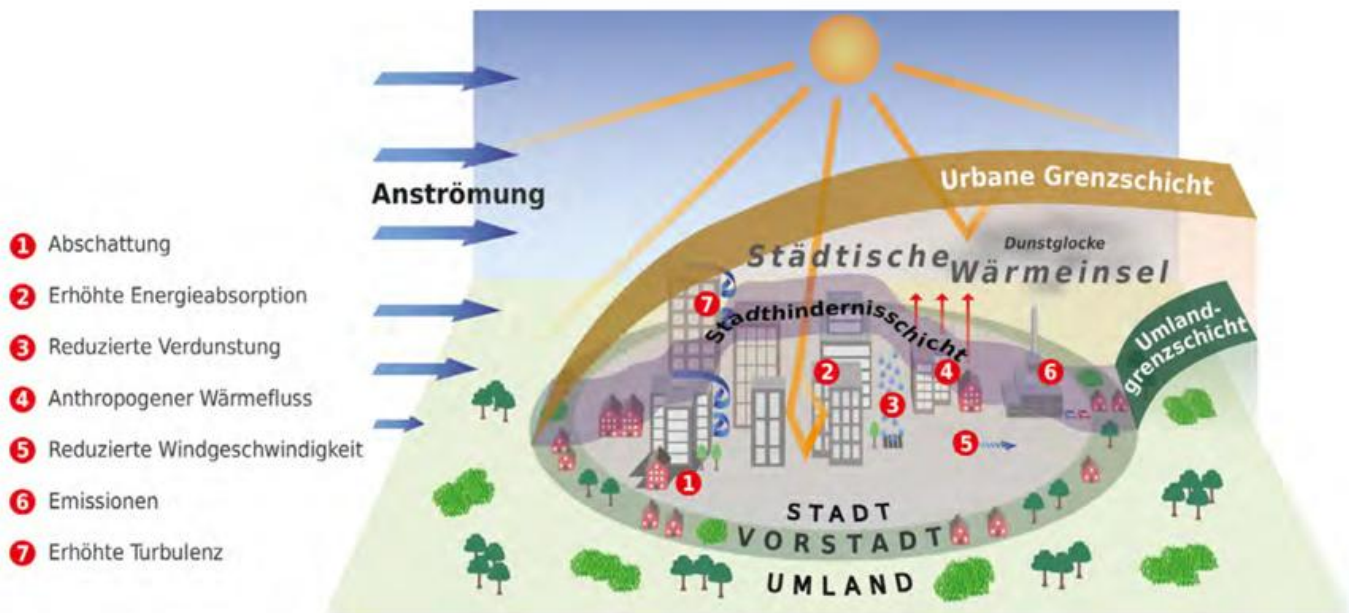
Wie die Diagramme der Tidewasserstände zeigen, waren die beiden Städte in Vergangenheit wiederholt von teils schweren Sturmfluten betroffen. Im Zuge des Klimawandels besteht laut dem Weltklimarat die Möglichkeit, dass die Intensität und Häufigkeit von Sturmfluten zunimmt. Aus diesem Grund wird der Hochwasserschutz auch in Zukunft eine Kernaufgabe für das Land Bremen bleiben. Für den Hochwasserschutz, wie beispielsweise Deicherneuerungen und -erhöhungen, moderne Schleusen aber auch für Frühwarnsysteme, werden hohe Kosten auf das Land zukommen, um sich den steigenden Anforderungen anzupassen.



▲ Höchste gemessene Tidewasserstände an den Pegelstationen „Alte Weserbrücke“ in Bremen (links), Zeitraum 10/1949 – 12/2023 und „Alter Leuchtturm“ in Bremerhaven (rechts), Zeitraum 11/1965 – 12/2023. Die Werte beziehen sich auf den aktuellen Höhenstatus (DHHN 2016); Quelle: Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Weser-Jade-Nordsee.

Stadtklima

In der Stadt beeinflussen verschiedene zusätzliche Faktoren das Klima. Da das Land Bremen durch die beiden Städte ein urban-geprägtes Land ist, lohnt sich ein genauerer Blick auf das Stadtklima.



▲ Das Stadtklima und seine Einflussfaktoren.

Was ist Stadtklima?

Unter Stadtklima (oder auch urbanem Klima) versteht man das gegenüber dem Umland durch die Bebauung und anthropogene Emissionen (z. B. Luftschadstoffe, Abwärme) beeinflusste kleinräumige Klima von Städten und Ballungsräumen. Das Stadtklima ist insbesondere durch versiegelte Böden, wenig Vegetation und wärmespeichernde Baustoffe (z. B. Asphalt) gekennzeichnet. Innerhalb der Stadt kann das Klima auf recht kleinem Raum variieren - Bebauung und Grünflächen prägen beispielsweise die Lufttemperatur und lokale Windeffekte und bestimmen, wie gut Regenwasser abfließen kann.

