

Klimaanpassungsstrategie

Bremen. Bremerhaven.

Begleitstudie

Wetter und Klima im Land Bremen



**BREMEN
BREMERHAVEN**
ZWEI STÄDTE. EIN LAND.

Impressum

Herausgeber

Deutscher Wetterdienst
Regionale Klima- und Umweltberatung Hamburg
Bernhard-Nocht-Straße 76
20359 Hamburg
www.dwd.de

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr
Contrescarpe 72
28195 Bremen
www.bauumwelt.bremen.de

Der Senator für Umwelt,
Bau und Verkehr



**Freie
Hansestadt
Bremen**

Layout und Konzept

MUST Städtebau
Eigelstein 103-113
50688 Köln
www.must.eu



In Kooperation mit
Studio Lisa Pommerenke

Bremen, Mai 2018

Inhalt

VORWORTE	3
1 KLIMA IN VERÄNDERUNG	7
1.1 Immer in Bewegung: Wetter und Klima in Bremen und Bremerhaven	8
1.2 Klima, Klimavariabilität und Extreme	9
1.3 Klimamodelle	10
1.4 Klimawandel und Klimaprojektionen	11
1.5 Regionales Klima im Nordwesten Deutschlands	13
2 TEMPERATUR	15
2.1 Vergangenheit und Gegenwart	16
2.2 Hitze	20
2.3 Zukunft	22
2.4 Stadtklimatologische Untersuchungen	24
3 NIEDERSCHLAG	31
3.1 Vergangenheit und Gegenwart	32
3.2 Starkregen	38
3.3 Trockenperioden	39
3.4 Zukunft	
4 SONNENSCHNEI	43
4.1 Vergangenheit und Gegenwart	44
4.2 Zukunft	46
5 WIND	49
5.1 Vergangenheit und Gegenwart	50
5.2 Zukunft	54
6 MEERESSPIEGELANSTIEG	57
7 BEGRIFFSKOMPASS KLIMA	61
BILDNACHWEIS	65



Vorworte

Liebe Leserinnen und Leser,

im Raum Bremen und Bremerhaven traten 7 der 10 wärmsten Jahre seit Beginn der systematischen Messungen im Jahr 1881 im 21. Jahrhundert auf. 2014 war mit einem Jahresmittel der Lufttemperatur von 11,0 °C das wärmste Jahr, ein Plus von 2,2 Grad im Vergleich mit dem Referenzzeitraum 1961-1990. Das Jahr 2007 belegt den zweiten Platz mit 10,6 °C und war damit um 1,8 Grad zu warm. Das vergangene Jahr 2017 rangiert in der Rangfolge der wärmsten Jahre an 10. Stelle.

Diese Werte stellen dabei sehr wahrscheinlich nur die bisherigen Maxima einer fortlaufenden Entwicklung dar. Der 5. Sachstandsbericht des Weltklimarates (IPCC) lässt für die noch folgenden Jahre dieses Jahrhunderts eine weitere deutliche Klimaerwärmung erwarten.

Der Klimawandel stellt für nahezu jeden von uns eine große Herausforderung dar. Sei es zum Beispiel durch vermehrt auftretende Tage mit starker Wärmebelastung oder durch eine ansteigende Häufigkeit von extremen Witterungsereignissen. Obgleich der Klimawandel eine langfristige Aufgabe darstellt, ist in Anbetracht der Risiken, die mit einem weiteren Temperaturanstieg einhergehen, unverzügliches Handeln erforderlich.

Der internationale Rahmen für den Umgang mit dem Klimawandel wurde auf der Weltklimakonferenz COP21 in Paris vereinbart. Hier wurden Ziele definiert, die nun umgesetzt werden müssen. Eine Voraussetzung für die Umsetzung dieser Ziele ist ein detailliertes Verständnis des aktuellen Standes.

Die vorliegende Studie über das **Wetter und Klima im Land Bremen** fasst das bekannte Wissen über das Klima von gestern, heute und morgen in kurzer und prägnanter Form zusammen. Sie soll Ihnen als Leser die Gelegenheit geben, sich einen fundierten Überblick zum Klimawandel zu verschaffen. Die Klimastudie stellt somit für Sie eine wesentliche Wissensgrundlage für eine erfolgreiche Anpassung an den Klimawandel dar.



ABB. 01

A handwritten signature in black ink, which appears to read 'P. Becker'. The signature is fluid and cursive.

Dr. Paul Becker
Vizepräsident des Deutschen Wetterdienstes

Liebe Leserinnen und Leser,
die hier vom Deutschen Wetterdienst erarbeitete Begleitstudie zur Klimaanpassungsstrategie des Landes und der Stadtgemeinden Bremen und Bremerhaven ist eingebettet in die konkrete Klimaanpassungspolitik vor Ort.

Als eines der ersten Bundesländer hat die Freie Hansestadt Bremen für die Anpassung an die Folgen des Klimawandels einen gesetzlichen Rahmen geschaffen. Mit Beschluss des Klimaschutz- und Energiegesetzes hat die Bremische Bürgerschaft den Bremer Senat im März 2015 beauftragt, gemeinsam mit den Stadtgemeinden Bremen und Bremerhaven eine Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels zu entwickeln.

Mithilfe dieser Strategie sollen die Toleranz und die Widerstandsfähigkeit gegenüber Klimaveränderungen und deren Folgen sowie die Vorsorge und das Reaktionsvermögen der Stadtgemeinden gestärkt werden. Langfristig sollen auch bei potenziell eintretenden Klimafolgen gute Lebens- und Arbeitsbedingungen und die Wettbewerbsfähigkeit in der Region erhalten bleiben. Die Anpassungsstrategie ergänzt damit die Klimaschutzpolitik des Landes und der Stadtgemeinden und liefert einen strategischen Rahmen für fachspezifische Umsetzungsmaßnahmen.

Im Sinne der Risikoprävention und Daseinsvorsorge ist es zwingend, sich frühzeitig diesen langfristigen Herausforderungen zu stellen. Der Schutz der Bevölkerung durch Gesundheitsvorsorge, Hochwasserschutz und Starkregenvorsorge sowie die langfristige Verbesserung der Aufenthaltsqualität in unseren Städten durch Freiraumplanung und städtisches Grün sind einige der wichtigen Handlungsfelder.

Durch die küstennahe Lage und die tidebeeinflussten Gewässer besteht eine besondere Exposition Bremens und Bremerhavens gegenüber dem steigenden Meeresspiegel. Rund 86 % des Landes Bremen sind potenziell durch Hochwasser gefährdet. Innerhalb dieser Gebiete leben rund 515.000 Menschen. Daher ist der Schutz vor Hochwasser von jeher eine existenzielle Aufgabe des Landes. Weitere Klimafolgen ergeben sich durch die Temperatur- und Niederschlagsentwicklung. Im Sommerhalbjahr werden vermutlich Hitzebelastung,

Trockenperioden und mögliche lokale Gewitterereignisse verbunden mit Starkregen für die Bremerinnen und Bremer relevanter werden. Im Winterhalbjahr werden eher die Zunahme der winterlichen Niederschläge, potenzielle Starkregenereignisse sowie größere Sturmintensitäten relevanter. Gerade die Extremereignisse sind es, die besondere Vorsorge notwendig machen. Auch wenn solche Extremereignisse statistisch selten vorkommen, können sie trotzdem dicht aufeinander mit all ihren Folgen auftreten.

Mit der hier durch den Deutschen Wetterdienst erarbeiteten Begleitstudie zur Klimaanpassungsstrategie werden die aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisse zu Klimaänderungen im Land Bremen zusammengefasst dargestellt. Diese Erkenntnisse sind als eine der maßgeblichen wissenschaftlichen Grundlagen in die Anpassungsstrategie des Landes und der beiden Stadtgemeinden Bremen und Bremerhaven eingeflossen.



ABB. 01a

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'J. Lohse'. The signature is fluid and cursive, with a large initial 'J' and a stylized 'Lohse'.

Dr. Joachim Lohse
Senator für Umwelt, Bau und Verkehr



1

Klima in Veränderung



1.1

Immer in Bewegung: Wetter und Klima in Bremen und Bremerhaven

Das Wetter mit all seinen Erscheinungen prägt unser Leben. Es bestimmt unsere tägliche Auswahl der Kleidung, aber auch die von uns erschaffene Infrastruktur. Mit der durch den Menschen verursachten Erhöhung der Treibhausgaskonzentrationen und den Änderungen der Landnutzung ändert sich unser Wetter und Klima.

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

Der Deutsche Wetterdienst beobachtet in Bremen und Bremerhaven seit vielen Jahren das Wetter, teilweise seit mehr als 100 Jahren. Registriert werden die Temperatur, der Niederschlag, der Sonnenschein, der Wind und vieles mehr. Die Beobachtungswerte variieren von Tag zu Tag und von Jahr zu Jahr. Es gibt warme und kalte Winter, trockene und feuchte Sommer. Neben den beobachteten Variationen von Jahr zu Jahr können durch die Messsysteme des Deutschen Wetterdienstes auch langfristige Änderungen aufgezeigt werden.

Ist der Einfluss des Menschen berechenbar?

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 Wissenschaft ist daher die Analyse der Folgen dieses Eingriffes in das natürliche Klimasystem der Erde. Hierzu nutzen die Wissenschaftler beispielsweise Annahmen über die möglichen Entwicklungen der Bevölkerung der Erde, der wirtschaftlichen Produktionsbedingungen und der Landnutzung. Diese Annahmen werden mit dem Begriff Szenarien zusammengefasst. Es gibt beispielweise ein Szenario, das ein Wirtschaftswachstum verbunden mit einem

deutlichen Anstieg des Ausstoßes der Treibhausgase beschreibt (Szenario RCP8.5). Ein anderes Szenario berücksichtigt deutliche politische Eingriffe zur Reduktion der Emission von Treibhausgasen (Szenario RCP2.6).

Mithilfe von Klimamodellen hat die weltweite Wissenschaftsgemeinschaft die Auswirkungen auf das globale und regionale Klima auf der Basis der genannten Szenarien berechnet.



ABB. 02



ABB. 03

1.2 Klima, Klimavariabilität und Extreme

Wetter, Witterung, Klima: Mit diesen drei Begriffen beschreibt die Meteorologie und Klimatologie Vorgänge, die in der Atmosphäre in verschiedenen langen Zeiträumen ablaufen. Das Wetter umfasst wenige Tage, die Witterung den Zeitraum von Wochen bis mehrere Monate und das Klima Jahre bis hin zu geologischen Zeitaltern.

Was ist Klima?

Die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) definiert „Klima“ wissenschaftlich präzise als „Synthese des Wetters über einen Zeitraum, der lange genug ist, um dessen statistische Eigenschaften bestimmen zu können“. „Klima“ vom altgriechischen Wort klima für „ich neige“ stammend, spielt auf die Konstellation der Erde im Sonnensystem an, auf die Neigung der Erdachse und dem variierenden Abstand unseres Planeten zur Sonne und den damit verbundenen markanten Witterungsschwankungen. Das Klima der Vergangenheit war nie konstant. Aus der Erdgeschichte sind Eiszeiten und Warmzeiten bekannt.

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

Klimavariabilität

Die Notwendigkeit, das Klima über einen Mittelwert zu beschreiben, zeigt, dass das Klima als Summe von Wetter und Witterung etwas Variables ist. Dass Wetter und Witterung variabel sind, beobachten wir tagtäglich. Gleiches gilt für die längeren Zeitskalen. So sind im Winter die Temperaturen im Mittel geringer als im Sommer. Aber auch einzelne Jahreszeiten unterscheiden sich. Es gibt warme oder kalte Winter sowie trockene oder feuchte Sommer.

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

Klimatrend

Ist in Folge von Jahren oder Jahrzehnten verstärkt eine Veränderung z.B. zu häufigeren positiven Temperaturabweichungen festzustellen oder sind vermehrt bisher beobachtete Schwankungsbreiten betragsmäßig zunehmend überschritten worden, wird von einem Klimatrend gesprochen. Die Änderungsrichtung kann durchaus vergleichsweise kurzzeitig unterbrochen oder abgemildert sein, entscheidend ist, dass die zu beobachtende Änderungsrichtung über einen langen Zeitraum anhält. Solche langfristigen Änderungen können natürliche Ursachen haben wie z.B. Veränderungen der Erdbahnparameter oder der Sonnenaktivität. Aber auch der Mensch greift mit seinen Aktivitäten in das Klimasystem ein. Eng verknüpft mit dem Begriff des Klimatrends ist der Klimawandel.

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 langanhaltende Trockenheit, oder ein für den Zeitpunkt im Jahr sehr untypisches Ereignis.

Extreme gehören zum Wetter und Klima. So wie sie zum Klima der Vergangenheit gehört haben, so werden sie auch zum Klima der Zukunft gehören.



ABB. 04 Messfeld des Deutschen Wetterdienstes in Bremerhaven

1.3 Klimamodelle

Die beobachteten Klimaschwankungen und -trends der Vergangenheit einfach in die Zukunft zu extrapolieren ist unter dem Aspekt des Klimawandels nicht sinnvoll. Daher werden Klimamodelle – als die computergestützten Werkzeuge zur vereinfachten Beschreibung von in der Natur ablaufenden Erscheinungen – für die Abschätzung der zukünftigen Klimaentwicklungen genutzt.

Die Welt in Boxen

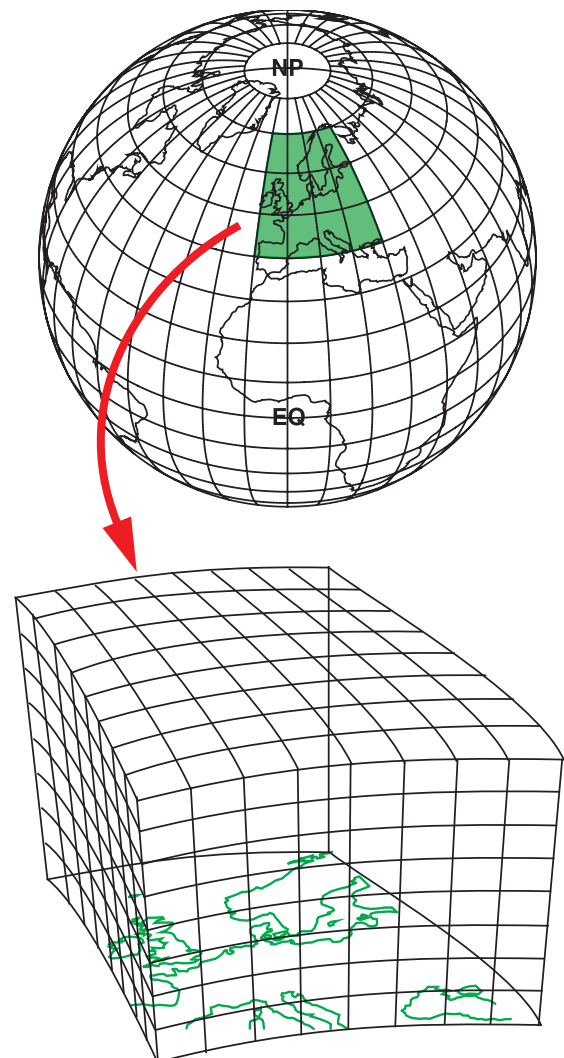
In einem Klimamodell wird eine Vielzahl an (Teil-)Modellen zu einem großen Modell zusammengefasst. Diese Modelle sind in der Lage, alle wesentlichen Prozesse der Atmosphäre, Hydrosphäre, Kryosphäre und Biosphäre unseres Planeten Erde zu beschreiben. Eine Eins-zu-eins-Umsetzung dieser Abläufe in Klimamodellen ist jedoch nicht möglich. Zum einen sind nicht alle Prozesse in der Natur hinreichend bekannt. Zum anderen erfordert dies einen extrem hohen Aufwand an Computerrechenzeit. Für die Beschreibung der Prozesse müssen eine Vielzahl von mathematisch-physikalischen Gleichungen gelöst werden. Diese werden häufig mit so genannten Gitterboxmodellen beschrieben. Dafür werden die Atmosphäre und die Ozeane unseres Planeten in Gitterboxen eingeteilt. Für Deutschland liegen aktuell regionale Simulationen mit einer räumlichen Gitterweite von 50 und 12,5 km vor. Das bedeutet z. B., dass die simulierte Temperatur nur alle 12,5 km einen anderen Wert annehmen kann.

Eine belastbare Aussage ist für einen einzelnen Gitterpunkt nicht möglich. Es müssen immer mehrere Gitterpunkte zusammengefasst werden. Üblicherweise wird dafür eine Matrix von drei mal drei Gitterpunkten genutzt.

Viele Modelle, viele Ergebnisse

Weltweit werden von einer Vielzahl an Forschungsgruppen Klimamodelle mehr oder weniger unabhängig entwickelt. Einzelne Modellkomponenten werden dadurch unterschiedlich beschrieben, was wiederum zu unterschiedlichen Ergebnissen führen kann. Ursache hierfür sind die notwendigen Vereinfachungen, die für die Entwicklung eines Modells gegenüber den in der Natur ablaufenden Prozessen notwendig sind.

Die vorhandene Bandbreite der Ergebnisse ist ein wichtiger Hinweis auf die Güte des Verständnisses der in der Natur ablaufenden Prozesse. Je höher die Bandbreite, umso vorsichtiger sollten Aussagen über z. B. beschriebene Änderungssignale formuliert werden.



Max-Planck-Institut
für Meteorologie

ABB. 05 Beispielhafte Darstellung der Modellgitterboxen. Sie unterteilen die Atmosphäre nicht nur in der Horizontalen, sondern bilden auch in der Vertikalen eine Reihe von Schichten

1.4 Klimawandel und Klimaprojektionen

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

Klimafaktor Mensch

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

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

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

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 im Jahr 1861-1880.

Das Klimaschutz-Szenario RCP2.6 basiert auf Annahmen, die dem politischen ‚2-Grad-Ziel‘ entsprechen. Ziel ist eine Welt, in der im Jahr 2100 die globale Erwärmung nicht mehr als 2°C im Vergleich zum Jahr 1860 beträgt. Für das 2-Grad-Ziel wird ein Szenarien-Verlauf angenommen, der mit einer sehr starken und sehr schnellen Reduktion der Emission von Treibhausgasen gegenüber dem heutigen Zustand verbunden ist. Der Höchstwert des Strahlungsantriebes wird vor dem Jahr 2050 ($3,0 \text{ W/m}^2$) erreicht. Von da an reduziert er sich kontinuierlich auf den Wert $2,6 \text{ W/m}^2$ im Jahr 2100. Hierzu ist ein Wandel hin zu einer Welt notwendig, deren Energieversorgung nicht mehr auf der Verbrennung von fossilen Kohlenstoffvorräten basiert. Das Maximum weltweiter Emissionen von Treibhausgasen muss dafür vor dem Jahr 2020 liegen. Noch vor dem Jahr 2080 dürfen keinen wesentlichen Emissionen von Treibhausgasen mehr vorhanden sein.



ABB. 06

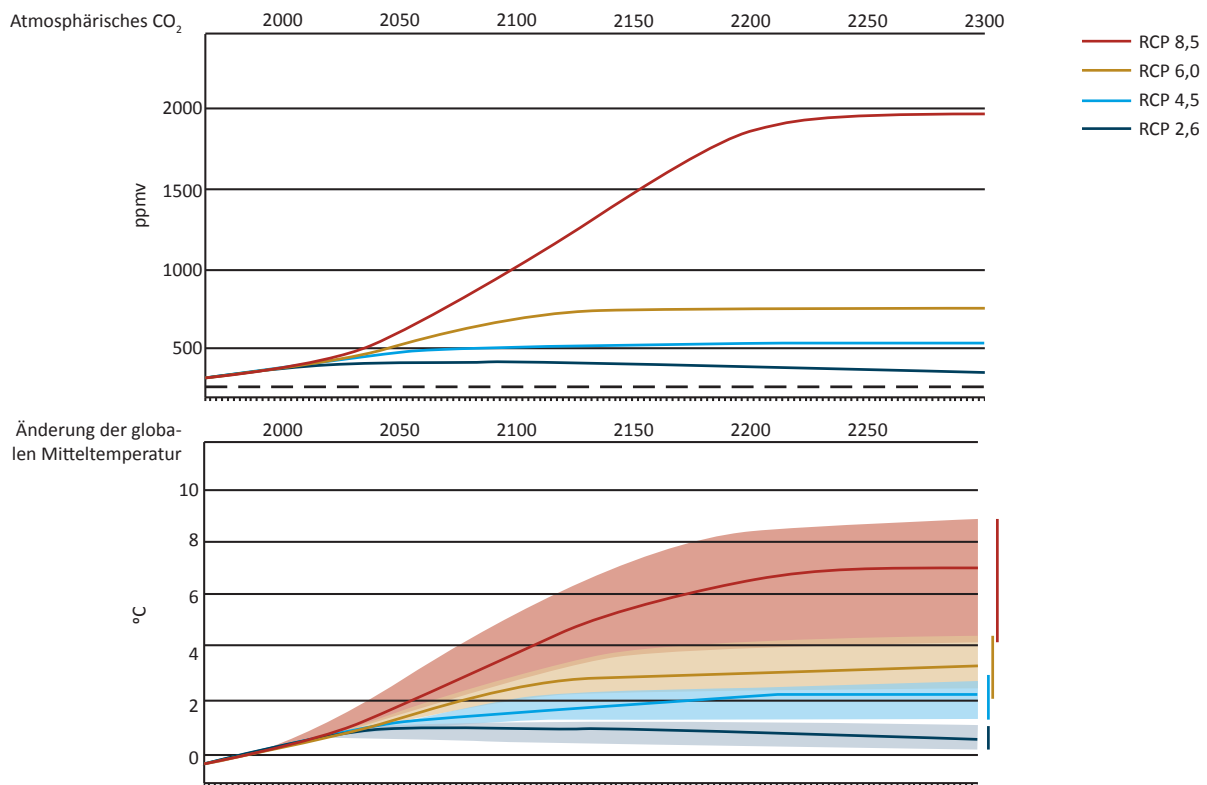


ABB. 07 Entwicklung des atmosphärischen Kohlendioxids und der globalen Mitteltemperatur bis zum Jahr 2300 für die verschiedenen Emissions-Szenarien.

Das Szenario RCP4.5 beschreibt eine zukünftige Entwicklung, in der das Maximum der Emissionen von Treibhausgasen vor dem Jahr 2050 liegt. Danach nehmen die Emissionen ab und liegen im Jahr 2100 unterhalb von denen im Jahr 2000. Der resultierende Strahlungsantrieb steigt mit der Zeit zunehmend langsamer bis zum Jahr 2100 kontinuierlich an.

Das Szenario RCP8.5 beschreibt eine Welt, bei 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? Klimaprojektionsrechnungen

Wird ein globales Klimamodell dazu genutzt, den möglichen Klimawandel auf der Basis eines Szenarios zu berechnen, so erfolgt das im Rahmen einer Klimaprojektionsrechnung. Eine Klimaprojektionsrechnung darf nicht mit einer Vorhersage verwechselt werden. Sie ist eine „was wäre wenn“ – Rechnung auf der Basis des gewählten Szenarios. Die Klimaprojektionsrechnungen für die verschiedenen Szenarien helfen dann, die zu erwartenden Klimaveränderungen in eine Bandbreite einzuordnen. Zum Beispiel, welches sind die minimal zu erwartenden Änderungen, welches die maximalen? Letztendlich werden die realen Veränderungen wahrscheinlich innerhalb dieser Bandbreite liegen.

Nachfolgend werden Ergebnisse von Klimaprojektionsrechnungen genutzt, die den Zeitraum 1971 bis 2100 umfassen. Um den Unterschied zwischen dem heutigen und einem zukünftigen Zustand zu berechnen, werden jeweils zwei nicht überlappende 30-Jahres-Zeiträume genutzt. Für diesen Zeitraum wird ein mittlerer Zustand berechnet. Als Bezugszeitraum für das beobachtete Klima werden die Jahre 1971 bis 2000 genutzt. 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 2021 bis 2050. Die Jahre 2071 bis 2100 werden als Grundlage für den langfristigen Planungshorizont genutzt.

Die Angaben der Änderungen werden als ein mittlerer Wert und als Spannbreite angegeben. Beschrieben werden die Bandbreite und die höchsten Änderungswerte aus den vorhandenen Datensätzen.

1.5

Regionales Klima im Nordwesten Deutschlands

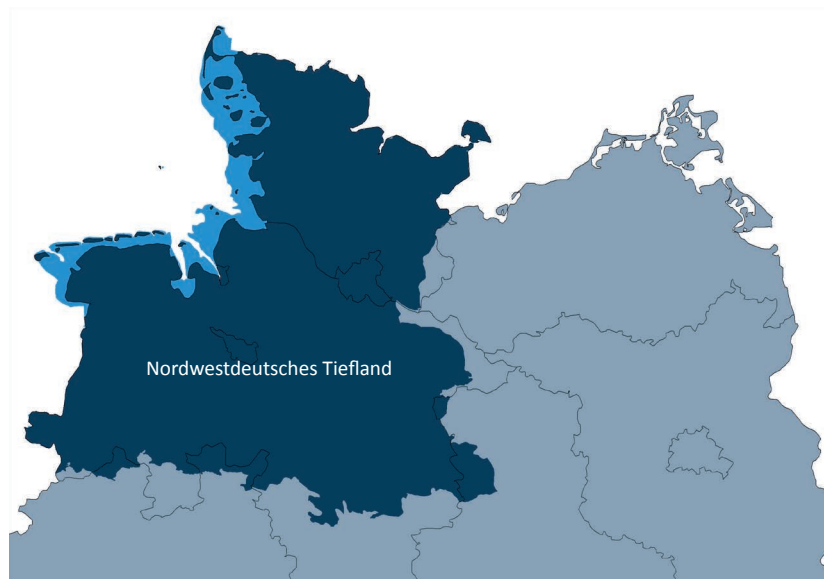


ABB. 08 Regionen aus dem Nationalen Klimareport 2016

In den Regionen Deutschlands gibt es unterschiedliche Klimaverhältnisse. Das Klima wird stets von fremdbürtigen (allochthonen) und eigenbürtigen (autochthonen) Einflüssen geprägt. Entsprechend der Lage in den durch vorherrschende Westwinde gekennzeichneten mittleren Breiten kommt es im Raum Bremen und Bremerhaven – wie in ganz Norddeutschland – zu kühlen Sommern und milden Wintern sowie ausreichenden Niederschlägen zu allen Jahreszeiten. Der häufige Wechsel von Hoch- und Tiefdruckgebieten sorgt für einen unbeständigen Charakter des Wetters. Stellt sich einmal eine längere Phase mit Hochdruckeinfluss ein, so ist im Sommerhalbjahr mit trockenem und warmem Wetter zu rechnen, während sich im Winter je nach Lage des Hochs trocken-kaltes bzw. neblig-trübes Wetter einstellt. Lokal modifiziert wird das Klima durch die Klimafaktoren (geografische Breite und Länge, Entfernung zum Meer, Relief, Oberflächengestalt u.a.m.). Der nordwestliche Teil Deutschlands bis zu den Mittelgebirgen stellt eine Klimaregion dar, die geprägt ist von der Meeresnähe, der niedrigen Geländehöhe und der geringen Reliefenergie.

Die Ergebnisse der Klimaprojektionen für Deutschland wurden für zwölf klimatisch unterschiedliche Modellregionen bestimmt (DWD (2016): Nationaler Klimareport 2016), eine davon ist das „Nordwestdeutsche Tiefland“. Bremen und Bremerhaven sind Teil dieser Region.

Die Klimaverhältnisse in einer Region lassen sich durch Flächenmittelwerte charakterisieren, d. h. die Klimaparameter mehrerer Orte innerhalb der Region werden flächig interpoliert. Die Unterschiede in den Flächenmitteln relevanter Klimaparameter zwischen der Modellregion „Nordwestdeutsches Tiefland“ und der Region Bremen und Bremerhaven sind nur gering, sodass die Ergebnisse der Klimaprojektionen für das Nordwestdeutsche Tiefland auch für Bremen und Bremerhaven als hinreichend repräsentativ angesehen werden können.



Temperatur

2.1 Vergangenheit und Gegenwart

Das Jahresmittel der Lufttemperatur in der Region Bremen und Bremerhaven liegt größtenteils zwischen 8,8 und 9,2 °C, in stark bebauten Gebieten auch etwas darüber (Abb. 09).

Von 1881 bis 2016 ist das Jahresmittel der Lufttemperatur in Bremen und Bremerhaven um ca. 1,3 °C angestiegen. Dabei schwankt das Flächenmittel der Temperatur im Land Bremen von Jahr zu Jahr zum Teil kräftig. Ermittelt wird das Flächenmittel aus 1 x 1 km großen Rasterwerten, denen die punktuellen Bodenmessungen zugrunde liegen. Das wärmste Jahr der Gesamtzeitreihe 1881 bis 2016 war 2014 mit 11,0 °C, das kälteste Jahr war 1940 mit 7,1 °C (Abb. 10).

Das Monatsminimum von 1,6 °C wird im Januar, dicht gefolgt vom Februar mit 1,9 °C, und das Maximum im Juli bzw. August mit 17,4 und 17,2 °C erreicht (Abb. 11). Somit verschieben sich die Extrema – als typisches Merkmal des maritimen Jahresganges – um nahezu zwei Monate gegenüber dem Sonnentiefst- bzw. Sonnenhöchststand. So große Abweichungen werden in Deutschland

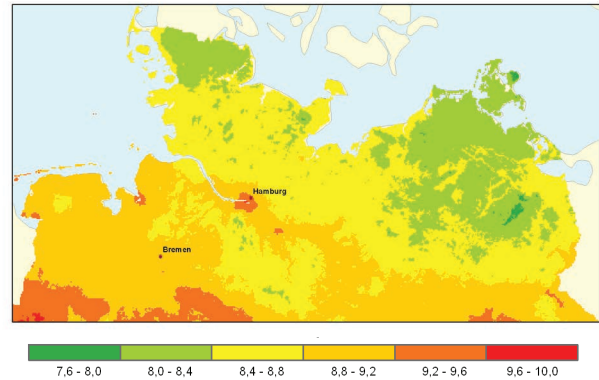


ABB. 09 Jahresmitteltemperatur in °C (2 m Höhe über Grund), Bezugszeitraum 1971-2000

nur an einigen weiteren exponierten Stationen der Nord- und Ostseeküste sowie auf hohen Bergen erreicht. Die mittlere Jahresschwankung als Differenz zwischen dem wärmsten und kältesten Monat beträgt nur 15,8 °C und liegt damit deutlich unter den Werten, wie sie in kontinentalen Regionen Deutschlands auftreten. Sehr tiefe winterliche Temperaturen werden erreicht, wenn es am Rande eines Hochdruckgebietes über Skandinavien zur Zufuhr von kalten Luftmassen

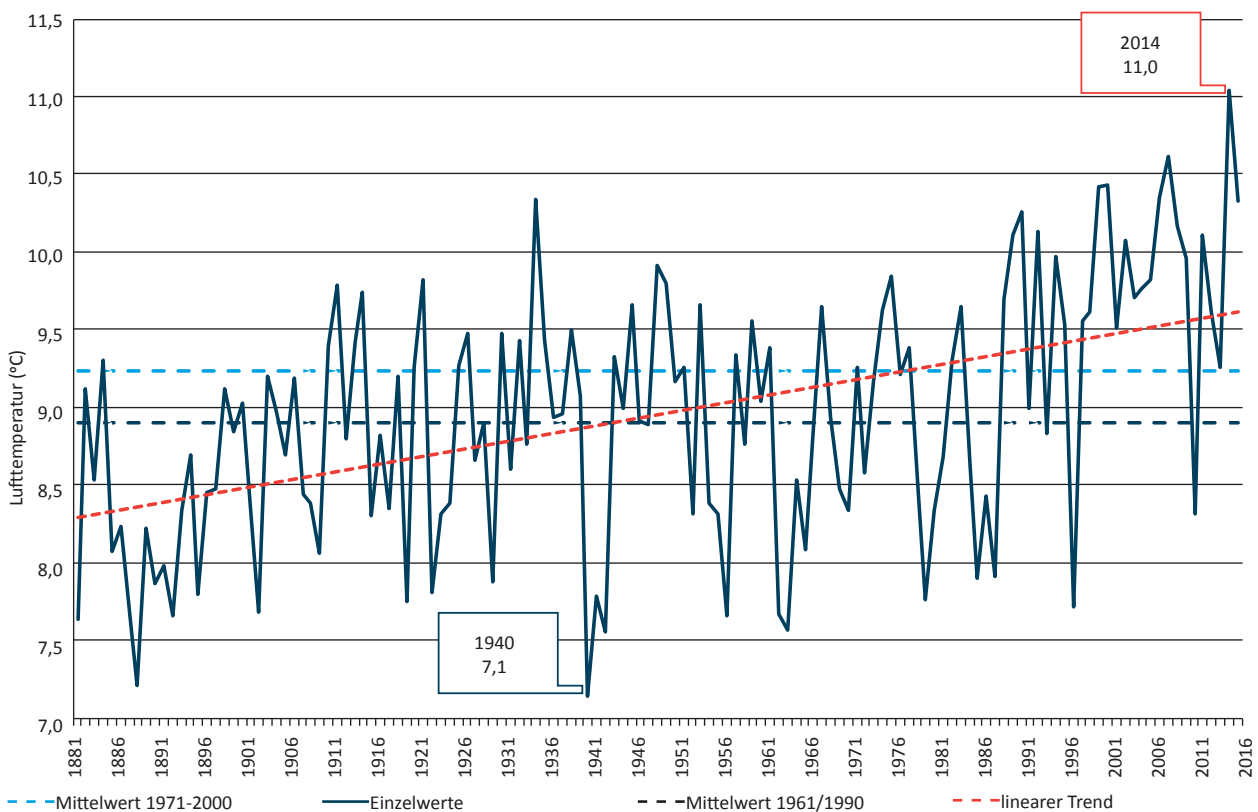


ABB. 10 Es wird wärmer im Land Bremen: Jahresmittel der Lufttemperatur (Flächenmittel aus Stationsmessungen in 2 m Höhe über Grund) von 1881 – 2016.

aus Osten kommt. Bei vorhandener Schneedecke sind in allen drei Wintermonaten Dezember bis Februar Tiefstwerte von -18 bis -24 °C möglich. Im Sommer treten hohe Temperaturen bei der Zufuhr von warmen Luftmassen aus Südosten auf. Dann können Höchstwerte von etwa 38 °C erreicht werden.

In der Meteorologie werden die Monate Dezember bis Februar als Winter zusammengefasst, März bis Mai als Frühjahr, Juni bis August als Sommer sowie September bis November als Herbst. Die mögliche Schwankungsbreite der jahreszeitlichen Mitteltemperaturen ist im Winter mit einer Spanne von rund 10 °C wesentlich deutlicher ausgeprägt als in den anderen Jahreszeiten. Im Frühling und Sommer beträgt die Spannweite ca. 5 und im Herbst ca. 6 °C. Der wärmste Sommer wurde 2003 mit 19,0 °C verzeichnet, der kälteste trat im Jahr 1962 mit 14,5 °C auf (Abb. 13). Im Winter lagen die Extreme zwischen 5,6 (2006/2007) und -4,5 °C (1939/1940).

Die lineare Temperaturzunahme ist in dem betrachteten Zeitraum in den Jahreszeiten recht einheitlich. In den zeitlichen Verläufen sind jedoch Unterschiede zu erkennen. Während im Frühjahr und im Sommer zunächst ein relativ geringer Temperaturanstieg erkennbar ist, zeigt sich ab etwa Anfang der 1990er Jahre eine deutlichere Zunahme. Mit leichten Schwankungen weist der Herbst eine kontinuierlichere Temperaturentwicklung auf. Die

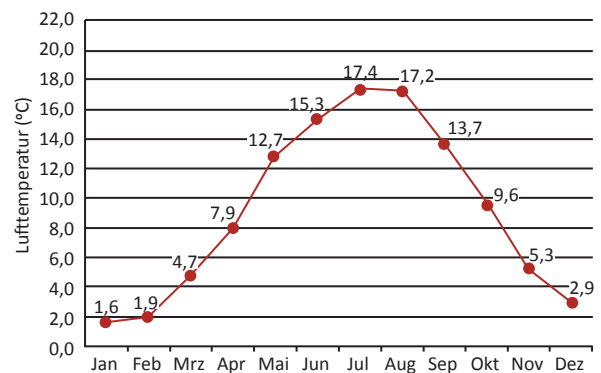


ABB. 11 Monatsmittel der Lufttemperatur Land Bremen, Gebietsmittel 1971/2000

periodischen Schwankungen sind im Winter markanter ausgeprägt.

Aus den Tageswerten der Temperatur werden so genannte Ereignistage abgeleitet (Abb. 14, 15). Liegt das Temperaturminimum unter 0 °C handelt es sich um einen Frosttag. Im Mittel werden pro Jahr rund 69 Frosttage in Bremen und 48 Frosttage in Bremerhaven registriert, diese treten von Oktober bis Mai, vereinzelt auch schon im September, auf. Frostfrei sind demnach nur die Monate Juni bis August. Bleibt auch die Tageshöchsttemperatur unter 0 °C wird ein Eistag registriert. Im langjährigen Mittel ist mit nur 14 Eistagen pro Jahr sowohl in Bremen als auch in Bremerhaven zu rechnen. Diese treten von November bis März auf. Von April bis September, in einzelnen Jahren auch noch im

Mittelwerte der Lufttemperatur in °C für die Jahreszeiten und verschiedene Bezugszeiträume (Vergleich: Land Bremen und Deutschland)				
Saison		1961-1990	1971-2000	1981-2010
Frühjahr	Land Bremen	8,0	8,5	8,9
	Deutschland	7,7	8,1	8,5
Sommer	Land Bremen	16,4	16,6	17,0
	Deutschland	16,3	16,6	17,1
Herbst	Land Bremen	9,6	9,5	9,8
	Deutschland	8,8	8,7	9,0
Winter	Land Bremen	1,4	2,1	2,2
	Deutschland	0,3	0,8	0,9
Jahr	Land Bremen	8,9	9,2	9,5
	Deutschland	8,2	8,6	8,9

TAB. 01

Oktober, kann es zu Sommertagen (Höchsttemperatur gleich oder größer 25 °C) kommen. In Bremerhaven sind im langjährigen Mittel etwa 17 und in Bremen etwa 26 Sommertage zu erwarten. An heißen Tagen werden 30 °C erreicht oder überschritten. Heiße Tage werden recht selten registriert (ca. 2 Tage pro Jahr in Bremerhaven, ca. 5 in Bremen). Sie treten vornehmlich von Juni bis August auf, in einzelnen Jahren auch noch im September oder schon im April und Mai. Auch bei den Ereignistagen wird die maritime Prägung des Klimas der Region Bremen deutlich. Einerseits ist ihre Anzahl gegenüber dem Binnenland herabgesetzt, andererseits gibt es auch hier im Jahresverlauf eine starke Verzögerung gegenüber dem Sonnentiefst- bzw. Sonnenhöchststand. Im Trend 1961 bis 2016 sind Zunahmen der Sommertage und der heißen Tage sowie eine Verringerung der Anzahl der Frost- und Eistage zu erkennen.



ABB. 12

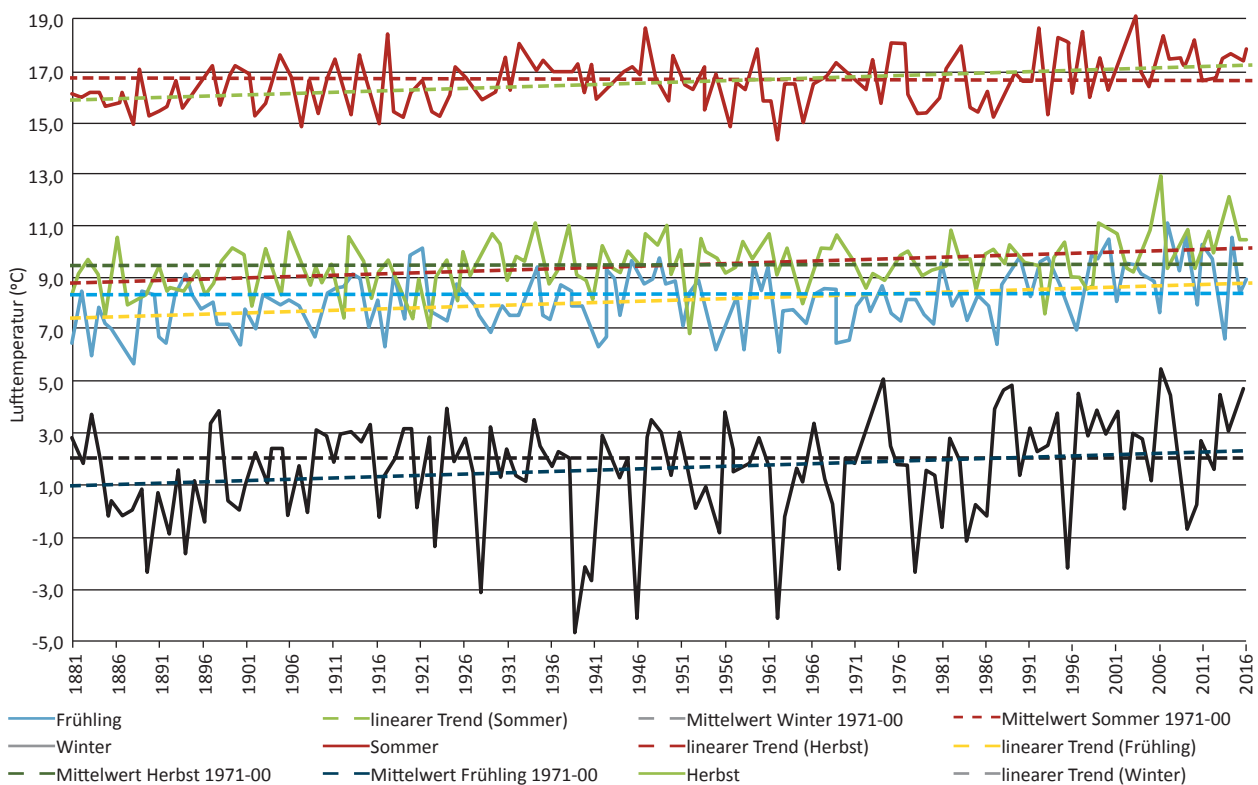


ABB. 13 Jahreszeitenmittel der Lufttemperatur: Alle vier Jahreszeiten zeigen einen positiven Trend (Flächenmittel aus Stationsmessungen in 2 m Höhe über Grund) von 1881 bis 2016

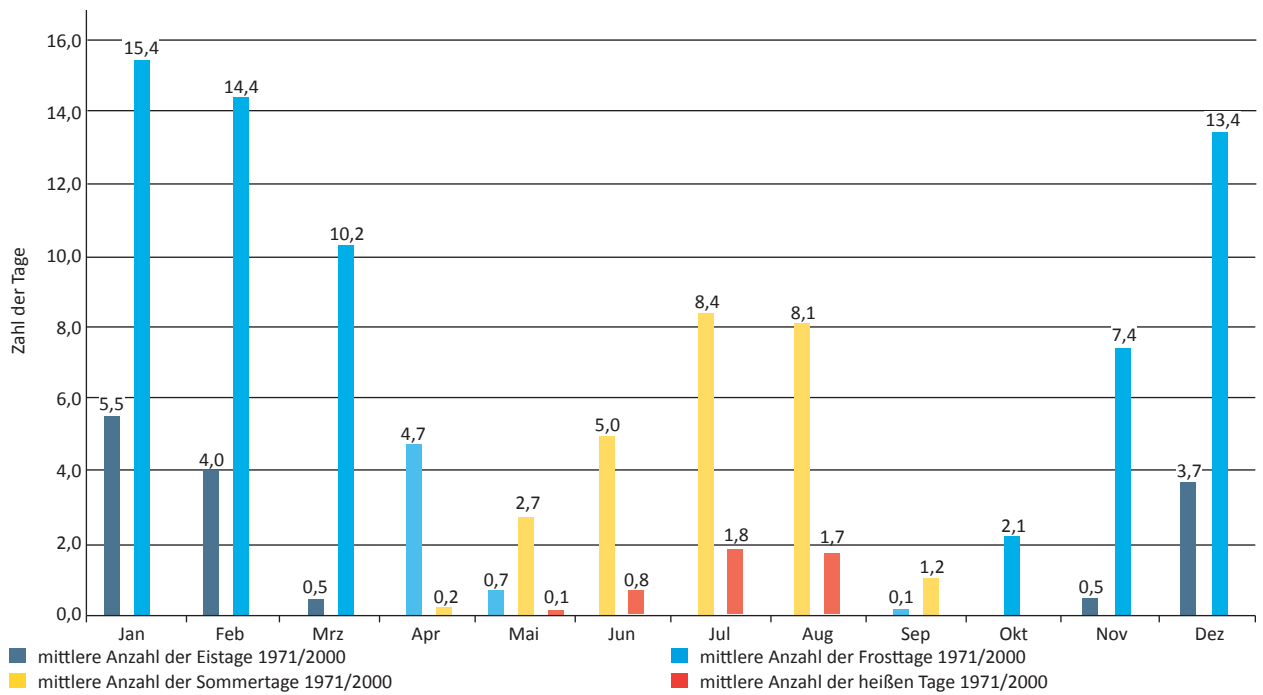


ABB. 14 Anzahl der Tage mit Werten der Temperatur unter/über bestimmten Schwellenwerten, Wetterstation Bremen