Der Wärmeinseleffekt

Die städtische Wärmeinsel (engl. UHI, Urban Heat Island) ist ein typisches Merkmal des Stadtklimas. Sie wird durch die Lufttemperaturdifferenz zwischen der wärmeren Stadt und ihrem kühleren Umland charakterisiert. Der Temperaturunterschied ist bei wolkenfreien und windschwachen Wetterbedingungen während der Nacht am größten. Die Differenz kann in großen Städten bis zu 10 Kelvin betragen. Die Auswirkungen der städtischen Wärmeinsel sind vielfältig. Im Sommer erhöht sich für die Stadtbewohner und -bewohnerinnen

die Gefahr für Hitzebelastung. Zudem führt während einer Hitzeperiode die hohe Lufttemperatur in Städten durch den Einsatz von Kühlsystemen und Klimaanlage zu einem erhöhten Energieverbrauch und damit zu steigenden Kosten und noch mehr Wärmeproduktion.

▼ Böttcherstraße in Bremen.



Das Bioklima der Stadt kann durch die verringerte Luftqualität und die erhöhte Wärmebelastung gegenüber dem Umland beträchtlich verschlechtert sein. Die Stadtplanung kann diesen Problemen durch mehr städtische Grünflächen und einer Verbesserung der Durchlüftung entgegenwirken.

Stadtklima in Bremen und Bremerhaven

In Bremen und Bremerhaven steht jeweils nur eine Klimamessstation des DWD, sodass der städtische Wärmeinseleffekt nicht erfasst werden kann. Vor einigen Jahren führte der DWD aber sowohl in Bremen als auch in Bremerhaven mehrmonatige Messkampagnen mit zusätzlichen Stadt- und Umlandmessstationen und Profilmessfahrten in den Stadtgemeinden durch.

Anhand dieser Messkampagnen wurde ein Wärmeinseleffekt von $+0,7\text{ K}$ in Bremerhaven und $+1\text{ K}$ in Bremen festgestellt. Dies bedeutet zum Beispiel für Bremerhaven, dass in dessen Stadtgebiet jährlich 25 % mehr Sommertage und 40 % mehr Heiße Tage auftreten als an der Klimastation gemessen werden. Mehr Informationen finden sie unter <https://www.klimaanpassung.bremen.de/klimainformationen/klimawandel-in-bremen/das-stadtklima-1473>.

▼ Profilmessfahrt Bremerhaven (Südroute) am 25.08.2016, 19:56 bis 20:46 UTC.



Lufttemperatur 2,0m in °C



▲ Mobile Messeinheit des Deutschen Wetterdienstes in Bremerhaven.

Da der Wärmeinseleffekt auch stark von den Bau- und Nutzungsstrukturen abhängt, ergeben sich innerhalb einer Stadt unterschiedliche Ausprägungen. Um dies für Bremen und Bremerhaven genauer zu untersuchen, wurden Profilmessfahrten durchgeführt. Für Bremerhaven bestätigen diese im Wesentlichen den gemessenen Wärmeinseleffekt und zeigen zudem, dass es in innerstädtischen Quartieren zu deutlich höheren Temperaturen kommt. Lokal ergibt sich ein „Innenstadtzuschlag“ von 1 bis 2 K auf die Höchsttemperaturen der Klimastation. Dies gilt auch für Bremen. Die ausführlichen Berichte zu den Messkampagnen und weitere Informationen sind auf der Webseite <https://www.klimaanpassung.bremen.de/> zu finden.

Zusätzlich zu diesen Informationen wurden für beide Stadtgemeinden Stadtklimaanalysen durchgeführt, um die Bedeutung von Siedlungs- und Freiflächen zu bewerten. Diese Bewertungen werden zum Beispiel in der Stadtplanung oder der Planung von Anpassungsmaßnahmen genutzt. Die aktuellen Stadtklimaanalysen für die Stadtgemeinden sind im **Klima-Informationssystem** (<https://geoportal.bremen.de/klimainfosystem/>) des Landes Bremen zu finden.

Trotz der, im Vergleich zu anderen Gegenden Deutschlands, sehr guten Belüftung in der Norddeutschen Tiefebene zeigt sich in den Messungen sowohl in Bremen als auch in Bremerhaven ein ausgeprägter städtischer Wärmeinseleffekt. Entsprechend des globalen Temperaturgeschehens im Rahmen des Klimawandels wird auch im Land Bremen ein Temperaturanstieg verzeichnet. Beide Effekte führen in den städtischen Siedlungsgebieten sowohl tagsüber als auch nachts zu einem markanten Anstieg von Situationen mit Wärmebelastung.

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 sind 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
$0 < T < +20$	beaglich
$+20 \leq T < +26$	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 $\geq 25\text{ °C}$) 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:

Zentrales Klimabüro
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

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

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

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

Regionales Klimabüro Potsdam
Michendorfer Chaussee 23
14473 Potsdam
✉ klima.potsdam@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.weiherstephan@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 Bremen und Bremerhaven ist eine Veröffentlichung des Deutschen Wetterdienstes. Die Erstellung erfolgte in Zusammenarbeit mit der Senatorin für Umwelt, Klima und Wissenschaft der freien Hansestadt Bremen.