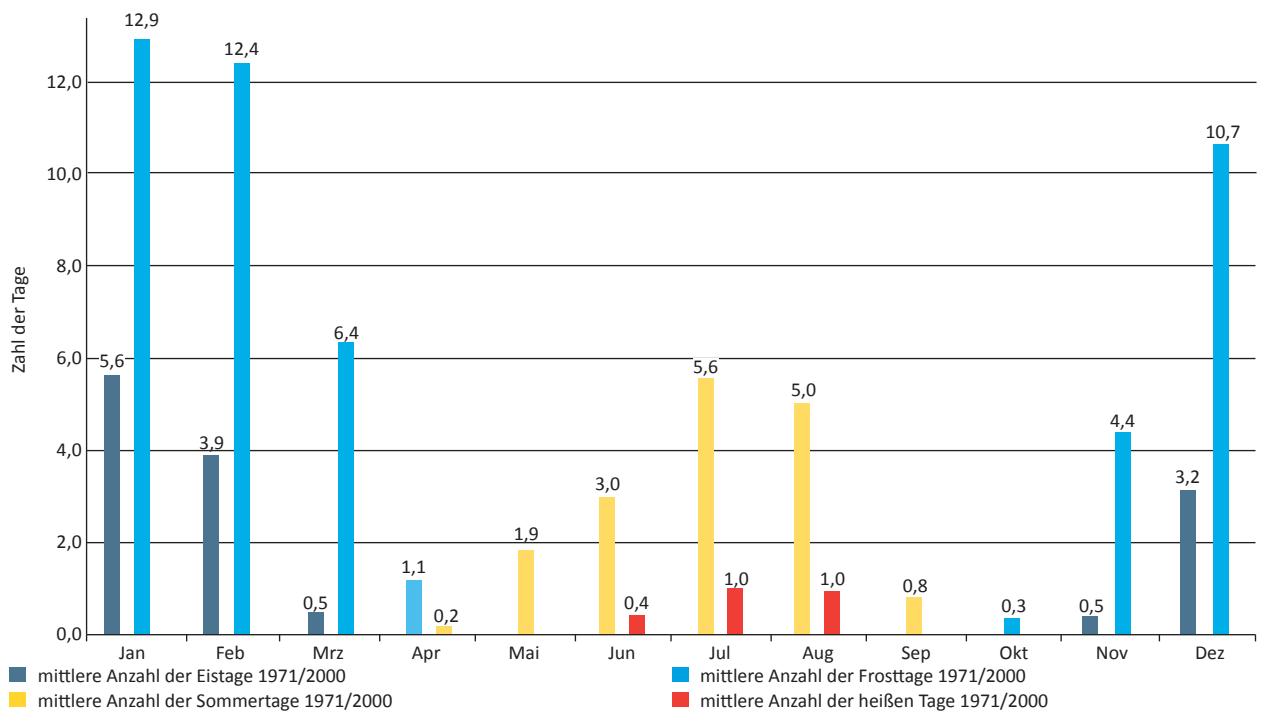


ABB. 15 Anzahl der Tage mit Werten der Temperatur unter/über bestimmten Schwellenwerten, Wetterstation Bremerhaven

2.2 Hitze

Im Zeitraum 1961 bis 2016 ist ein deutlicher Anstieg der heißen Tage für Bremen sowie Bremerhaven zu verzeichnen (Abb. 16). Der lineare Trend lässt für die-

se Zeitspanne eine Zunahme um 3 Tage sowohl für die Wetterstation Bremen als auch für die Wetterstation Bremerhaven erkennen. Dabei variierte die Anzahl pro

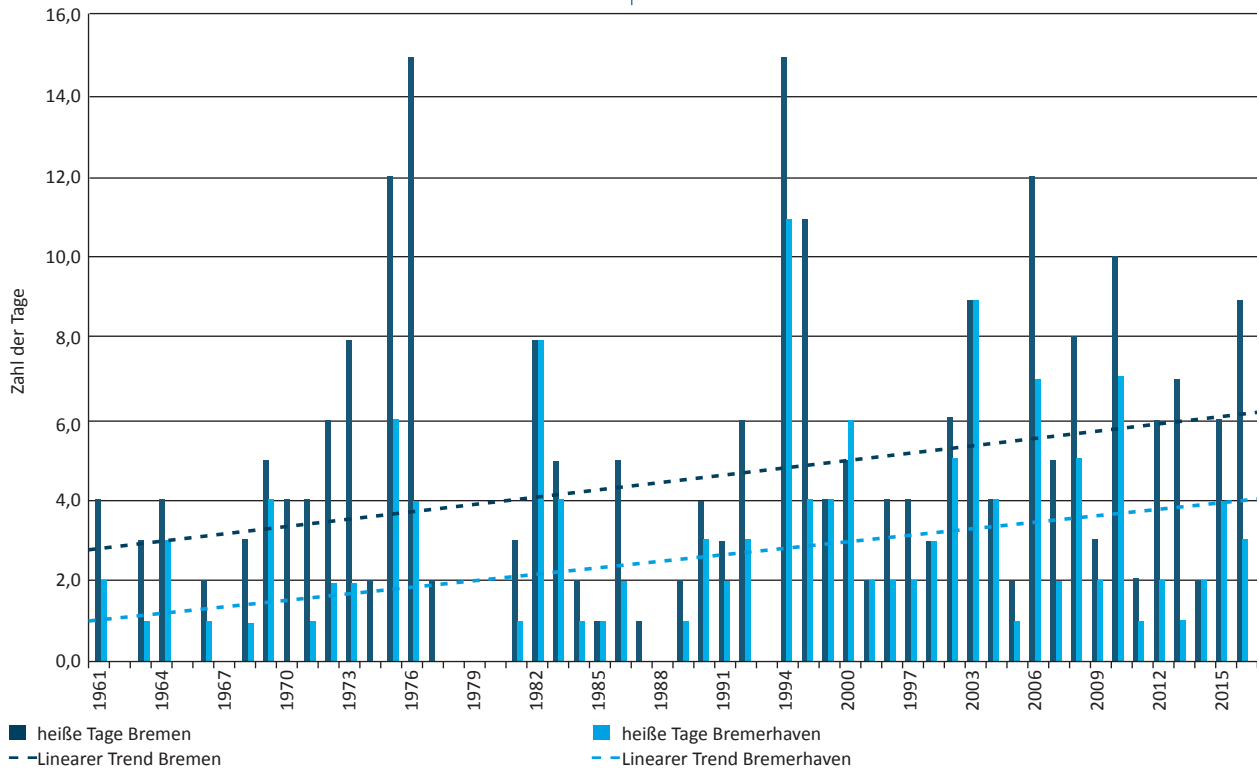


ABB. 16 Jährliche Anzahl der heißen Tage, Zeitraum 1961 bis 2016

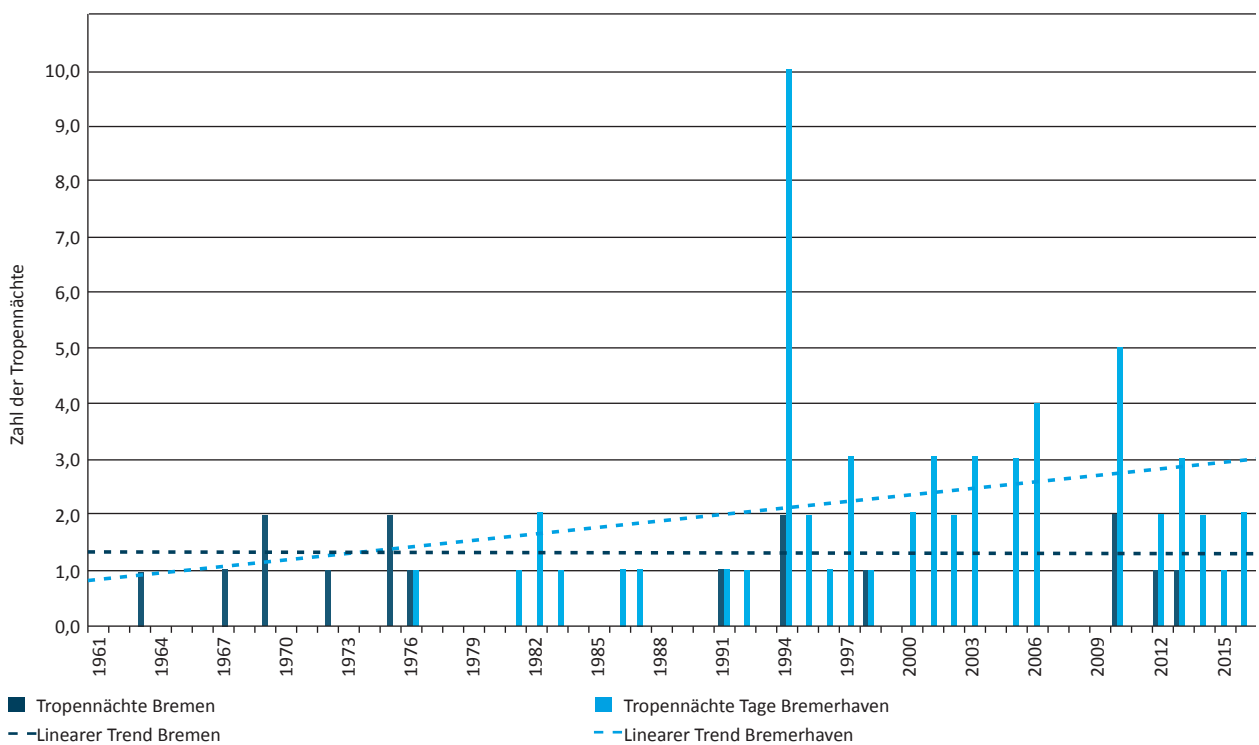


ABB. 17 Jährliche Anzahl der Tropennächte, Zeitraum 1961 bis 2016

Jahr zwischen 0 und 15 in Bremen, und zwischen 0 und 11 in Bremerhaven.

Bleibt eine erfrischende Abkühlung am Abend aus und sinkt das Minimum der Lufttemperatur auch in der Nacht nicht unter 20 °C (in der Zeit zwischen 18 bis 06 Uhr UTC (Universal Time Coordinated)), dann liegt eine Tropennacht vor. In Tropennächten ist oftmals eine erholsame Nachtruhe nicht gegeben. In Bremen gibt es im Mittel weniger als eine Tropennacht pro Jahr. In Bremerhaven wurde im Zeitraum 1971/2000 durchschnittlich 1 Tropennacht beobachtet. In Jahren mit sehr heißen Sommern wie 1994 sind in Bremerhaven allerdings 10 Tropennächte registriert worden, in Bremen dagegen nur zwei.

Mehrtägige Hitzeperioden können erhebliche negative Folgen für die Gesundheit haben. Um die negativen Auswirkungen möglichst gering zu halten, führte der Deutsche Wetterdienst im Jahr 2005 ein Hitzewarnsystem ein. Wetterlagen, die hohe Temperaturen, hohe Luftfeuchte, geringe Windgeschwindigkeit, intensive Sonneneinstrahlung und geringe nächtliche Abkühlung aufweisen, können zu hitzebedingten Erkrankungen führen. Das Hitzewarnsystem verwendet die aktuellen Wettervorhersagen, um Episoden mit hoher Wärmebelastung vorherzusagen.

Beim DWD wird das Klima-Michel-Modell (VDI, 1998) angewendet. Es basiert auf der Behaglichkeitsgleichung nach Fanger inkl. zusätzlicher Korrekturterme, welche die Resultate eines komplexeren Energiebilanzmodells über Parametrisierungen integrieren, wodurch insbesondere bei feucht-warmen Bedingungen, aber auch im Kalten eine realistischere Einschätzung erreicht wird. Das Klima-Michel-Modell liefert eine Aussage über das durchschnittliche subjektive Empfinden des Menschen (Behaglichkeit, Wärmebelastung, Kältestress). Der Name „Michel“ weist auf einen Standardmenschen hin. Zur Beschreibung des thermischen Empfindens dient die gefühlte Temperatur.

Diese stimmt häufig nicht mit der gemessenen Lufttemperatur überein, da das Empfinden neben der Lufttemperatur auch von den meteorologischen Größen Luftfeuchte, Wind und Strahlung sowie dem menschlichen Verhalten (insb. der Aktivität und Bekleidung) bestimmt wird. Die gefühlte Temperatur vergleicht die tatsächlich vorgefundenen Bedingungen mit der Temperatur, die in einer Standardumgebung herrschen müsste, um ein identisches Temperaturempfinden auszulösen. Die Bekleidung wird zwischen sommerlich leichter und winterlich dicker stets so variiert, dass sich der Mensch nach

Hitzewarnungen in Bremen und Bremerhaven				
Jahr	Tage mit Warnung vor starker Wärmebelastung		Tage mit Warnung vor extremer Wärmebelastung	
	Bremen	Bremerhaven	Bremen	Bremerhaven
2005	6	3	0	0
2006	14	5	1	0
2007	2	1	1	0
2008	8	3	0	0
2009	6	2	0	0
2010	12	7	3	1
2011	2	0	1	0
2012	7	3	1	0
2013	9	2	2	0
2014	6	0	0	0
2015	5	4	1	1
2016	8	3	0	0

TAB. 02

Möglichkeit behaglich fühlt. Liegt die gefühlte Temperatur 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 2006 und 2010 wurden für Bremen und Bremerhaven die meisten Warnungen vor starker Wärmebelastung ausgesprochen.

Die zehn wärmsten Jahre im Bundesland Bremen seit 1881	
2014	11,0°C
2007	10,6°C
2000	10,4°C
1999	10,4°C
2006	10,4°C
1934	10,3°C
2015	10,3°C
1990	10,3°C
2008	10,2°C
1992	10,1°C

TAB. 03

2.3 Zukunft

Ein weiterer Anstieg der Temperatur im Bundesland Bremen ist zu erwarten (*praktisch sicher, sehr hohes Vertrauen*). Für den kurzfristigen Planungshorizont (2021–2050) beträgt dieser Anstieg etwa 1,0 bis 1,3 °C (*wahrscheinlich, mittleres Vertrauen*). Der Unterschied zwischen den durch die Klimaprojektionen (Klimaschutz-Szenario und Weiter-wie-bisher-Szenario) projizierten Änderungen ist gering. Die Bandbreite der Ergebnisse liegt zwischen 0,7 und 2,1 °C.

Die Temperaturentwicklung für den langfristigen Planungshorizont wird stark vom gewählten Szenario bestimmt. Basierend auf dem Klimaschutz-Szenario ist eine Erhöhung um 1,1 °C zu erwarten (*wahrscheinlich, mittleres Vertrauen*). Erreicht wird die Stabilisierung auf dem Niveau des kurzfristigen Planungshorizontes durch die sehr starke Reduktion der Treibhausgasemissionen innerhalb der Szenariendefinition. Die Änderung im Vergleich zum vorindustriellen Zustand beträgt 2,4 °C. Unter den Bedingungen des Weiter-wie-bisher-Szenarios beträgt die Erwärmung etwa 3,6 °C (*wahrscheinlich, mittleres Vertrauen*). Die Bandbreite der Ergebnisse liegt zwischen 2,5 und 4,9 °C.

Die vorliegenden Ergebnisse des Weiter-wie-bisher-Szenarios entsprechen in etwa den Ergebnissen der vorhandenen Klimaprojektionen auf der Basis des SRES-Szenarios A1B.

Die Erwärmung ist in den verschiedenen Jahreszeiten ähnlich ausgeprägt, mit Ausnahme des Frühjahrs, hier fällt sie geringer aus. Mit der Temperaturzunahme

geht eine markante Zunahme der Temperaturextreme einher. Mit tiefen Temperaturen verbundene Extreme nehmen stark ab und mit Wärme verbundene Extreme nehmen stark zu (praktisch sicher, sehr hohes Vertrauen). Dadurch steigt die Häufigkeit von Hitzewellen.

KURZ NOTIERT

Beobachtung:

- Ungebrochener Trend der Erwärmung im Bundesland Bremen
- Anstieg der Jahresmitteltemperatur um 1,3 °C seit 1881
- Änderung der Extreme: Mehr Sommertage, weniger Frosttage

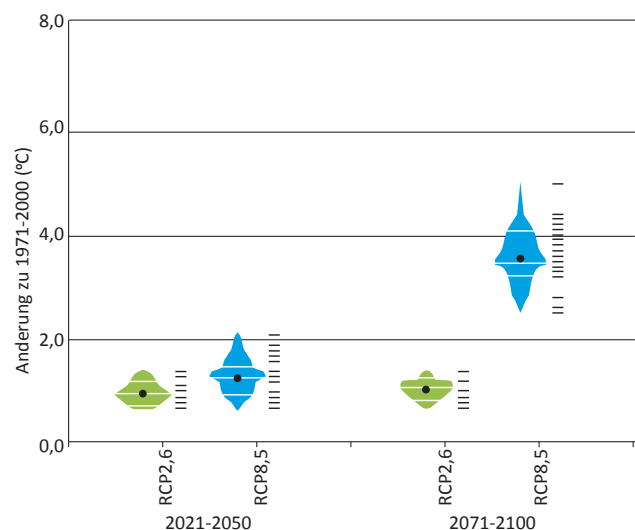
Kurzfristiger Planungshorizont:

- Landesweit eine mittlere Erwärmung um im Mittel 1,0 bis 1,3 °C

Langfristiger Planungshorizont:

- Beim Klimaschutz-Szenario Stabilisierung auf eine Erwärmung von 1,1 °C
- Beim Weiter-wie-bisher-Szenario eine mittlere Erwärmung um im Mittel 3,6 °C

ABB. 18 Darstellung der Bandbreite der vorhandenen Klimaprojektionen für die Jahresmitteltemperatur der Region Nordwestdeutsches Tiefland. Dargestellt sind die vorliegenden Änderungssignale für den kurzfristigen (2021–2050) und langfristigen (2071–2100) Planungshorizont, jeweils als Änderungssignal zum Bezugszeitraum 1971–2000. Es werden je Planungshorizont die Ergebnisse für das Klimaschutz-Szenario (RCP2.6, grün) denen des Weiter-wie-bisher-Szenarios (RCP8.5, blau) gegenübergestellt. Die dargestellten Körper symbolisieren den Bereich zwischen dem kleinsten und größten Änderungssignal innerhalb des betrachteten Szenarios. Die Breite des Körpers signalisiert die Wahrscheinlichkeit des Eintretens (je breiter, umso höher die Wahrscheinlichkeit). Zusätzlich eingetragen sind der Mittelwert (schwarzer Punkt) und die Perzentile (25, 50 und 75 %) als weiße Linien. Neben den Körpern werden als schwarze Linien die Einzelergebnisse der Modelle gezeigt.



Jahreszeitliche Mittelwerte der Temperatur und erwartete Änderungen						
	1961-1990	1971-2000	2021-2050 (RCP2.6)	2021-2050 (RCP8,5)	2071-2100 (RCP2.6)	2071-2100 (RCP8.5)
Frühjahr	8,0°C	8,5°C	+0,9°C	+1,1°C	+1,0°C	+2,9°C
Sommer	16,4°C	16,6°C	+1,0°C	+1,3°C	+1,0°C	+3,6°C
Herbst	9,6°C	9,5°C	+1,1°C	+1,5°C	+1,2°C	+4,0°C
Winter	1,4°C	2,1°C	+0,9°C	+1,3°C	+1,1°C	+3,9°C
Jahr	8,9°C	9,2°C	+1,0°C	+1,3°C	+1,1°C	+3,6°C

TAB. 04

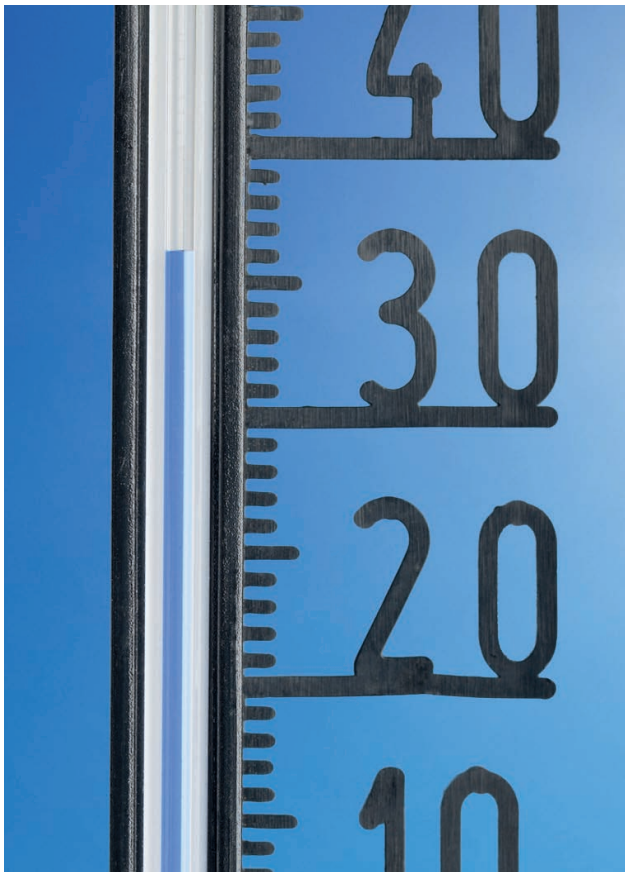


ABB. 19



ABB. 20

2.4 Stadtklimatologische Untersuchungen



ABB. 21 Stadtstation auf dem Lucie-Flechtmann-Platz, Bremen



ABB. 22 Umlandstation am Kuhgrabenweg (Blockland), Bremen

Das Klima einer Stadt unterscheidet sich merklich von dem des freien ländlichen Umfeldes. In diesem Zusammenhang ist u.a. die Bildung einer städtischen Wärmeinsel bekannt, die durch die dichte Bebauung und den gegenüber dem Umland geänderten Energieumsatz von Verkehr, Wirtschaft und Haushalten verursacht wird. Im Jahresmittel ergeben sich für deutsche Städte mit etwa 0,5 bis 2,0 K deutlich höhere Temperaturwerte im Vergleich zur ländlichen Region. Diese Unterschiede Stadt-Land prägen sich insbesondere an wolkenlosen, sonnenreichen und windschwachen Tagen aus. In Einzelfällen sind Temperaturunterschiede von mehr als 8 K möglich. Aber auch innerhalb einer Stadt ergeben sich abhängig von den Bau- und Nutzungsstrukturen unterschiedliche Ausprägungen der städtischen Wärmeinsel. Für die Stadtplanung ist es seit vielen Jahren u.a. auch Ziel diesen Wärmeinseleffekt zu mindern, um für die Bewohner ein lebenswertes, wenig Wärme belastendes Umfeld zu schaffen. Mit der Erwärmung auf Grund des bestehenden Klimawandels wird das allgemeine Temperaturniveau einer Region nochmals angehoben.

Bereits im Sommer 2012 ist das Stadtklima von Bremen mit temporären und mobilen Messungen untersucht worden. Im Sommer 2015 wurde dann in Bremerhaven eine mehrmonatige Messkampagne durchgeführt, die im August 2016 um Profilmessfahrten ergänzt werden konnte. Die Stadt Bremerhaven liegt an der Wesermündung in die Nordsee und damit im Einflussbereich des Nordseeküstenklimas: z. B. mäßige Tagesschwankungen der Temperatur, hohe Windgeschwindigkeiten, mäßig warme Sommer, milde Winter. Kann sich in dieser windigen und mäßig warmen Umgebung überhaupt ein städtischer Wärmeinseleffekt ausbilden?

Das Stadtklima kann untersucht werden anhand von meteorologischen Messungen an verschiedenen Orten in der Stadt und dem ländlichen Umland oder aber auch durch Modellrechnungen. Die Errichtung eines Messnetzes in der Stadt ist mit einigem Aufwand verbunden, man erhält aber meteorologische Daten an realen Orten. Als Input für Modellrechnungen werden zunächst kleinskalige Basisdaten der Stadtstruktur benötigt. Die Modellrechnungen ergeben berechnete meteorologische Daten für virtuelle Orte. Beide Methoden haben Vor- und Nachteile. Für diesen Bericht wurde das Stadtklima anhand von meteorologischen Messungen untersucht.

In Bremen waren von Juli bis September 2012 temporäre Wetterstationen auf dem Lucie-Flechtmann-Platz und am Kuhgraben eingerichtet, deren Messwerte mit denen der Wetterstation Bremen verglichen wurden. Im August 2012 wurden Profilmessfahrten auf zwei Routen durch das Stadtgebiet von Bremen durchgeführt.

Die temporären Messungen ergaben in der Stadt um 1 K höhere Tageshöchsttemperaturen im Vergleich zum Umland. Die Profilmessfahrten wiesen im Stadtgebiet am Morgen und am Nachmittag örtlich gut 2 K höhere Temperaturen als die Referenzwerte der Station Bremen-Flughafen auf. Streckenweise lagen die Lufttemperaturen aber auch um 2 K unterhalb der Referenzwerte. Wird ein städtischer Wärmeinseleffekt von 1 bzw. 2 K angesetzt, steigt die jährliche Anzahl der Sommertage von 25,7 auf 33,3 bzw. 41,3 Tage. Die mittlere Andauer der sommerlichen Perioden nimmt von 2,7 auf 3 Tage zu, ebenso verlängert sich die längste Andauer von 21 auf 25 bis 26 Tage.



ABB. 23 Profilmessfahrt Bremen am 18. August 2012, 18:50 - 21.11 UTC

Im Bremerhavener Stadtgebiet wurden von Juni bis September 2015 an zwei temporären Wetterstationen Windgeschwindigkeit und -richtung, Lufttemperatur und Luftfeuchte gemessen. Die „Stadtstation“ war im Stadtteil Lehe in der Lutherstraße installiert, die „Umlandstation“ in den Schiffdorfer Wiesen, wenige hundert Meter östlich der Autobahn A 27. Die erhobenen Daten wurden verglichen mit den kontinuierlichen Messungen der Wetterstation Bremerhaven. Dabei hat sich gezeigt, dass die Wetterstation Bremerhaven aufgrund

ihrer Lage am Weserufer stark maritim geprägt ist und sich die dortigen Lufttemperaturen und Windgeschwindigkeiten von denen der Stadtstation und der Umlandstation teilweise deutlich unterscheiden. An der Wetterstation ist es windiger, tags etwas kühler, aber nachts wärmer als in der Stadt und im Umland. Die Mitteltemperaturen im Messzeitraum betragen an der Wetterstation und in der Stadt um 16,8 °C; in den Wiesen 16,0 °C. Die absoluten Höchsttemperaturen lagen zwischen 34,8 und 35,1 °C, dabei war es an den besonders heißen

Tagen an allen Messorten ähnlich heiß. Markante Unterschiede waren bei den absoluten Minimumtemperaturen sichtbar (Umlandstation 0,9 °C, Stadtstation 6,2 °C, Wetterstation 7,5 °C) sowie bei den mittleren und höchsten Windgeschwindigkeiten: an der Umlandstation 2,5 m/s (Maximum 13,3 m/s), in der Stadt 0,6 m/s (Maximum 2,7 m/s), an der Wetterstation 5,1 m/s (Maximum 21,0 m/s). Sobald ausschließlich windschwache Strahlungswetterlagen betrachtet werden, treten die Unterschiede deutlicher zu Tage. Tagsüber ist es dann an der Stadtstation wärmer als an der Wetterstation (+ 0,7 K) und der Umlandstation (+ 0,6 K). In windschwachen Nächten ist es an der Wetterstation etwas wärmer (+ 0,3 K) als in der Stadt und sogar deutlich wärmer (+ 1,7 K) als an der Wiesenstation. Der gemessene Wärmeineffekt von + 0,7 K bedeutet, dass jährlich 25 % mehr Sommertage und 40 % mehr Hitzetage in der Stadt auftreten als an der Wetterstation.

Die im August 2016 durchgeführten Profilmessfahrten haben den gemessenen Wärmeineffekt im Wesentlichen bestätigt, aber auch gezeigt, dass es in innerstädtischen Quartieren örtlich noch deutlich höhere Überwärmungen gibt. Ein ‚Innenstadtzuschlag‘ von 1,0 bzw. 2,0 K auf die Höchsttemperaturen der Wetterstation

ergibt dort zusätzlich 37 bzw. 76 % Sommertage und 62 bzw. 132 % Hitzetage. Die Messfahrten sind während einer sommerlichen Hochdrucklage am 24./25.08.2016 dreimal täglich (frühmorgens, nachmittags, abends) auf zwei festen Routen durchgeführt worden.

Trotz der im Vergleich zu anderen Gegenden Deutschlands sehr guten Belüftung in der Norddeutschen Tiefebene zeigt sich in unseren Messungen sowohl in Bremen als auch in Bremerhaven ein ausgeprägter städtischer Wärmeineffekt. Entsprechend des globalen Temperaturgeschehens im Rahmen des Klimawandels wird auch im Land Bremen ein Temperaturanstieg zu verzeichnen sein. Beide Effekte führen in den städtischen Siedlungsräumen sowohl tagsüber als auch nachts zu einem markanten Anstieg Wärme belastender Situationen.

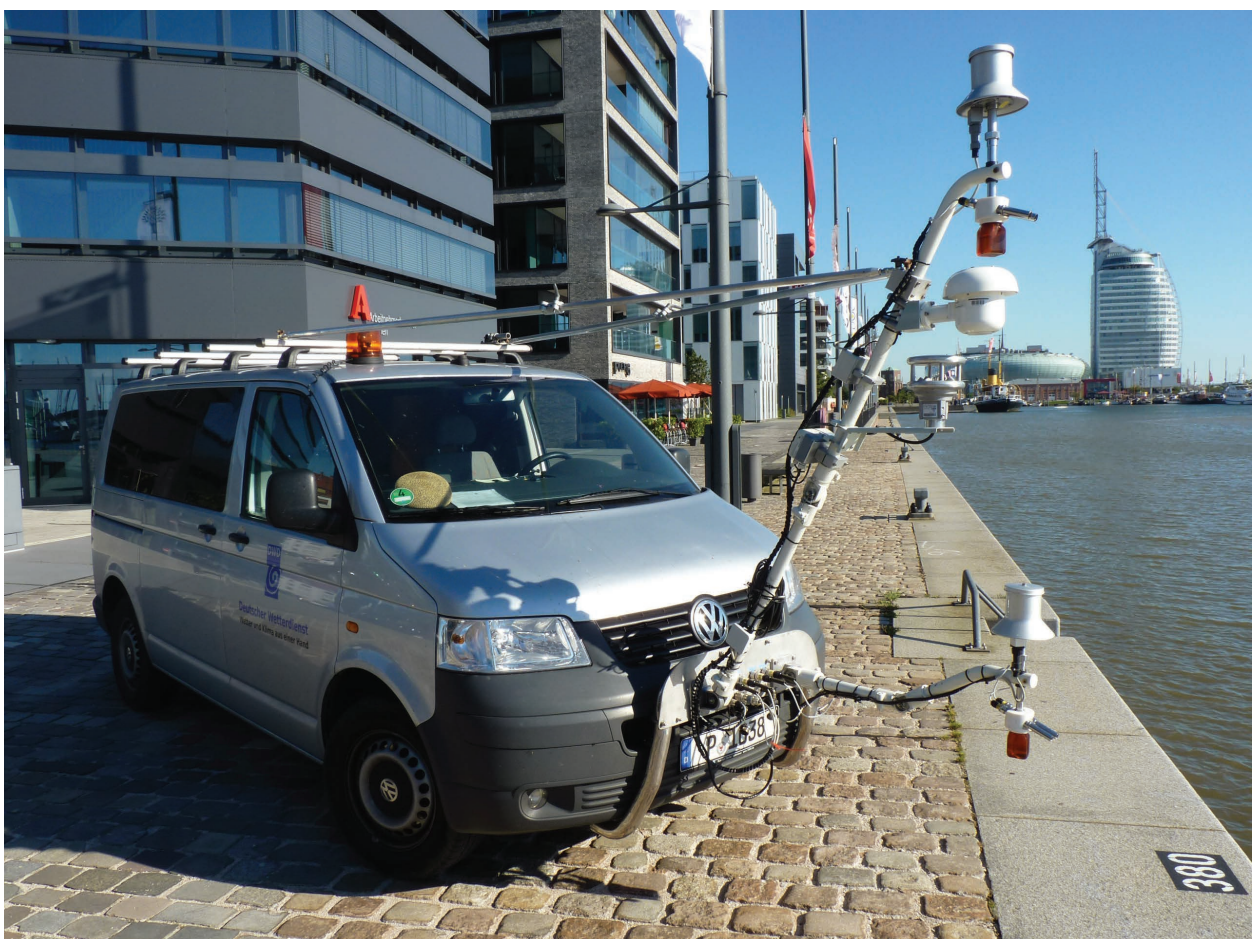


ABB. 24 Mobile Messeinheit des Deutschen Wetterdienstes in Bremerhaven



ABB. 25 Temporäre Messstation auf dem Lucie-Flechtmann-Platz in Bremen

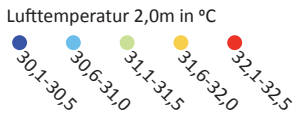
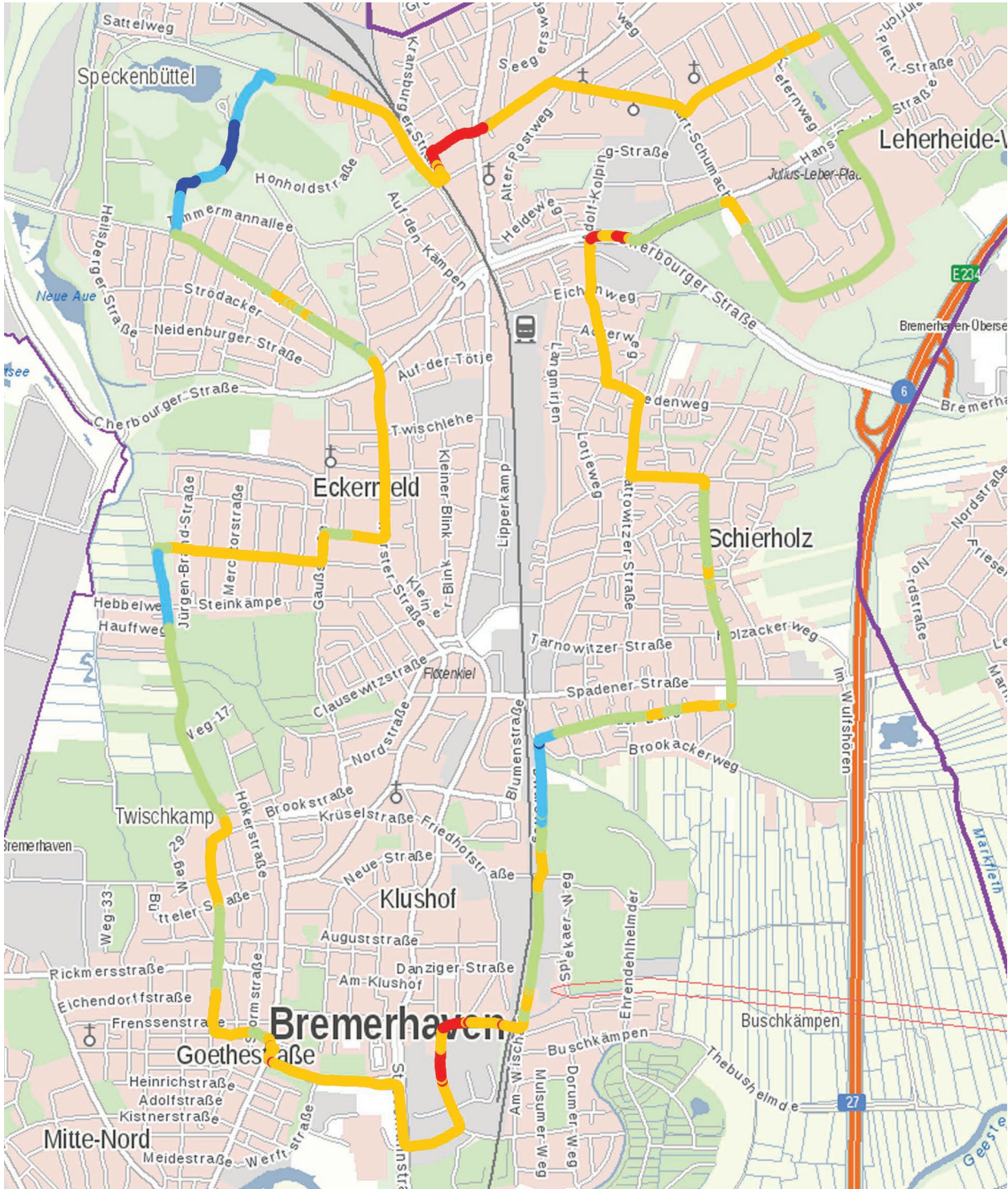


ABB. 26 Profilmessfahrt Bremerhaven (Nordroute) am 25.08.2016, 13:00-13:53 UTC



ABB. 27 Profilmessfahrt Bremerhaven (Südroute) am 25.08.2016, 19:56-20:46 UTC



Niederschlag

3.1 Vergangenheit und Gegenwart

Die mittlere jährliche Niederschlagshöhe liegt in der Region Bremen und Bremerhaven zwischen 700 und 800 mm (Abb. 28). Das Gebietsmittel für Bremen und Bremerhaven zeigt in den letzten Jahren für die Jahressummen des Niederschlages einen ansteigenden Trend. Das höchste Flächenmittel wurde 1998 mit 1027 mm ermittelt, während im Jahr 1959 mit 440 mm der niedrigste Wert auftrat. Im Trend gibt es für das Land Bremen im Zeitraum 1882 bis 2016 einen Zuwachs in der Jahressumme von ca. 100 mm (Abb. 29).

Die jahreszeitlichen Unterschiede werden in den Abb. 30 bis 33 dargestellt. Der Februar weist im Mittel mit 40 mm (Abb. 34) die geringsten Niederschläge auf, sehr dicht gefolgt vom April mit 42 mm. Der Juni ist mit 77 mm der niederschlagsreichste Monat, dicht gefolgt vom Juli mit 71 mm. In den Einzelmonaten schwanken die Niederschlagshöhen deutlich. In allen Monaten sind Niederschlagshöhen von über 200 % der mittleren Monatshöhe aufgetreten. Im August 1960 wurden sogar über 300 % des langjährigen Mittelwertes registriert. Es sind Monate mit sehr wenig Niederschlag (kleiner/gleich 5 mm) vorgekommen, aber Monate gänzlich ohne Regen gab es im Zeitraum 1882 bis 2016 nicht. Die Niederschlagsverhältnisse vor Ort werden einerseits durch die Niederschlagshöhe beschrieben, zum ande-

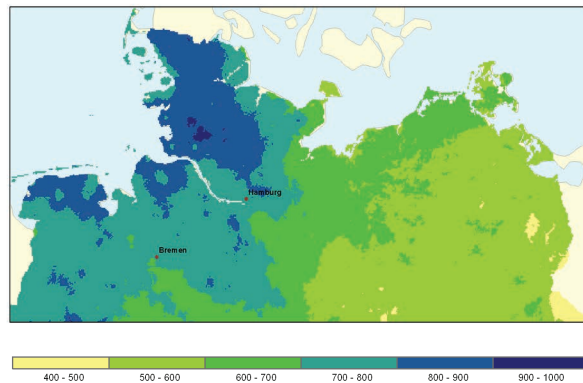


ABB. 28 Jahressummen der Niederschlagshöhe (in mm)

ren ist auch die Kenntnis der Anzahl der Tage mit Niederschlag notwendig. Die Anzahl der Niederschlagstage mit Niederschlagshöhen $\geq 0,1$ mm liegt im Mittel bei gut 190 pro Jahr (Abb 35). Als größte Anzahl wurden im Land Bremen bisher 236 Tage und als niedrigste Anzahl 149 Tage verzeichnet. Mit 87 Tagen Differenz zwischen höchster und geringster bisheriger jährlicher Anzahl ist die Schwankung beträchtlich. Die mittlere Tagessumme der Niederschlagshöhe liegt in der Region Bremen und Bremerhaven bei 2,0 mm (1971/2000).

Eine Schneedecke liegt im langjährigen Mittel in Bremen an ca. 20 Tagen, in Bremerhaven an ca. 18 Tagen im Jahr (Bezugszeitraum 1971/2000).

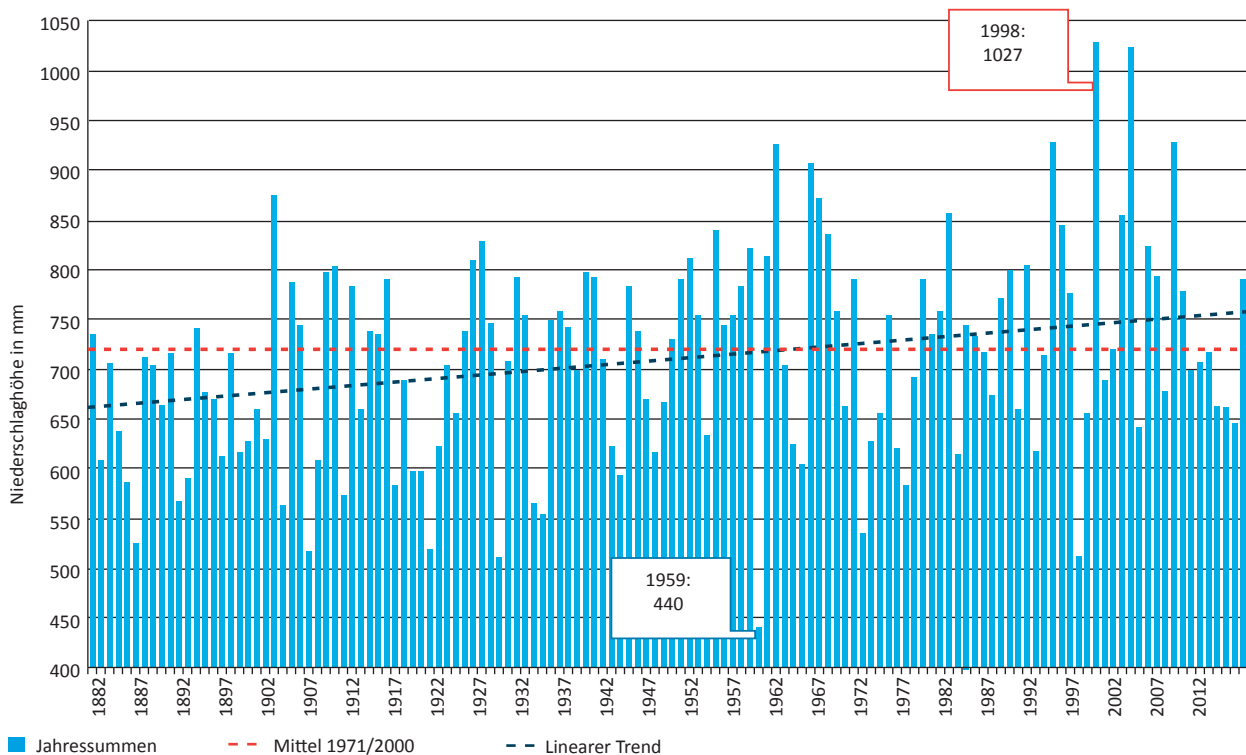


ABB. 29 Jahressummen der Niederschlagshöhe, Gebietsmittel Land Bremen

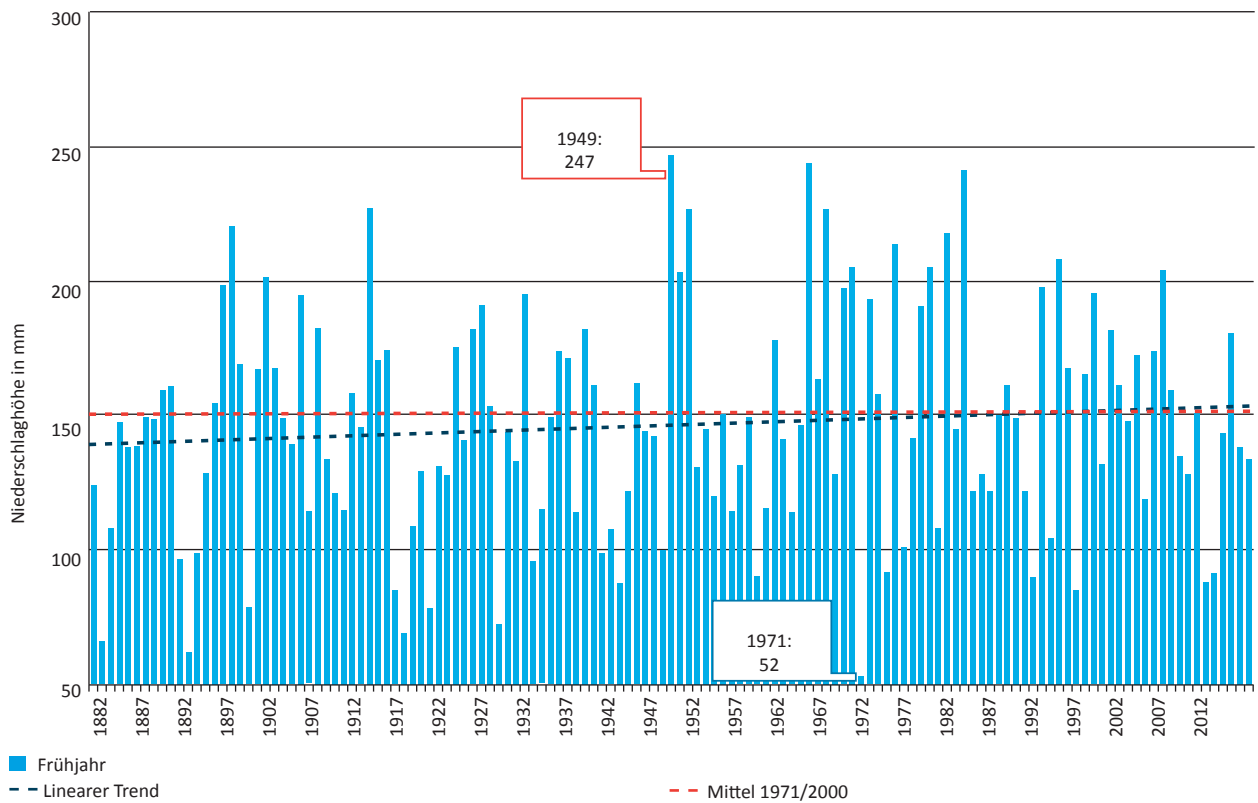


ABB. 30 Gebietsmittel der Niederschlagshöhe im Frühjahr, Land Bremen

Das Gebietsmittel der Niederschlagshöhe im Frühjahr beträgt für das Land Bremen 151 mm. Das nasseste Frühjahr wurde 1949 mit 247 mm und das trockenste 1971 mit nur 52 mm verzeichnet (Abb. 30). Das Gebietsmittel der Niederschlagshöhe im Sommer liegt für das Land Bremen bei 211 mm. Der nasseste Sommer trat 2002 mit 381 mm und der trockenste 1983 mit 78 mm auf (Abb. 31).