Autoren

Wiebke Winzig, Annett Püschel

Co-Autoren: Gesa Bedbur (SUKW), Falk Böttcher, Dr. Lucia Herbeck (SUKW), Michael Koch (SUKW), Gabriele Krugmann, Tim Kruschke (BSH), Jens Möller (BSH), Imke Rolker (SUKW), Katrin Schäfer (SUKW), Christof Voßeler (SUKW), Oliver Weiner, Jens Wunsch (SUKW)

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

Beiträge weiterer Landes- und Bundesinstitutionen

Freie Hansestadt Bremen

Die Senatorin für Umwelt, Klima und Wissenschaft

An der Reeperbahn 2

28217 Bremen

<https://umwelt.bremen.de>

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

Bernhard-Nocht-Straße 78

20359 Hamburg

www.bsh.de

Redaktion

Annett Püschel, Wiebke Winzig

Gestaltung und Satz

Annett Püschel, Wiebke Winzig

Zitierhinweis

DWD (2024): Klimareport Bremen und Bremerhaven; 1. Auflage, Deutscher Wetterdienst, Deutschland, 72 Seiten.

ISBN 978-3-88148-550-0 (Print)

ISBN 978-3-88148-551-7 (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:

Bremen-Schnoor, WFB / Melanka Helms-Jacobs,

Bremerhaven-Sail-City, WFB / Carina Tank,

Bremen-Stadtmusikanten-Herbst, WFB / Carina Tank

weitere Fotos:

alle DWD (Frank Kahl, Uwe Kirsche, Rüdiger Manig, Annett Püschel), **außer:**

S. 6/9/10/14/16/18/19/21/31/36/40/60

WFB / Carina Tank

S. 7 Susanne Nawrath, Klimahaus® Bremerhaven

S. 15/41 WFB / Melanka Helms-Jacobs

S. 26 Panthermedia, Ralph Glaser

S. 32 Pixabay

S. 39 von Lämpel

S. 46 © Robert Kneschke - stock.adobe.com

S. 47 L. Herbeck

S. 48 © puckillustrations - stock.adobe.com

S. 52 J. Meyerdirks

S. 53 Gerd Wiegratz, ecolo

S. 54/55 HanseWasser Bremen GmbH

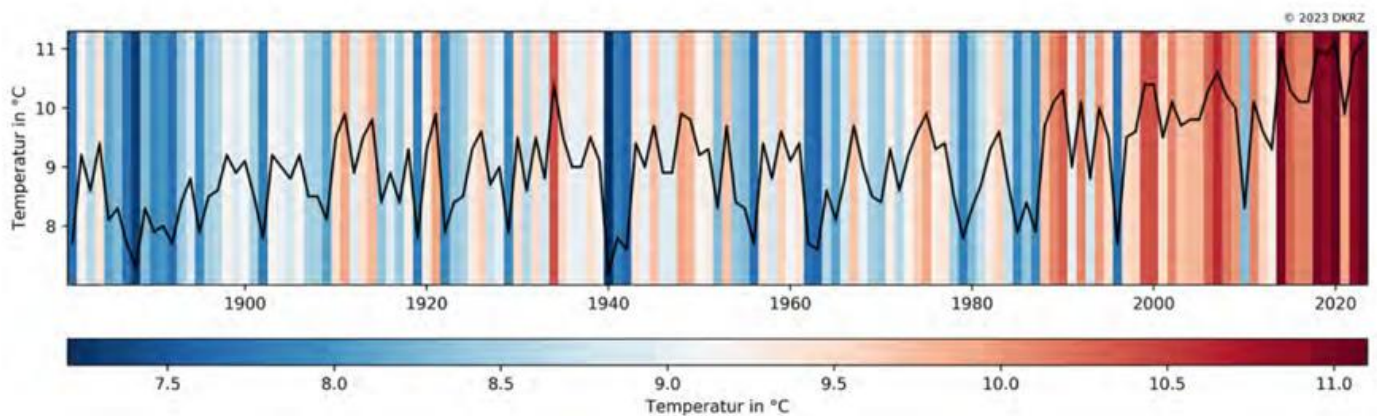
S. 56/57 © Rainer Fuhrmann - stock.adobe.com

S. 65 links Hannelore Philipp, rechts Christoph Wenzel



Warming Stripes

▼ Die farbigen Streifen und die schwarze Linie zeigen die jährliche Durchschnittstemperatur im Land Bremen 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.



Die Senatorin für Umwelt,
Klima und Wissenschaft



**Freie
Hansestadt
Bremen**

Freie Hansestadt Bremen

Die Senatorin für Umwelt, Klima und Wissenschaft

An der Reeperbahn 2

28217 Bremen



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