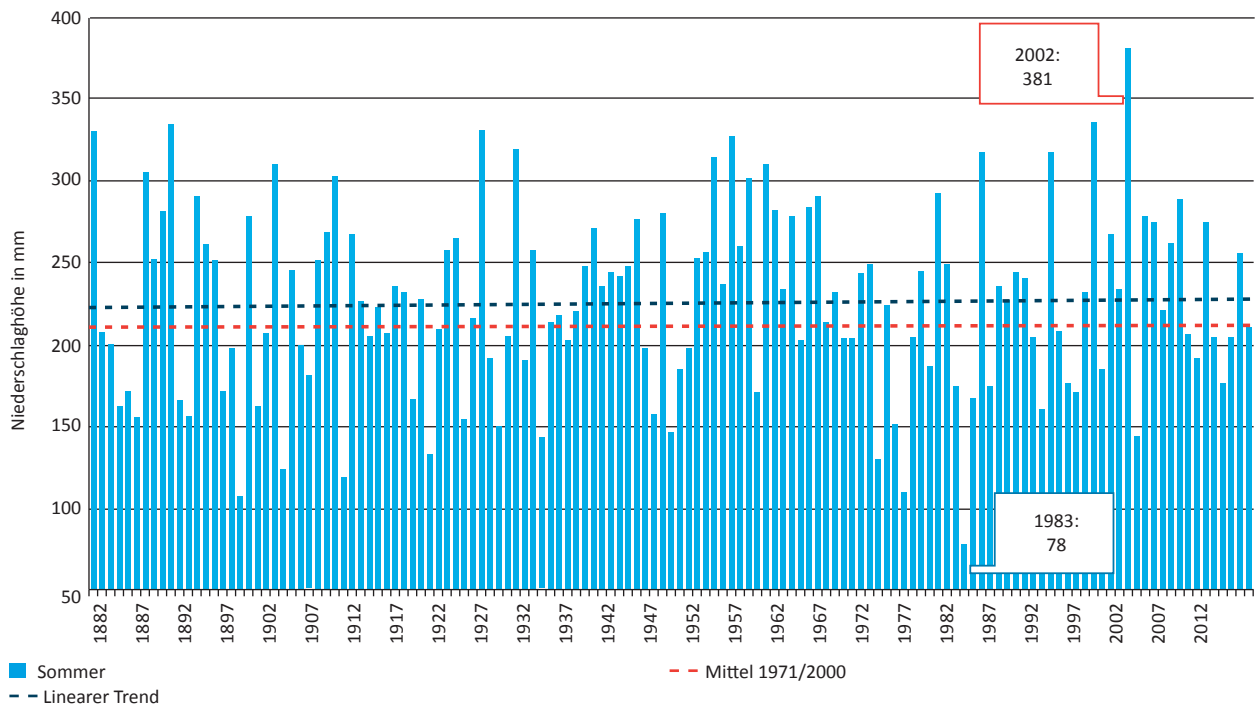


ABB. 31 Gebietsmittel der Niederschlagshöhe im Sommer, Land Bremen

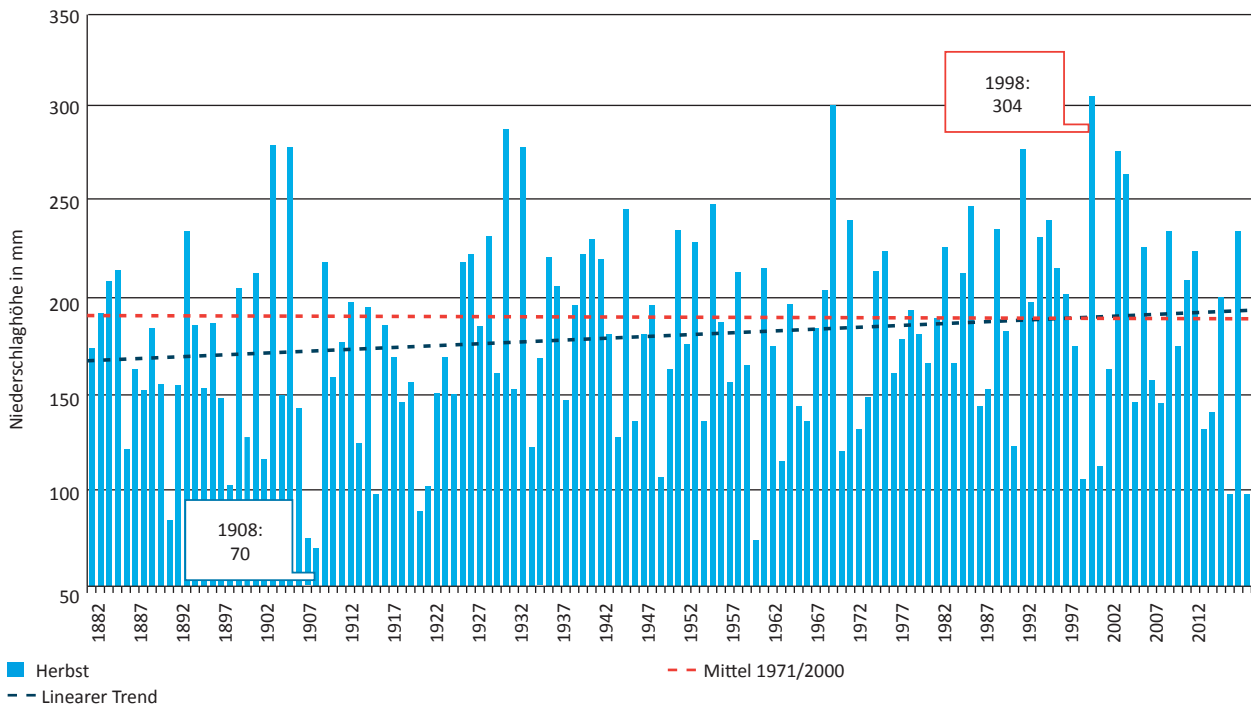


ABB. 32 Gebietsmittel der Niederschlagshöhe im Herbst, Land Bremen

Im Zeitraum 1882 bis 2016 zeigt der lineare Trend für den Herbst eine Zunahme der Niederschlagshöhe von ca. 25 mm. Das herbstliche Gebietsmittel für die Region Bremen und Bremerhaven liegt bei 190 mm. Den niederschlagsreichsten Herbst mit 304 mm gab es 1998, den niederschlagsärmsten 1908 mit 70 mm (Abb. 32). Für den Winter ist eine deutliche Zunahme der Niederschlagshöhe von etwa 55 mm zu erkennen. Die höchsten Niederschlagssummen traten im Winter des Jahres 1994/1995 und die geringsten im Winter 1890/1891 auf (Abb. 33).

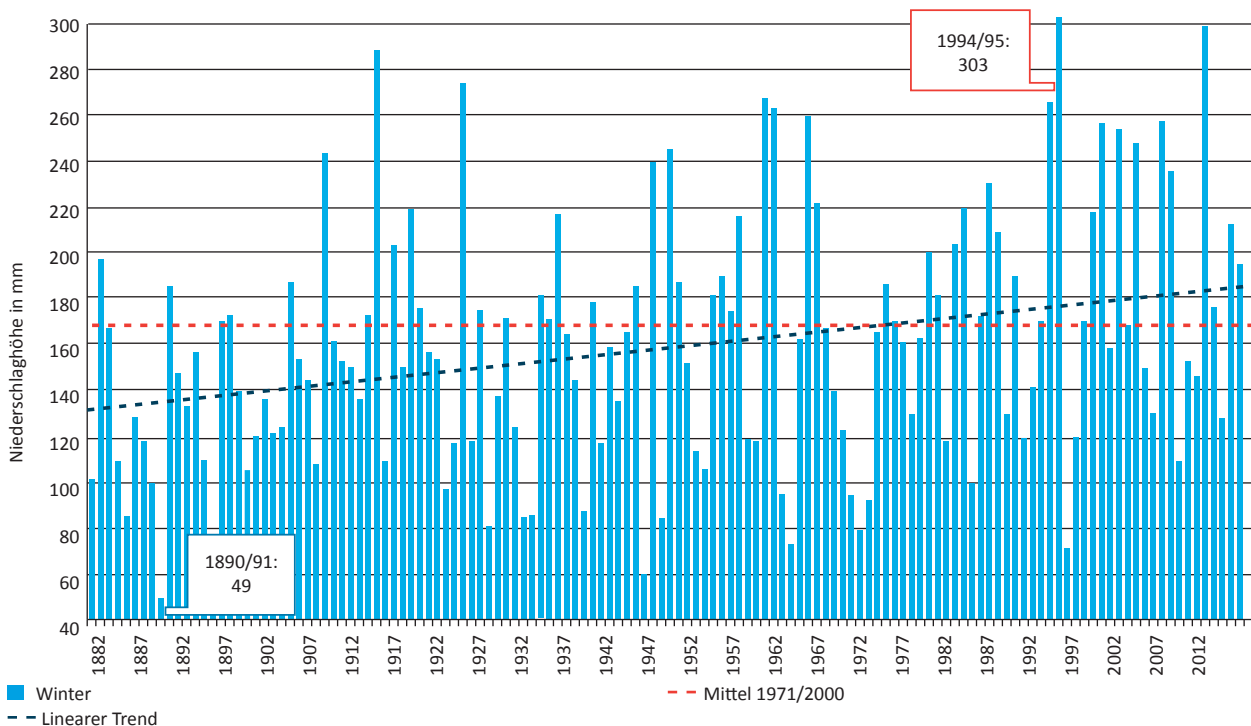


ABB. 33 Gebietsmittel der Niederschlagshöhe im Winter, Land Bremen

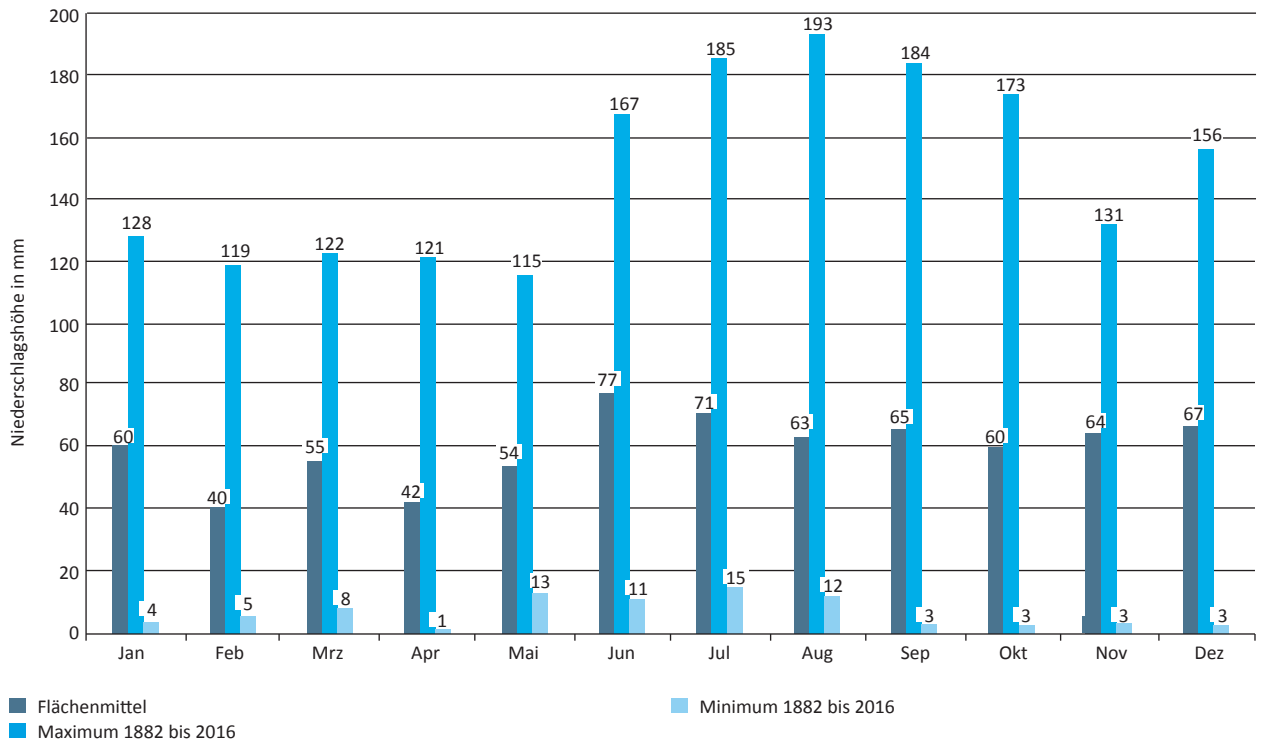


ABB. 34 Monatssummen der Niederschlagshöhe Land Bremen, Gebietsmittel 1971/2000

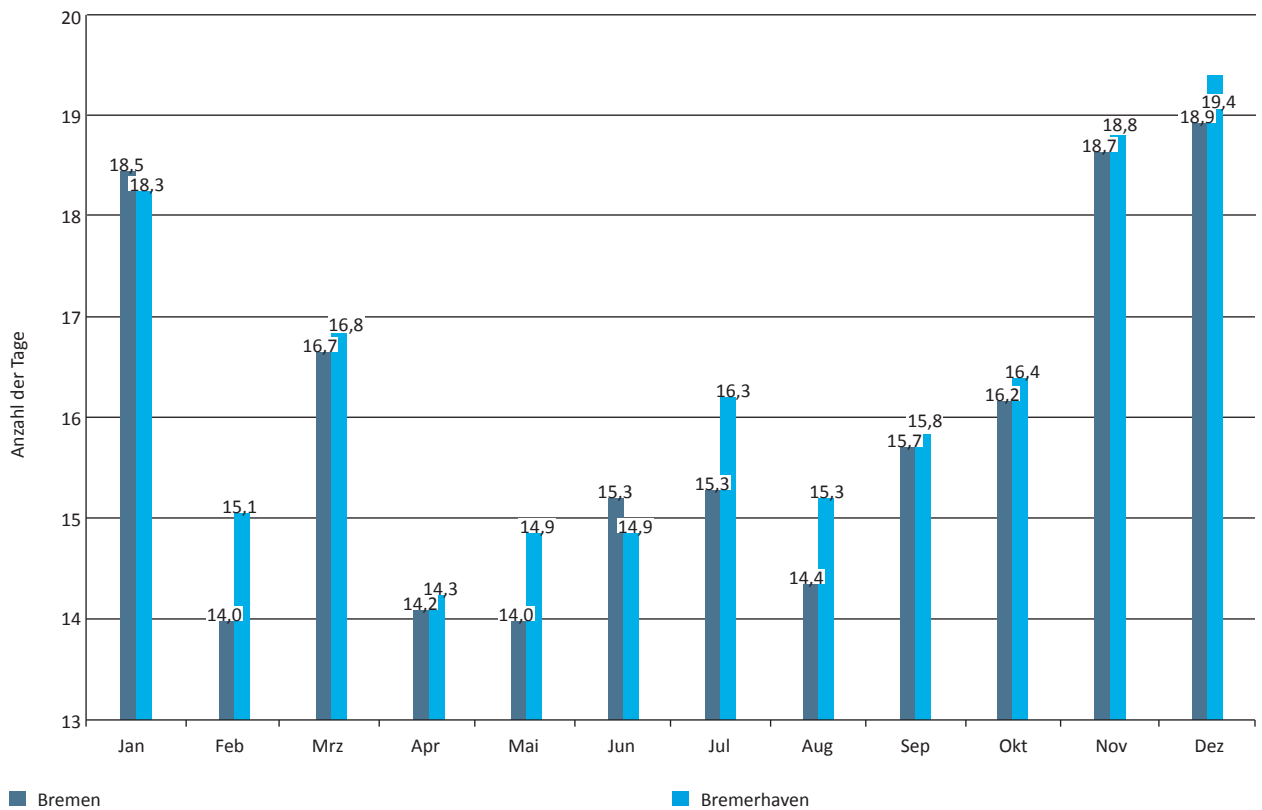


ABB. 35 Mittlere Anzahl der Niederschlagstage $\geq 0,1$ mm für den Bezugszeitraum 1971/2000

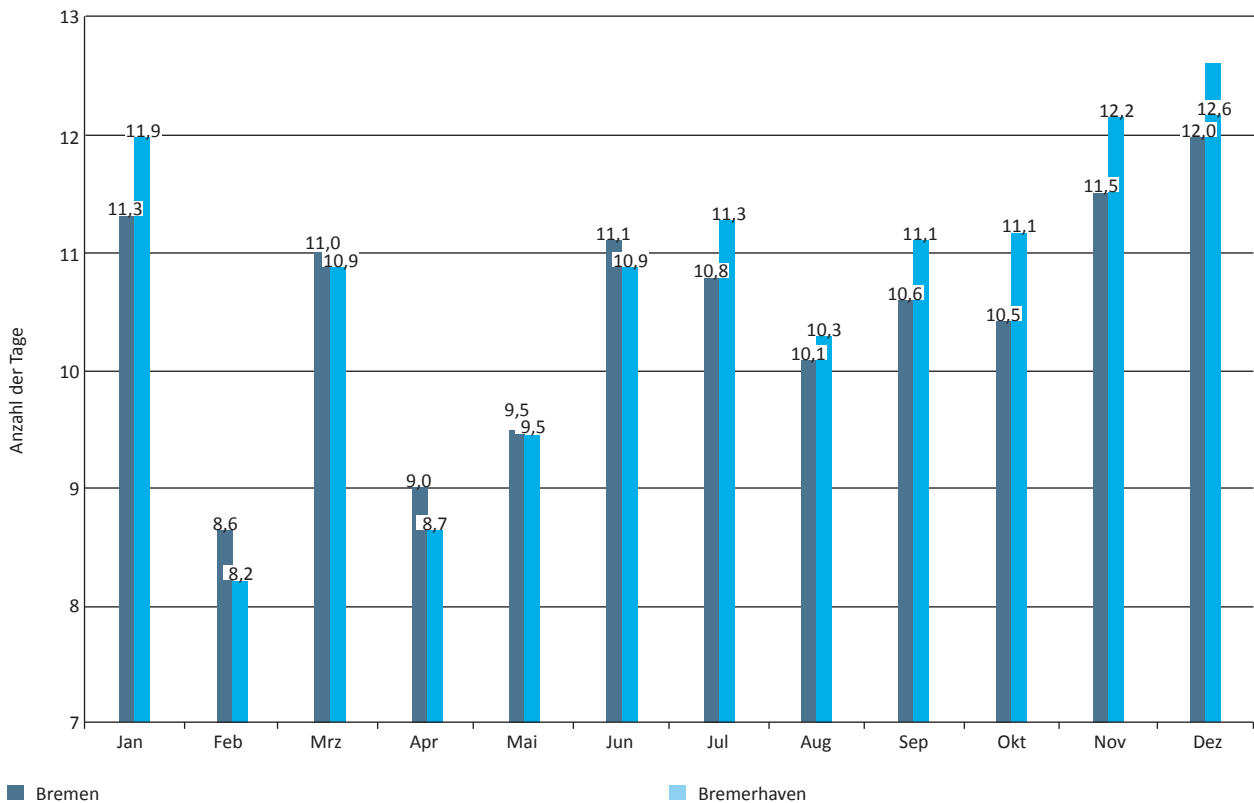


ABB. 36 Mittlere Anzahl der Niederschlagstage $\geq 1,0$ mm für den Bezugszeitraum 1971/2000

Im langjährigen Mittel sind in Bremen pro Jahr an ca. 126 und in Bremerhaven an ca. 129 Tagen Tagessummen der Niederschlagshöhe von $\geq 1,0$ mm zu erwarten (Abb. 36). Über das Jahr sind in Bremen im langjährigen Mittel an ca. 15 und in Bremerhaven an ca. 18 Tagen Tagessummen der Niederschlagshöhe von $\geq 10,0$ mm zu erwarten (Abb. 37).

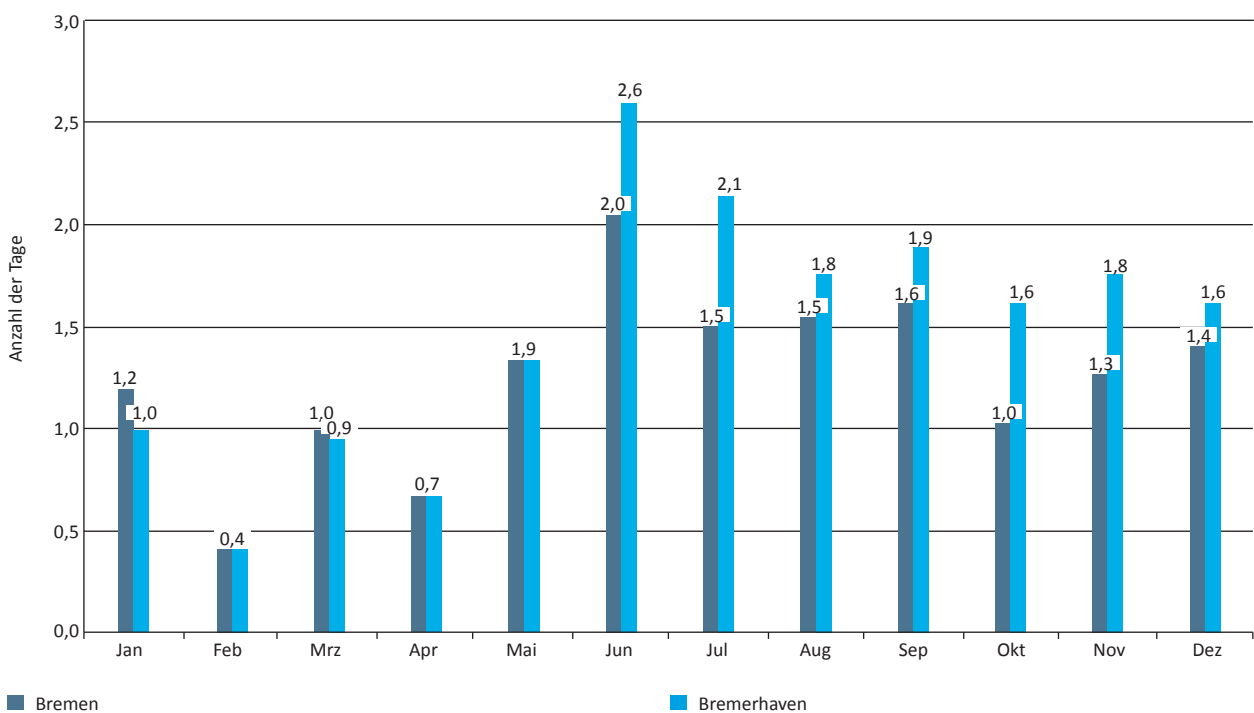


ABB. 37 Mittlere Anzahl der Niederschlagstage $\geq 10,0$ mm für den Bezugszeitraum 1971/2000

Mittelwerte der Niederschlagshöhe in mm für die Jahreszeiten und verschiedene Bezugszeiträume (Vergleich: Land Bremen und Deutschland)				
Saison		1961-1990	1971-2000	1981-2010
Frühjahr	Land Bremen	159	151	155
	Deutschland	186	179	187
Sommer	Land Bremen	219	211	226
	Deutschland	239	234	240
Herbst	Land Bremen	185	190	199
	Deutschland	183	191	198
Winter	Land Bremen	160	169	179
	Deutschland	181	183	193
Jahr	Land Bremen	726	720	759
	Deutschland	789	788	819

TAB. 05



ABB. 38

3.2 Starkregen

Von besonderer Bedeutung ist die Betrachtung der Entwicklung von Starkniederschlägen. Zu einer diesbezüglichen Abschätzung kann der Kenntag mit einer Tagessumme des Niederschlags ≥ 20 mm herangezogen werden. Die größte Zahl derartiger Starkregenereignisse in einem Jahr trat 2008 mit 10 Tagen in Bremerhaven auf. 2002 wurden sowohl in Bremen als auch in Bremerhaven 7 Starkregentage registriert. Es werden auch Jahre verzeichnet, in denen gar kein Tag mit einer Niederschlagshöhe ≥ 20 mm beobachtet wird. Im langjährigen Mittel (1971/2000) ist mit 3 derartigen Ereignissen zu rechnen. Eine eindeutige Trendaussage ist hier nicht möglich. Extreme Niederschlagsereignisse können sowohl mehrere Stunden oder mehrere Tage anhaltende Niederschläge mit hohen Niederschlagssummen sein als auch Niederschläge kurzer Dauer mit hoher Intensität. Die extremen, gewittrigen Kurzzeitniederschläge sind im Allgemeinen lokal begrenzt. Dies führt dazu, dass das bestehende Messnetz sie nicht immer erfasst. Hier werden zukünftig die Auswertungen des Niederschlagsradars zu einer Informationsverbesserung führen. Die bisher höchsten gemessenen Tagessummen der Niederschlagshöhe wurden in Bremen mit 78,5 mm und in Bremerhaven mit 70,5 mm registriert.

Die zehn niederschlagsreichsten Jahre in Bundesland Bremen seit 1881	
1998	1027 mm
2002	1023 mm
1961	929 mm
1993	928 mm
2007	928 mm
1965	907 mm
1903	874 mm
1966	871 mm
1981	857 mm
2001	855 mm

TAB. 06

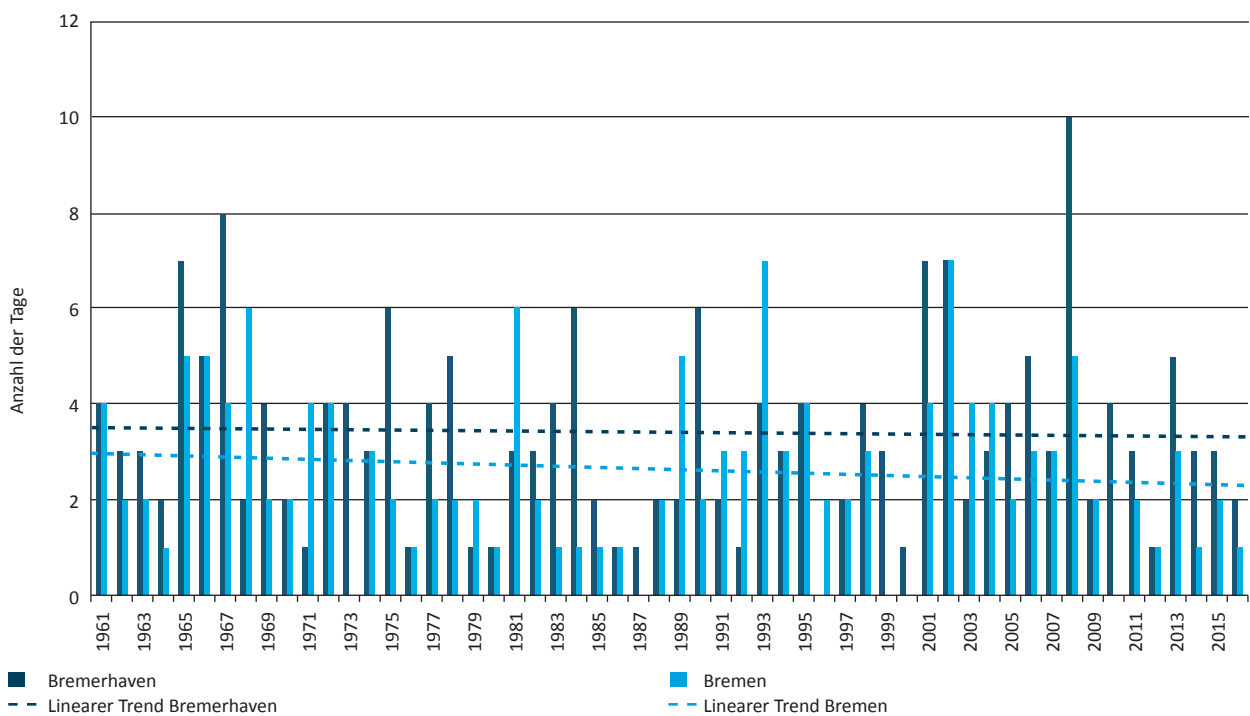


ABB. 39 Anzahl der Tage mit einer Niederschlagshöhe von ≥ 20 mm

3.3 Trockenperioden

Eine „Trockenperiode“ ist ein mehr oder weniger langer Zeitraum mit ausgeprägter trockener Witterung. Es existieren keine einheitlichen Festlegungen, ab wieviel Tagen ohne (oder mit nur sehr geringen) Niederschlägen von einer „Trockenperiode“ die Rede sein kann. Sie hängt vom Wasserbedarf der einzelnen Bereiche ab und kann demzufolge in der warmen Jahreszeit schon nach einigen trockenen Tagen beginnen. Im Winter sorgt die wegen der niedrigen Luft- und Bodentemperaturen gegenüber dem Sommer stark verminderte Verdunstung dafür, dass trotz minimaler Niederschläge eines Monats eine echte „Trockenperiode“ nur schwer erreicht werden kann. Der Grundwasserstand und die Wasserstände der Flüsse sind dabei ebenfalls zu beachten. Liegen die Ausgangswerte vor einer Periode mit keinen oder nur geringen Niederschlägen recht hoch, dauert es entsprechend länger, bis es zu einer „Trockenperiode“ kommt. Zur Erfassung von Trockenperioden kann z. B. die Häufigkeit von Episoden mit mindestens 10 aufeinanderfolgenden Tagen ohne Niederschlag betrachtet werden. Aber wie schon bei den Starkniederschlägen ist auch hier aufgrund der Seltenheit derartiger Ereignisse (im Mittel ca. 1,3 Fälle pro Sommer für Deutschland) keine statistisch gesicherte Veränderung seit den 1950er Jah-

Die zehn niederschlagsärmsten Jahre im Bundesland Bremen seit 1881

1959	440 mm
1929	509 mm
1996	511 mm
1907	517 mm
1921	520 mm
1887	525 mm
1971	535 mm
1934	551 mm
1904	564 mm
1892	567 mm

TAB. 07

ren zu beobachten. Hinzu kommen ausgeprägte natürliche Schwankungen mit abwechselnden Phasen stärkerer und geringerer Trockenheit, wie sie in ähnlicher Form auch bei den Starkniederschlägen zu finden sind.



ABB. 40

3.4 Zukunft

Eine deutliche Änderung der mittleren Jahressumme des Niederschlags im kurzfristigen Planungshorizont (2021–2050) ist für das Bundesland Bremen nicht zu erwarten (*praktisch sicher, sehr hohes Vertrauen*). Berechnet wird eine Zunahme des mittleren Jahresniederschlags von 2 bis 5 % (*wahrscheinlich, mittleres Vertrauen*). Der Unterschied zwischen den Szenarien ist gering. Die Bandbreite der Ergebnisse liegt zwischen –3 % und +11 % Änderung. Grundsätzlich muss angemerkt werden, dass eine modellierte Änderung unterhalb von 10 % nicht von der natürlichen Klimavariabilität unterschieden werden kann. Diese Schwelle gilt auch für alle nachfolgenden Werte. Die oben und im weiteren Text geschriebenen Attribute mittleres bis sehr hohes Vertrauen beziehen sich auf die wissenschaftliche Plausibilität und die einheitliche Tendenz der Modellergebnisse.

Für den langfristigen Planungshorizont (2071–2100) ist für das Bundesland Bremen mit einer Zunahme des Jahresniederschlags um +10 % zu rechnen (*praktisch sicher, sehr hohes Vertrauen*). Die Änderung ist in allen Teilen des Landes in etwa gleich stark ausgeprägt.

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

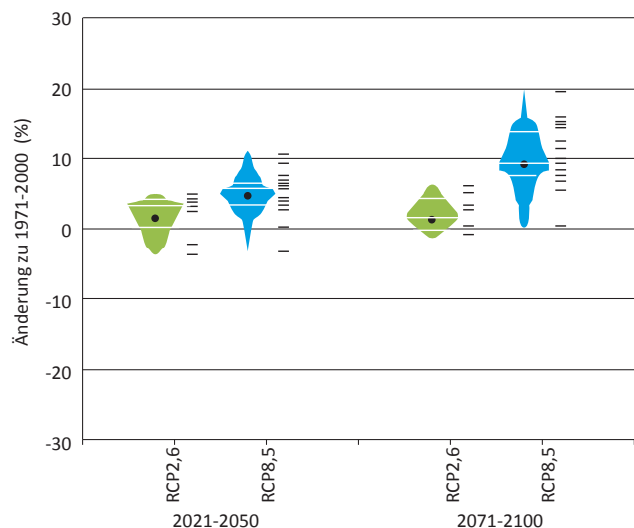


ABB. 41



ABB. 42

ABB. 43 Darstellung der Bandbreite der vorhandenen Klimaprojektionen für die Jahresniederschlagssumme der Region Nordwestdeutsches Tiefland. Dargestellt sind die vorliegenden Änderungssignale für den kurzfristigen (2021–2050) und langfristigen (2071–2100) Planungshorizont, jeweils als Änderungssignal zum Bezugszeitraum 1971–2000. Es werden je Planungshorizont die Ergebnisse für das Klimaschutz-Szenario (RCP2.6, grün) denen des Weiter-wie-bisher-Szenarios (RCP8.5, blau) gegenübergestellt. Die dargestellten Körper symbolisieren den Bereich zwischen dem kleinsten und größten Änderungssignal innerhalb des betrachteten Szenarios. Die Breite des Körpers signalisiert die Wahrscheinlichkeit des Eintretens (je breiter, umso höher die Wahrscheinlichkeit). Zusätzlich eingetragen sind der Mittelwert (schwarzer Punkt) und die Perzentile (25, 50 und 75 %) als weiße Linien. Neben den Körpern werden als schwarze Linien die Einzelergebnisse der Modelle gezeigt.



JAHRESZEITLICHE UNTERSCHIEDE

Eine Betrachtung nach Jahreszeiten ergibt nennenswerte Unterschiede. Für den kurzfristigen Planungshorizont 2021–2050 werden unter Verwendung aller RCP-Szenarien für den Winter Zunahmen der Niederschlagsmenge um +5 bis +7 % berechnet (*praktisch sicher, sehr hohes Vertrauen*). Für den Sommer ist eine Richtungsaussage nicht möglich. Die Spannweite der Ergebnisse liegt im Bereich von geringen Zunahmen bis hin zu einem leichten Rückgang. In den Übergangsjahreszeiten zeigen sich für diesen Planungshorizont Zunahmen der mittleren Niederschlagssumme von bis zu +3% (Herbst) bzw. bis zu +7% (Frühjahr) (*praktisch sicher, sehr hohes Vertrauen*).

Im Frühjahr und im Herbst kann die Änderung für den langfristigen Planungshorizont (2071–2100) ± 0 bis +14 % betragen (*praktisch sicher, sehr hohes Vertrauen*), wohingegen die Änderung im Winter bis zu +18% betragen kann (*wahrscheinlich, mittleres Vertrauen*). Für den Sommer werden in diesem Planungshorizont im Mittel über alle Szenarien Abnahmen der Niederschlagshöhe berechnet. Die Abnahme ist beim Weiter-wie-bisher-Szenario (–4 %) stärker ausgeprägt als beim Klimaschutz-Szenario (–1 %). Die Spannweite liegt im Weiter-wie-bisher-Szenario zwischen einer Zunahme um +27 % (*unwahrscheinlich, sehr geringes Vertrauen*) und einer Abnahme um –43 % (*unwahrscheinlich, sehr geringes Vertrauen*). Die vorliegenden Ergebnisse des Weiter-wie-bisher-Szenarios unterscheiden sich von denen der bisher genutzten Klimaprojektionen auf der Basis des SRES-Szenarios A1B.

Das Weiter-wie-bisher-Szenario zeigt nicht mehr die im SRES-Szenario A1B beschriebenen hohen Rückgänge der Sommerniederschläge beim langfristigen Planungshorizont.

KURZ NOTIERT

Beobachtung:

- Zunahme der Jahresniederschlagshöhe um 15 % seit 1882
- Niederschlagsanstieg in allen Jahreszeiten, besonders im Winter; im Sommer geringste Zunahme
- Hinweise auf früheren Beginn und späteres Ende der Saison mit konvektiven Niederschlägen bei gleichzeitig stärkerer Ausprägung der Starkregenereignisse

Kurzfristiger Planungshorizont:

- Keine deutliche Änderung der mittleren Jahressumme des Niederschlags (+5 %)

Langfristiger Planungshorizont:

- Für das Bundesland Bremen ist mit einer Zunahme des Jahresniederschlags um +10 % zu rechnen

Für beide Planungshorizonte werden jeweils für Winter und Frühling Zunahmen der Niederschlagsmenge und für den Sommer im langfristigen Planungshorizont Abnahmen der Niederschlagsmenge simuliert.

Jahreszeitliche Mittelwerte der Niederschlagshöhe						
	1961–1990	1971–2000	2021–2050 (RCP2.6)	2021–2050 (RCP3,5)	2071–2100 (RCP2.6)	2071–2100 (RCP3.5)
Frühjahr	159 mm	151 mm	+6%	+7%	+4%	+14%
Sommer	219 mm	211 mm	-5%	+2%	-1%	-4%
Herbst	185 mm	190 mm	+3%	+2%	$\pm 0\%$	+9%
Winter	160 mm	169 mm	+5%	+7%	+6%	+18%
Jahr	726 mm	720 mm	+2%	+5%	+2%	+10%

TAB. 08

Sonnenschein

4.1 Vergangenheit und Gegenwart

Im langjährigen Mittel (1971/2000) sind im Raum Bremen und Bremerhaven im Jahr 1507 Stunden Sonnenschein zu erwarten. Das Maximum im Jahresgang ist im Mai festzustellen; in diesem Monat werden im Mittel 214 Stunden Sonnenschein registriert. Im Schnitt scheint also die Sonne im Mai an rund 6,9 Stunden bzw. 414 Minuten pro Tag. Im langjährigen Mittel werden von Mai bis August je 200 Sonnenscheinstunden überschritten. Mehr als 200 Stunden Sonnenschein können in einzelnen Jahren aber auch im April und September erreicht werden. Bereits im März und noch im Oktober ist im Mittel mit mehr als 100 Stunden Sonnenschein zu rechnen. In einzelnen Jahren kann diese Summe schon im Februar sowie im November registriert werden.

Die zehn sonnenscheinreichsten Jahre im Bundesland Bremen seit 1951	
1959	1936 Std
2003	1917 Std
1951	1769 Std
1976	1740 Std
1975	1722 Std
1995	1719 Std
2009	1718 Std
1955	1698 Std
1953	1690 Std
1989	1685 Std

TAB. 09

Mittelwerte der Sonnenscheindauer für die Jahreszeiten und verschiedene Bezugszeiträume (Vergleich: Land Bremen und Deutschland)				
Saison		1961-1990	1971-2000	1981-2010
Frühjahr	Land Bremen	462 Std.	477 Std.	493 Std.
	Deutschland	456 Std.	471 Std.	487 Std.
Sommer	Land Bremen	589 Std.	597 Std.	596 Std.
	Deutschland	604 Std.	610 Std.	627 Std.
Herbst	Land Bremen	284 Std.	287 Std.	300 Std.
	Deutschland	311 Std.	301 Std.	308 Std.
Winter	Land Bremen	140 Std.	147 Std.	152 Std.
	Deutschland	154 Std.	158 Std.	167 Std.
Jahr	Land Bremen	1474 Std.	1507 Std.	1542 Std.
	Deutschland	1528 Std.	1540 Std.	1587 Std.

TAB. 10 Mittelwerte der Sonnenscheindauer der Jahreszeiten und Bezugszeiträume im Vergleich des Bundeslandes Bremen und Deutschland

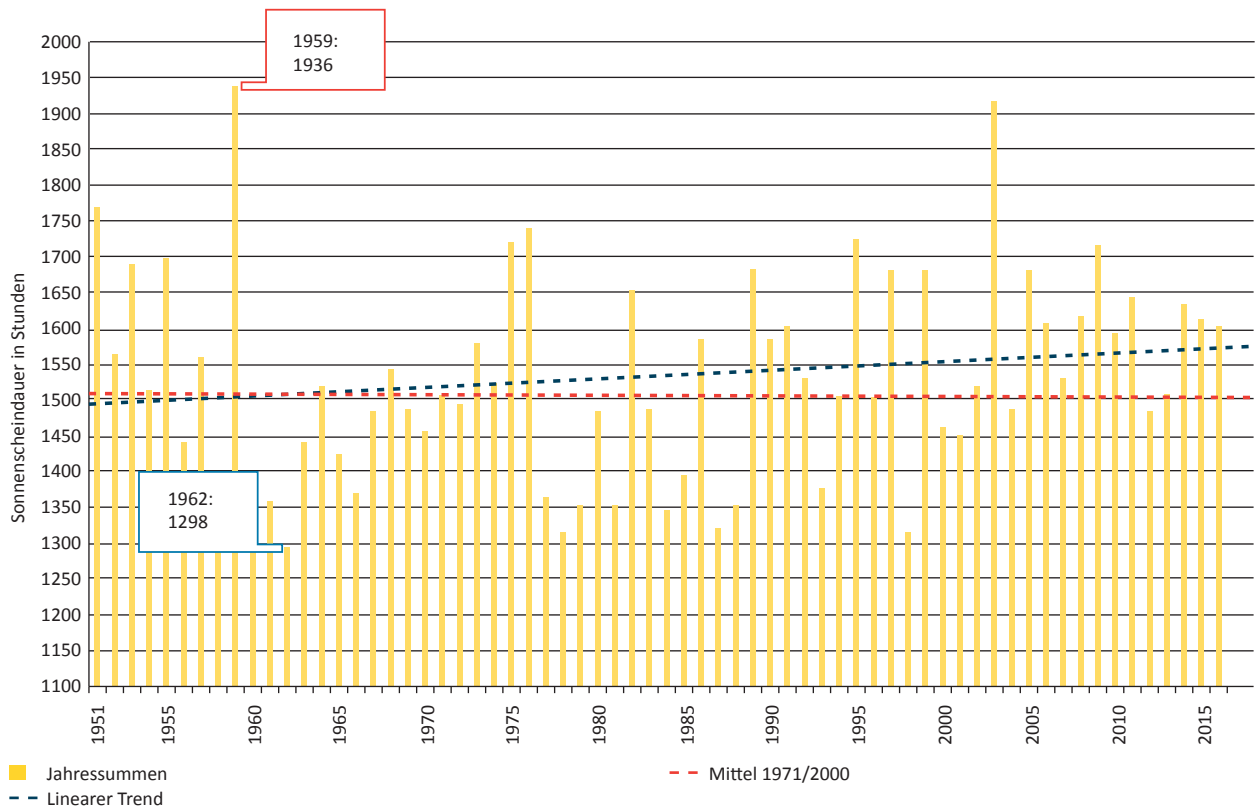


ABB. 44 Jahressummen der Sonnenscheindauer, Gebietsmittel Land Bremen 1951-2016

Das sonnenscheinreichste Jahr des Zeitraumes 1951 bis 2016 war 1959 mit 1936 Stunden, gefolgt von dem Jahr 2003 mit 1917 Stunden Sonnenschein, das sonnenscheinärmste Jahr war 1962 mit 1298 Stunden (Abb 44).

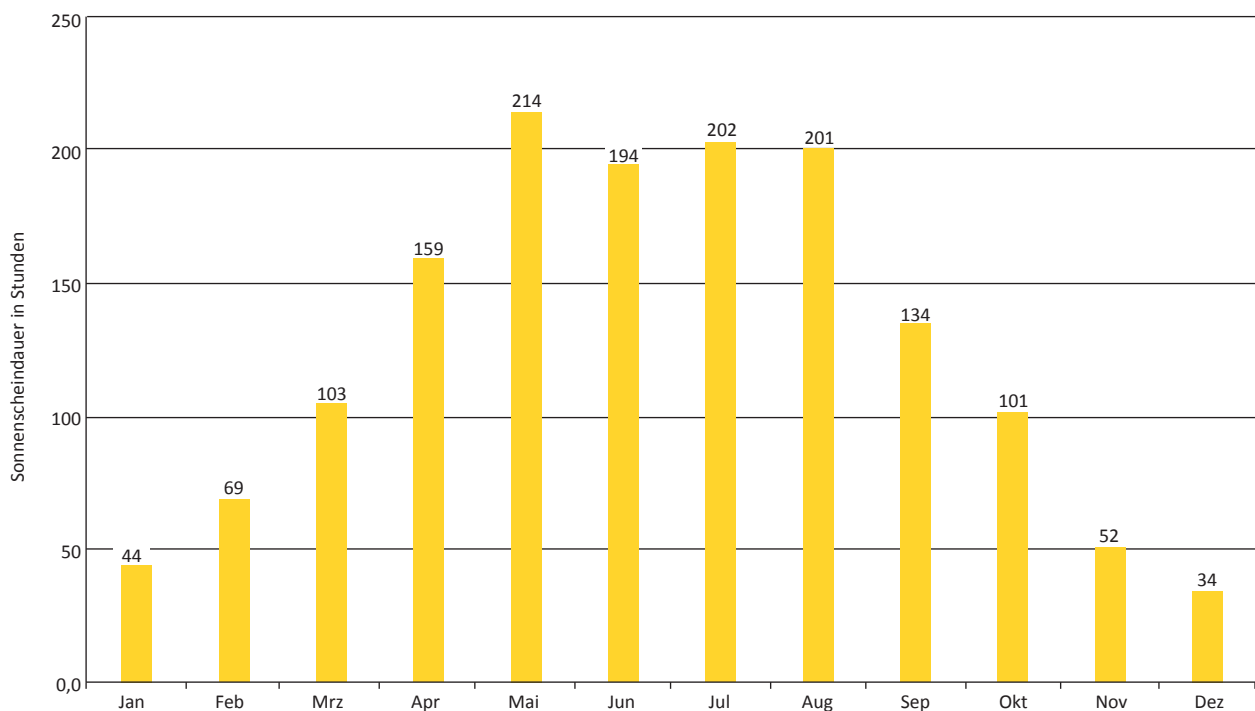


ABB. 45 Mittlerer Jahresgang der Sonnenscheindauer im Raum Bremen und Bremerhaven (Gebietsmittel) – Zeitraum 1971/2000

4.2 Zukunft



ABB. 46

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

Für den kurzfristigen Planungshorizont 2021–2050 wird für die Region Bremen und Bremerhaven ein Rückgang der Tagessonnenscheindauer um 6 Minuten projiziert (ebenso wahrscheinlich wie nicht, mittleres Vertrauen). Dieser Rückgang macht sich beim Weiter-wie-bisher-Szenario besonders im Winter und Frühjahr bemerkbar (wahrscheinlich, hohes Vertrauen), wohingegen im Sommer und im Herbst mit keinen Änderungen zu rechnen ist (wahrscheinlich, hohes Vertrauen).

Für den langfristigen Planungshorizont 2071–2100 wird eine Verstärkung dieser Änderungen erwartet. Im Jahresmittel ist mit einer Abnahme der mittleren Tagessonnenscheindauer zwischen 6 Minuten und 12 Minuten zu rechnen (ebenso wahrscheinlich wie nicht, mittleres

KURZ NOTIERT

Beobachtung:

- Durchschnittlich 248 Minuten Sonnenscheindauer pro Tag
- Wenig Änderung der Sonnenscheindauer seit 1951
- Große Variabilität von Jahr zu Jahr

Kurzfristiger Planungshorizont:

- Landesweit minimaler Rückgang der Sonnenscheindauer möglich

Langfristiger Planungshorizont:

- Verstärkung vorgenannter Tendenzen

Für beide Planungshorizonte jeweils ausgeprägter Rückgang im Winter und im Frühjahr (nur RCP8.5).

Vertrauen). Dieser Rückgang macht sich besonders im Frühjahr und im Winter bemerkbar, hier kann mit einer Abnahme von bis zu 24 Minuten pro Tag gerechnet werden (ebenso wahrscheinlich wie nicht, geringes Vertrauen). Im Sommer und Herbst treten wahrscheinlich keine Änderungen der Sonnenscheindauer auf, wobei im Weiter-wie-bisher-Szenario im Sommer durch einzelne Projektionen auch Zunahmen der mittleren Tagessonnenscheindauer von bis zu einer Stunde projiziert werden (sehr unwahrscheinlich, sehr geringes Vertrauen).



ABB. 47

Jahreszeitliche Mittelwerte der täglichen Sonnenscheindauer und erwartete Änderungen						
	1961–1990	1971–2000	2021–2050 (RCP2.6)	2021–2050 (RCP8,5)	2071–2100 (RCP2.6)	2071–2100 (RCP8.5)
Frühjahr	301 min	311 min	-6 min	-12 min	-6 min	-24 min
Sommer	384 min	389 min	±0 min	-6 min	±0 min	±0 min
Herbst	187 min	189 min	±0 min	±0 min	-6 min	-6 min
Winter	94 min	98 min	-6 min	-12 min	-12 min	-24 min
Jahr	242 min	248 min	-6 min	-6 min	-6 min	-12 min

TAB. 11



ABB. 48



Wind



5.1 Vergangenheit und Gegenwart

Aufgrund der nur leicht gegliederten Topographie sind die Einflüsse des Untergrundes auf die bodennahen Luftschichten im norddeutschen Tiefland nur gering. Das Windfeld kann sich nahezu ungestört ausbilden und wird im Wesentlichen von der allgemeinen Luftdruckverteilung gesteuert. Die in Mitteleuropa vorherrschenden südsüdwestlichen bis westlichen Windrichtungen werden durch die geringe orographische Gliederung kaum modifiziert, sodass im Raum Bremen und Bremerhaven ebenfalls mit der Dominanz der südsüdwestlichen bis westlichen Windrichtungen zu rechnen ist.

Am Standort der Station Bremen liegt das Windrichtungsmaximum in den Sektoren Südsüdwest (13,8 %), Westsüdwest (16,5 %) und West (11,2 %) (Abb. 52). Das sekundäre Maximum zeigt der Sektor Ostsüdost (10,4 %). Doch auch die Ostnordost- und Ostwinde weisen mit Anteilen von 7,2 % bzw. 7,3 % erhöhte Häufigkeiten auf. Die geringsten Anteile entfallen mit 3,9 % bzw. 2,7 % auf den Nordnordwest- und Nordbereich, wobei mit einem Anteil von 4,2 % der Nordnordostsektor auch nur schwach vertreten ist. Die Station Bremen liegt am linken Weserufer südlich der Hansestadt, etwa 3,5 km vom Stadtkern entfernt, innerhalb des freien Flugplatzgeländes. Auf der Süd- und Westseite wird der Flugplatz von den feuchten Wiesen der Ochtumniederung eingeschlossen.

In Bremerhaven liegt das Windrichtungsmaximum in den Sektoren Südsüdwest (13,1 %), Westsüdwest (13,7 %) und West (9,8 %) (Abb. 53). Die erhöhte Nordwest-Komponente ist bedingt durch die lange Seestrecke und Düsenwirkung des Mündungstrichters der Weser, auch tritt in der wärmeren Jahreszeit in Bremerhaven ein ausgeprägter Seewind aus Nordwest auf. Das sekundäre Maximum zeigen die Sektoren Ostnordost (8,6 %), Ost (8,9 %) und Ostsüdost (7,8 %). Selten weht der Wind aus Nord (4,2 %) und Nordnordost (3,3 %). Der Windmast der Station Bremerhaven befindet sich westlich der Innenstadt auf einer Deichkrone von etwa 7 m Höhe, die nach Norden zum Wasser hin abfällt. In unmittelbarer Umgebung liegt im Norden der Geestnuthafen, im Osten der Binnendeich vor dem Handelshafen und im Süden der Fischereihafen. Die Trichtermündung der Weser beginnt im Westsüdwesten, erreicht westlich der Station etwa 1,6 km und in nordwestlicher Richtung, in einer Entfernung von etwa 5 km, bereits etwa 5 km Breite.



ABB. 49



ABB. 50

Während in exponierten Küstenbereichen mittlere Jahreswindgeschwindigkeiten über 6 m/s registriert werden (Abb.51), betragen die langjährigen Jahresmittel (2006-2015) der Windgeschwindigkeit am Standort Bremen 4,1 m/s und am Standort Bremerhaven 5,4 m/s.

Standardmäßig wird der Wind in 10 m Höhe über Grund gemessen, um den Einfluss des Untergrundes möglichst gering zu halten. Der Wind, besonders die Windgeschwindigkeit, reagiert sehr sensibel auf Veränderungen im Umfeld der Messstation und auch auf Aufstellungsänderungen (z.B. der Windgeberhöhe). Eine lange „ungestörte“ Zeitreihe zur Betrachtung der Windentwicklung zu erhalten, gestaltet sich da eher schwierig. Ausweichen kann man auf den so genannten geostrophischen Wind, der aus Luftdruckmessungen bestimmt werden kann. Der geostrophische Wind ist dem horizontalen Luftdruckgefälle auf Meereshöhe proportional und damit ebenso ein Maß für die atmosphärische Bewegung wie der reale Wind.

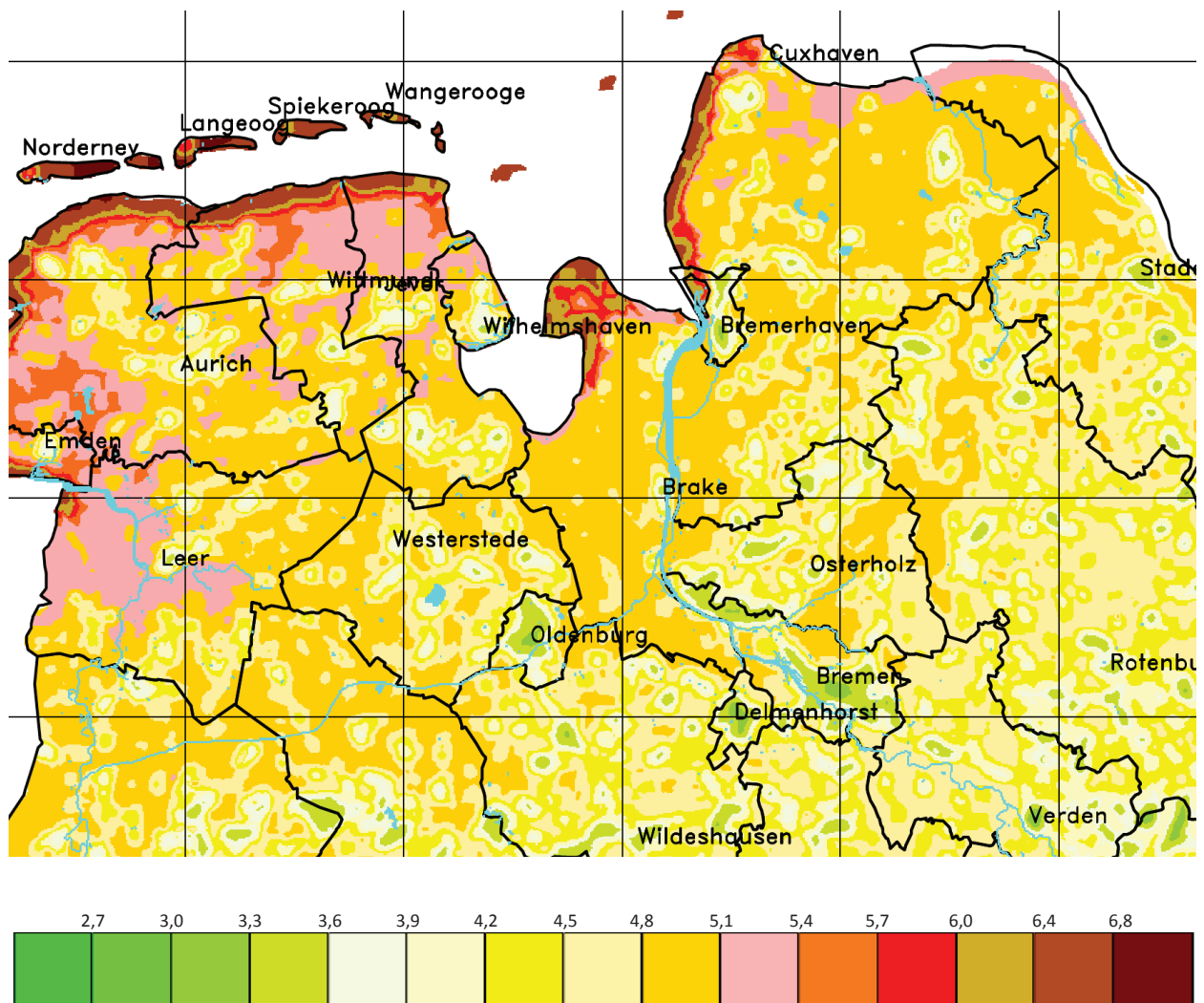
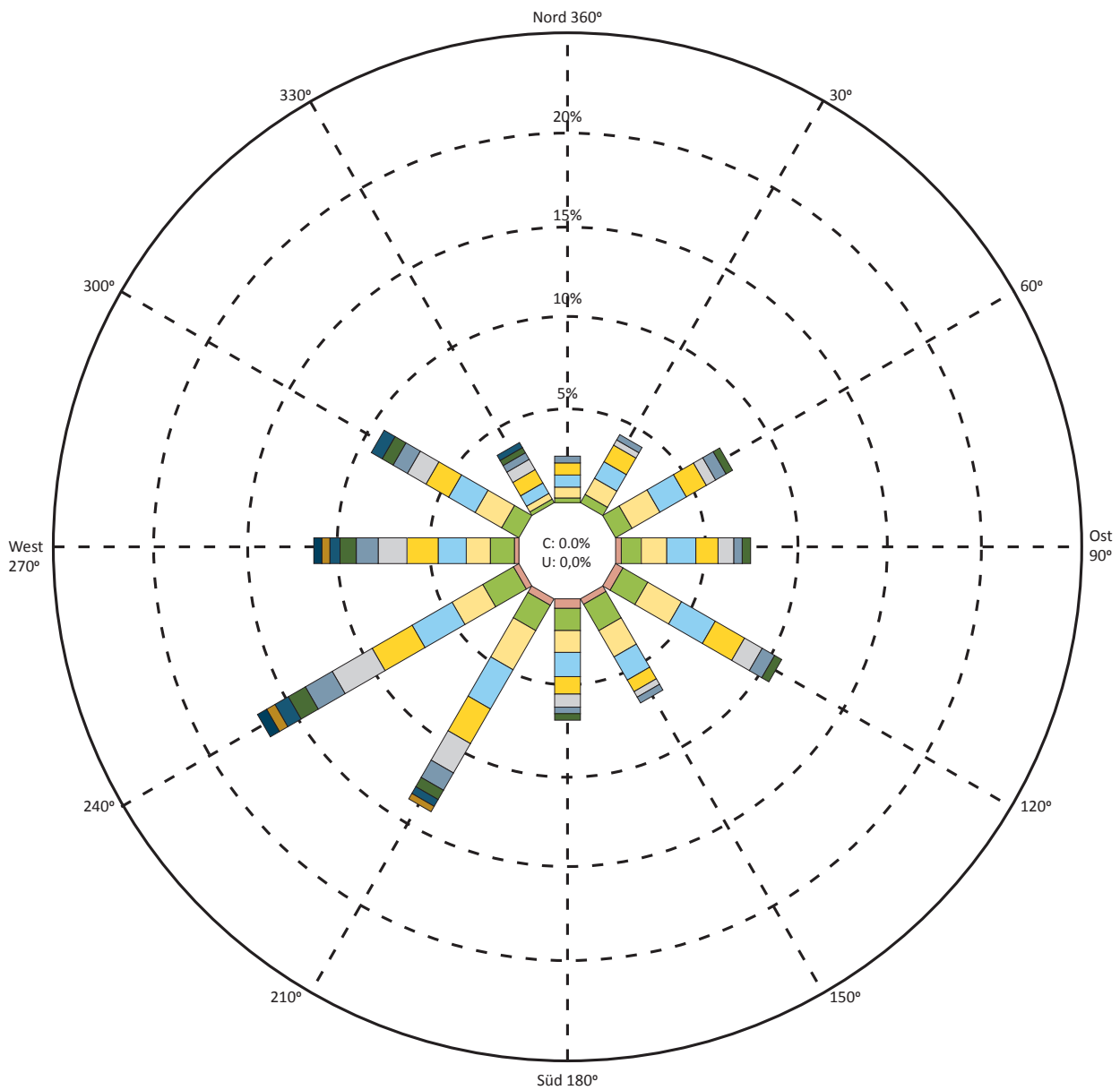


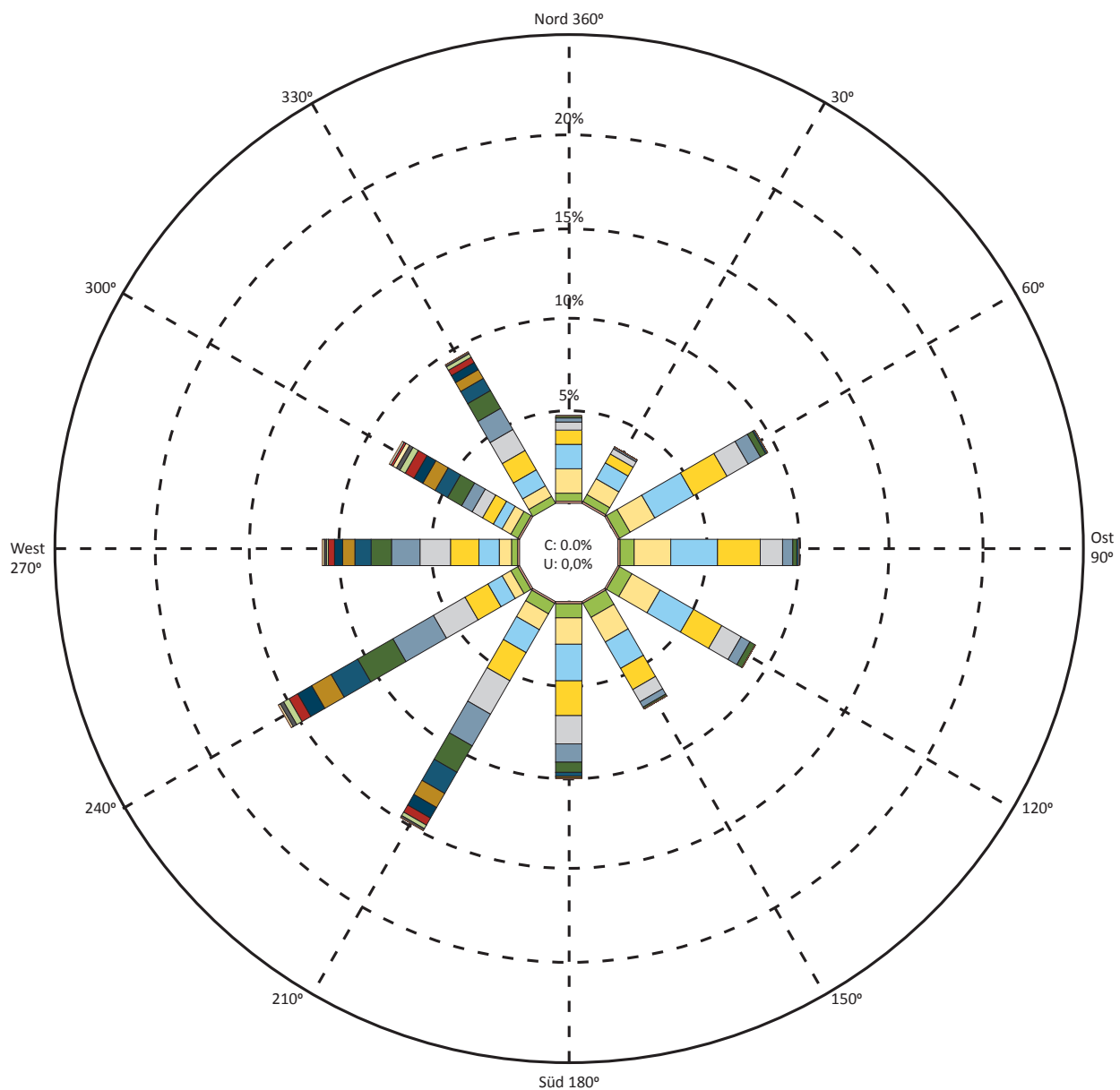
ABB. 51 Jahresmittel der Windgeschwindigkeit (m/s) in 10 m Höhe über Grund, Raum Bremen und Bremerhaven, Bezugszeitraum 1981/2000



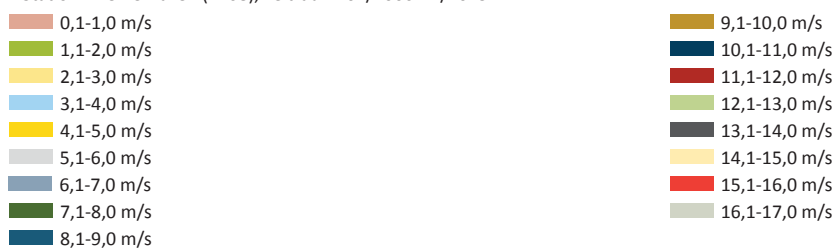
- | | |
|-------------|---------------|
| 0,1-1,0 m/s | 9,1-10,0 m/s |
| 1,1-2,0 m/s | 10,1-11,0 m/s |
| 2,1-3,0 m/s | 11,1-12,0 m/s |
| 3,1-4,0 m/s | 12,1-13,0 m/s |
| 4,1-5,0 m/s | 13,1-14,0 m/s |
| 5,1-6,0 m/s | 14,1-15,0 m/s |
| 6,1-7,0 m/s | 15,1-16,0 m/s |
| 7,1-8,0 m/s | 16,1-17,0 m/s |
| 8,1-9,0 m/s | |

Die Länge der einzelnen Farbstufen entspricht der prozentualen Häufigkeit, mit der die jeweilige Windgeschwindigkeit aus der angegebenen Windrichtung auftritt

ABB. 52 Stärkewindrose in Prozent der Jahresstunden, Bezugszeitraum 2006-2015



Station: Bremerhaven (1468), Zeitraum: 01/2006-12/2015



Die Länge der einzelnen Farbstufen entspricht der prozentualen Häufigkeit, mit der die jeweilige Windgeschwindigkeit aus der angegebenen Windrichtung auftritt

ABB. 53 Stärkewindrose in Prozent der Jahrestunden, Bezugszeitraum 2006-2015

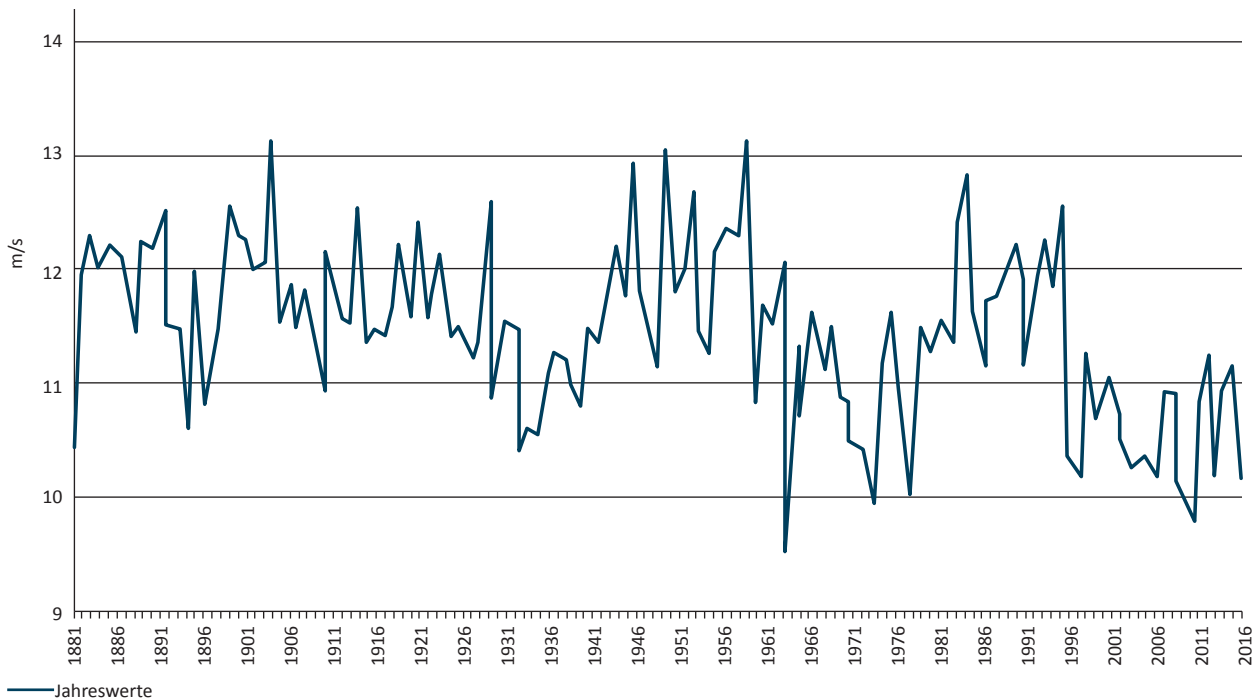


ABB. 54 Jahresmittel des geostrophischen Windes, berechnet aus den bodennahen Luftdruckwerten der Stationen Hamburg, Emden und List, Zeitraum 1880 bis 2016

Die Entwicklung des geostrophischen Windes wurde für die Deutsche Bucht für den Zeitraum 1880 bis 2016 rekonstruiert. Für den Gesamtzeitraum ergibt sich eine leicht abnehmende Tendenz hoher Windgeschwindigkeiten. Auch andere Auswertungen, die sich insbesondere auf hohe Windgeschwindigkeiten aus für die Nordseeküste kritischen Windrichtungen West bis Nord befassen, zeigen keinen signifikanten Trend bezüglich der Häufigkeit und Intensität dieser Stürme.

5.2 Zukunft

Die Berechnungen der Klimaprojektionen deuten darauf hin, dass sich die Windverhältnisse in der Zukunft wenig ändern bzw. eine Änderung aus den Modellen nicht ablesbar ist.

KURZ NOTIERT

Beobachtung:

- Regionale Unterschiede zwischen windreicher Küste und windschwächerem Binnenland
- Kein deutlicher Trend in den Windverhältnissen seit 1880

Kurzfristiger Planungshorizont:

- Wahrscheinlich keine Änderung

Langfristiger Planungshorizont:

- Veränderung nicht ablesbar



Willy-Brandt-Platz

1950-1960
1960-1970
1970-1980
1980-1990
1990-2000
2000-2010
2010-2020



Hunde sind vom 1. April bis
30. September anzuleinen.

Stadt Bremerhaven
Ordnungsbehörde

Hafenrundfahrt



Meeresspiegelanstieg

(Beitrag des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie, Dr. Hartmut Heinrich)

Seit dem Beginn regelmäßiger Pegelaufzeichnungen steigt der mittlere Meeresspiegel an der gesamten Nordseeküste um etwa 2 bis 4 mm pro Jahr an. Für die Zukunft sagen Klimamodelle einen weiteren Anstieg voraus. Neue Untersuchungen über Ozeanerwärmung und zu den Eisschilden in der Antarktis und Grönland lassen eine Beschleunigung des Anstiegs als wahrscheinlich erscheinen.

DER MEERESSPIEGEL – EINE SCHWANKENDE GRÖSSE

Der mittlere Meeresspiegel und seine zukünftige Änderung sind für die langfristigen Planungen der Küstenschutzbauwerke von großer Bedeutung. Die Änderung des Meeresspiegels setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen:

1. der sogenannte sterische Anteil (Änderung des Meeresspiegels aufgrund von Temperatur- oder Salzgehaltsänderungen)
2. dynamisch bedingte Änderungen aufgrund geänderter Meeresströmungen
3. verstärkter Süßwassereintrag in die Weltmeere aufgrund von Gletscherschmelze
4. verstärkter Süßwassereintrag durch schmelzende grönländische und/oder antarktische Eisschilde
5. Landhebungen bzw. Landsenkungen

Die durch die Punkte 1) bis 4) hervorgerufenen Beiträge bewirken die absolute Meeresspiegeländerung, während die an den Pegeln tatsächlich gemessene Änderung die vertikale Landbewegung mitberücksichtigt und als relative Meeresspiegeländerung bezeichnet wird.



ABB. 55

Die globalen wie auch regionalen Klimamodelle sind derzeit noch nicht in der Lage, den Süßwassereintrag aufgrund von Gletscher- und Eisschildschmelze hinreichend zu simulieren, daher müssen Abschätzungen dieser Werte heutzutage noch zu den berechneten sterischen und dynamischen Werten addiert werden.

BEOBACHTETE MEERESSPIEGELÄNDERUNG

Nordsee: Für die Deutsche Bucht gibt es Pegelaufzeichnungen, die bis 1843 (Cuxhaven) zurückreichen, zumeist allerdings ab den dreißiger Jahren des vorigen Jahrhunderts vorliegen. Zwischen den einzelnen Pegeln gibt es größere, von der geographischen Lage abhängige Unterschiede in der Rate des relativen Meeresspiegelanstiegs, zwischen 1,7 mm/Jahr und 4,1 mm/Jahr. Allen Pegeln gemeinsam ist eine große dekadische Variabilität. So gibt es Dekaden mit einem Meeresspiegelanstieg von über 4 mm/Jahr wie auch Dekaden mit leicht sinkendem Meeresspiegel. Allerdings müssen wegen der Landsenkung an der deutschen Nordseeküste etwa 0,5–1,5 mm/Jahr abgezogen werden. An der englischen und schottischen Ostküste, an der niederländischen Küste, wie auch generell im Nordostatlantik treten ähnliche Anstiege des absoluten Meeresspiegels (um 1,7 mm/Jahr) auf wie in der Deutschen Bucht.

Die zeitenabhängigen Wasserstände verändern sich in der Nordsee nicht parallel zum mittleren Anstieg des Meeresspiegels. Am Pegel Cuxhaven steigen seit 1950 das mittlere Hochwasser stärker und das mittlere Niedrigwasser schwächer an als der mittlere Wasserstand. Die Ursache könnten Maßnahmen des Gewässerausbaus in der Elbe und geänderte morphologische Verhältnisse im Bereich des Elbe-Weser-Dreiecks sein.

Ostsee: An der Ostseeküste steigt der Meeresspiegel absolut um etwa 1,4–2,0 mm/Jahr an. Außer in der südwestlichen Ostsee sinkt in allen anderen Küstenregionen der relative Meeresspiegel aufgrund der noch stattfindenden nacheiszeitlichen Landhebung.

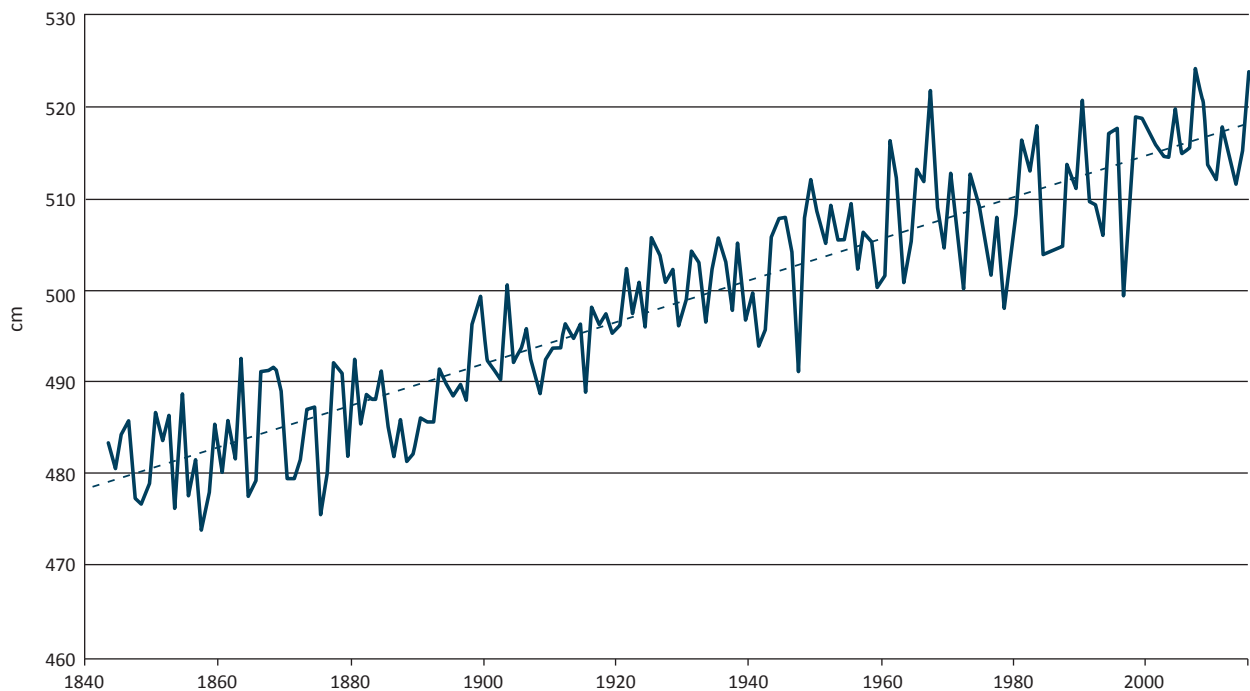


ABB. 56 Mittlerer Meeresspiegel am Pegel Cuxhaven 1843–2015

ZUKÜNFTIGE ÄNDERUNGEN DES MEERESSPIEGELS

Im 5. Sachstandsbericht des IPCC von 2013 wurden für verschiedene Treibhausgasszenarien Anstiege des Meeresspiegels bis Ende des 21. Jahrhunderts angegeben. Für das Klimaschutz-Szenario ergab sich ein Bereich von 26–55 cm, für das Weiter-wie-bisher-Szenario ein Bereich von 52–98 cm. Allerdings war darauf hingewiesen worden, dass die möglichen Beiträge der Eisschilde von Grönland und der Antarktis bislang unzureichend berücksichtigt worden sind, da deren physikalische Prozesse unbekannt oder noch nicht mathematisch beschrieben seien.

Mittlerweile haben sich die Kenntnisse darüber deutlich verbessert. Des Weiteren wird mithilfe von ozeanographischen Beobachtungen und bathymetrischen Vermessungen an den Rändern der Eisschilde zunehmend festgestellt, dass erwärmtes Ozeanwasser die Eisschelfe zerstört sowie den Kontakt zwischen Gletschern und dem unterlagernden Festgestein mehr und mehr aufschmilzt. Dieses führt dazu, dass Gletscher erheblich schneller ins Meer strömen. In der Konsequenz wird

dieses den Meeresspiegelanstieg in Größen beschleunigen, die deutlich über die Werte von 2013 hinaus reichen. Dieser stärkere Anstieg ist schon aktuell zu beobachten. Gegenwärtig tendieren die Angaben über den weiteren Anstieg beim Weiter-wie-bisher-Szenario für die deutschen Küsten bis hin zu Werten von deutlich über einen Meter bis zum Ende des 21. Jahrhunderts. Allerdings ist weiterhin noch nicht die sich abzeichnende Möglichkeit eines Kollabierens der beiden Eisschilde einbezogen.

Durch die große Wärmespeicherkapazität der Ozeane wird der Meeresspiegelanstieg, ungeachtet des weiteren Verlaufs der Erderwärmung, weit über das 21. Jahrhundert hinaus andauern.



Begriffskompass Klima



Bezugszeitraum/Bezugsperiode

Angaben über eine Änderung der zukünftigen mittleren klimatischen Verhältnisse werden immer in Relation zu einer Bezugsperiode getätigt. Im 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.

Kenntage

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

Klimaprojektion

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

Klimavorhersage

Vorhersagen leiten aus dem vergangenen und aktuellen Zustand der Atmosphäre Aussagen über dessen zukünftigen Zustand ab. Traditionell beinhaltet eine Vorhersage die Wetterentwicklung der nächsten 1 - 10 Tage. Ein aktueller Forschungsgegenstand ist die Abschätzung der Entwicklung über diesen Zeithorizont hinaus für Zeitskalen von mehreren Monaten bis einer Dekade.

Perzentil

Perzentile oder auch Quantile sind Prozentangaben. Sie gliedern die Anzahl der untersuchten Modellergebnisse in Maßklassen, womit sich ein bestimmter Prozentanteil dieser Ergebnisse umschließen lässt. Der Bereich zwischen dem 15. und 85. Perzentil umschließt beispielsweise 70 % der Modellergebnisse. Der Wert, den ein Perzentil annimmt, z. B. 85. Perzentil = $9,4\text{ °C}$, bedeutet, dass 85 % der Ergebnisse unterhalb dieses Wertes liegen und nur 15 % darüber.

Planungshorizonte

In diesem Bericht wird zwischen einem kurzfristigen und langfristigen Planungshorizont unterschieden. Der kurzfristige Planungshorizont beschreibt das Zeitfenster der Jahre 2021 bis 2050, der langfristige das Zeitfenster der Jahre 2071 bis 2100. Auf diese Zeiträume bezogene Aussagen erfolgen immer in Relation zur Bezugsperiode 1971 bis 2000.

Referenzzeitraum/Referenzperiode

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

Spannbreite

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

Szenarien

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

Begriffsbestimmung in der Klimamodellierung

Für die Analyse von Ergebnissen der Klimamodellierung ist es notwendig, in den Texten zum Klimawandel eine einheitliche und fest definierte Sprache zu nutzen. Sie soll helfen

- das Vertrauen in die Stichhaltigkeit der Erkenntnisse, basierend auf der Art, der Menge, der Qualität, der Konsistenz der Belege und dem Grad der Übereinstimmung, aufzubauen. Das Vertrauen wird qualitativ beschrieben.
- ein auf der Basis quantitativer Analysen berechnetes Maß der Unschärfe der Erkenntnisse, ausgedrückt über Wahrscheinlichkeitsaussagen, bereitzustellen.

Begriff	Vertrauensgrad
<i>sehr hohes Vertrauen</i>	In mindestens 9 von 10 Fällen korrekt
<i>hohes Vertrauen</i>	In etwa 8 von 10 Fällen korrekt
<i>mittleres Vertrauen</i>	In etwa 5 von 10 Fällen korrekt
<i>geringes Vertrauen</i>	In etwa 2 von 10 Fällen korrekt
<i>sehr geringes Vertrauen</i>	In weniger als 1 von 10 Fällen korrekt

TAB. 12

In Vorbereitung des 5. Sachstandsberichtes des IPCC wurde eine Leitlinie entwickelt. Der Vertrauensgrad wird darin durch die fünf Begriffe *sehr gering*, *gering*, *mittel*, *hoch* und *sehr hoch* beschrieben und kursiv gesetzt, z. B. *mittleres Vertrauen*. Für die Angabe der Übereinstimmung können unterschiedliche Vertrauensgrade angegeben werden. Ein steigender Umfang an Belegen mit hoher Übereinstimmung ist mit einem zunehmendem Vertrauensgrad verbunden. Der Vertrauensgrad wird einer Anzahl an Belegen zugeordnet. Alternativ/ergänzend dazu ist es auch möglich, eine Angabe der berechneten Wahrscheinlichkeit eines Befundes oder Resultats durch festgelegte Begriffe zu beschreiben. Zusätzliche Begriffe (*äußerst wahrscheinlich*: $\geq 95\%$, *eher wahrscheinlich als nicht*: $> 50\%$ und *äußerst unwahrscheinlich*: $0-5\%$) können, falls angebracht, auch verwendet werden. Die abgeschätzte Wahrscheinlichkeit ist kursiv gesetzt, z. B. *sehr wahrscheinlich*.

Begriff	Wahrscheinlichkeit
<i>praktisch sicher</i>	$\geq 99\%$ Wahrscheinlichkeit
<i>sehr wahrscheinlich</i>	$\geq 90\%$ Wahrscheinlichkeit
<i>wahrscheinlich</i>	$\geq 66\%$ Wahrscheinlichkeit
<i>ebenso wahrscheinlich wie nicht</i>	33-66% Wahrscheinlichkeit
<i>unwahrscheinlich</i>	$\leq 33\%$ Wahrscheinlichkeit
<i>sehr unwahrscheinlich</i>	$\leq 10\%$ Wahrscheinlichkeit
<i>besonders unwahrscheinlich</i>	$\leq 1\%$ Wahrscheinlichkeit

TAB. 13



ABB. 57



BILDNACHWEIS

- [ABB. 01] DWD
- [ABB. 02] Panthermedia.net (Dario Sabliak)
- [ABB. 03] Fotolia.com (Gina Sanders)
- [ABB. 04] DWD
- [ABB. 05] Max-Planck-Institut für Meteorologie
- [ABB. 06] Fotolia (Paul Paladin)
- [ABB. 07] [http:// www.climatechange2013.org/images/figures/WGI_AR5_Fig12-42.jpg](http://www.climatechange2013.org/images/figures/WGI_AR5_Fig12-42.jpg), verändert (Grafik MUST)
- [ABB. 08] DWD (Grafik MUST)
- [ABB. 09] DWD
- [ABB. 10] DWD (Grafik MUST)
- [ABB. 11] DWD (Grafik MUST)
- [ABB. 12] MUST
- [ABB. 13] DWD (Grafik MUST)
- [ABB. 14] DWD (Grafik MUST)
- [ABB. 15] DWD (Grafik MUST)
- [ABB. 16] DWD (Grafik MUST)
- [ABB. 17] DWD (Grafik MUST)
- [ABB. 18] DWD (Grafik MUST)
- [ABB. 19] Fotolia.com (gradt)
- [ABB. 20] MUST
- [ABB. 21] DWD
- [ABB. 22] DWD
- [ABB. 23] DWD
- [ABB. 24] DWD
- [ABB. 25] Christof Voßeler DWD
- [ABB. 26] DWD
- [ABB. 27] DWD
- [ABB. 28] DWD (Grafik MUST)
- [ABB. 29] DWD (Grafik MUST)
- [ABB. 30] DWD (Grafik MUST)
- [ABB. 31] DWD (Grafik MUST)
- [ABB. 32] DWD (Grafik MUST)
- [ABB. 33] DWD (Grafik MUST)
- [ABB. 34] DWD (Grafik MUST)
- [ABB. 35] DWD (Grafik MUST)
- [ABB. 36] DWD (Grafik MUST)
- [ABB. 37] Panthermedia.net (pekada)
- [ABB. 38] DWD (Grafik MUST)
- [ABB. 39] pixabay
- [ABB. 40] Panthermedia.net (Daniel Loretto)
- [ABB. 41] Creative Collection
- [ABB. 42] DWD (Grafik MUST)
- [ABB. 43] DWD (Grafik MUST)
- [ABB. 44] DWD (Grafik MUST)
- [ABB. 45] pixabay
- [ABB. 46] pixabay
- [ABB. 47] DWD (Susanne Schorlemmer)
- [ABB. 48] pixabay
- [ABB. 49] pixabay
- [ABB. 50] DWD
- [ABB. 51] DWD(Grafik MUST)
- [ABB. 52] DWD (Grafik MUST)
- [ABB. 53] DWD (Grafik MUST)
- [ABB. 54] Panthermedia.net (Ines Weiland-Weiser)
- [ABB. 55] Universität Siegen/Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
- [ABB. 56] Universität Siegen, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
- [ABB. 57] Fotolia.com (Mykola Velchko)
- [ABB. 01a] SUBV

Titelblätter:

- Cover: pixabay
- S. 2: Creative Collection
- S. 6-7: pixabay
- S. 14-15: pixabay
- S. 30-31: pixabay
- S. 42-43: pixabay
- S. 48-49: pixabay
- S. 55: pixabay
- S. 56-57: Klimastadtbüro Bremerhaven
- S. 60-61: Panthermedia.net (Oliver C. Bellido)
- S. 64: pixabay



Deutscher Wetterdienst

Regionale Klima- und
Umweltberatung Hamburg
Bernhard-Nocht-Straße 76
20359 Hamburg
www.dwd.de

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



**Der Senator für Umwelt,
Bau und Verkehr**

Contrescarpe 72
28195 Bremen
www.bauumwelt.bremen.de

Der Senator für Umwelt,
Bau und Verkehr



Freie
Hansestadt
Bremen