

Ein Beitrag zur Entwicklung des Klimas von Bremen in den letzten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts

HANS JOACHIM HEINEMANN

Summary: A contribution to the climatic situation of Bremen within the last decades of the twentieth century. – The evaluation presented comprises the climatic situation and trends of the Bremen region within the last three decades of the twentieth century. It is based on the extensive data collected by the National Meteorological Service (DWD). Emphasis lies on a comparison with preceding periods, an assessment of emerging climate change signals and on the potential risks from a further increase of atmospheric temperatures.

Zusammenfassung: Die Untersuchung beschäftigt sich mit den klimatischen Gegebenheiten und Entwicklungen für Bremen in den letzten drei Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts auf der Basis des umfangreichen Datenmaterials des Deutschen Wetterdienstes. Die Schwerpunkte liegen dabei auf einem Vergleich zu früheren Zeitabschnitten sowie auf einer Abschätzung bereits eingetretener Klimaänderungen sowie des zu erwartenden Risikopotentials bei fortschreitender Erwärmung der Atmosphäre.

1 VORWORT

Das Klima und vor allem seine Extremereignisse finden das zunehmende Interesse der Öffentlichkeit. Insbesondere die Prognosen über den globalen Klimawandel und den beschleunigten Meeresspiegelanstieg lassen befürchten, dass auch der deutsche Küstenraum und Hafenstädte wie Bremen zu den direkt betroffenen Gebieten gehören könnten. Das Zusammentreffen von verändertem Niederschlagsgeschehen, dem Risiko stärkerer Hochwässer der Weser und vermehrter Sturmfluten stellt insbesondere Stadtplanung und Küstenschutz, die für Jahrzehnte im Voraus zu planen haben, langfristig vor erhebliche neue Aufgaben.

Dies wurde im Wesentlichen durch zwei große interdisziplinäre Forschungsprojekte der Universität Bremen bestätigt, in denen zunächst in der Form einer Fallstudie die Folgen eines Klimawandels für den Unterweserraum abgeschätzt wurden (www.KLIMU.uni-bremen.de) und anschließend im Projekt KRIM (Klimawandel und präventives Risiko- und Küstenschutzmanagement; www.KRIM.uni-bremen.de) mit einer Analyse speziell der Aspekte des Insel- und Küstenschutzes begonnen wurde.

Neben diesem Ansatz mit dem Ziel, den zukünftigen Handlungsbedarf rechtzeitig zu erkennen, wird verstärkt versucht, durch die wissenschaftliche Beobachtung und Analyse der aktuellen Klimasignale und der ihnen eventuell innewohnenden Trends die nach wie vor erheblichen Unsicherheiten der globalen Prognosen zu überwinden. Auch diesem Ziel dient die Analyse der Entwicklung des Klimas von Bremen, indem neben der allgemeinen Beschreibung auch mögliche Indikatoren eines Klimawandels besonders betrachtet und dargestellt werden.

2 EINLEITUNG

Im Jahre 1980 haben BÄTJER & HEINEMANN eine umfassende Monographie zur Geschichte meteorologischer Beobachtungen und Messungen sowie zum Klima von Bremen vorgelegt und damit die seit dem 19. Jahrhundert vorliegenden Untersuchungen zum Klima von Bremen fortgeschrieben.

Wetter, Witterung und Klima sind keine statischen Größen, sondern unterliegen einer ständigen Modifikation und dynamischen Entwicklung

(FLOHN 1985). Es erscheint daher angebracht, nach Ablauf nahezu eines Vierteljahrhunderts eine neue, aktualisierte Bestandsaufnahme des Klimas von Bremen vorzunehmen und dabei insbesondere den Aspekt möglicher Klimaschwankungen oder gar Klimaänderungen zu untersuchen.

Diese Fortschreibung ist umso wichtiger, da weltweit die Anzeichen für verstärkte Einflüsse und Eingriffe in unser Klimasystem durch menschliche Aktivitäten zunehmen. Neben massiven Veränderungen der Erdoberfläche (Rodung von Wäldern, Urbarmachung großer Flächen, fortschreitende Urbanisierung, etc.) ist vor allem die zunehmende Luftverschmutzung (Ozon, Kohlendioxid, Methan, etc.) mit mehr oder weniger direkten Auswirkungen auf den Treibhaus-Effekt der Atmosphäre von entscheidender Bedeutung für ein geändertes Klimasystem mit nicht abzuschätzenden Risiken für die Erde.

Basis dieser Betrachtung ist im Wesentlichen die Periode 1971 bis 2000.

3 DIE BEOBACHTUNGSREIHE

Alle wesentlichen meteorologischen Parameter sind für Bremen nahezu lückenlos seit 1829 verfü-

bar. Die Bremer Beobachtungsreihe zählt damit zu den längsten lückenlos verfügbaren und gut dokumentierten Datenquellen für Betrachtungen zu Klimaänderungen oder Klimavariationen in Mitteleuropa und ist damit besonders wertvoll. Die Beobachtungsstandorte (Tab. 1) haben sich naturgemäß im Laufe der Jahrzehnte wiederholt geändert. Eine ausführliche Dokumentation der unterschiedlichen Standorte sowie eine kritische Würdigung eventueller Inhomogenitäten erfolgte bereits im Jahre 1980 durch BÄTJER & HEINEMANN.

Seit 1931 befindet sich die Beobachtungsstation auf dem Gelände des Bremer Flughafens am Südrand der kompakten städtischen Bebauung. Diese Bebauung hat in den letzten Jahrzehnten weiter zugenommen, ebenso wie die südlich angrenzenden Siedlungsareale der Gemeinde Stuhr sowie der Stadtteile Huchting und Grolland weiter im Wachsen begriffen sind. Die Ochtum-Niederung mit den geschützten Flächen der „Klädinger Wiesen“ sowie des Parks „Links der Weser“ blieben jedoch erhalten und prägen ganz wesentlich die Messergebnisse.

Damit repräsentiert die Klimastation weiterhin den Übergangsbereich zwischen dem Ballungsraum Bremen und den überwiegend feuchten Niederungen der norddeutschen Tiefebene, und hier insbesondere des Urstromtals der Weser. Der

Tab. 1: Standorte der Klimastationen in Bremen ab 1829

| Standort | Beobachtungszeitraum |
|--|--------------------------|
| Am Wall / Altstadt | 1829 bis 1871 |
| Langenstraße / Ecke Steinbrücke | 1871 bis 1878 |
| Krankenanstalt St. Jürgen-Str. | 12.1873 bis 6.1876 |
| Oslebshausen, 7,5 km nordwestlich des Stadtkerns | 7.1876 bis 3.1889 |
| Hornerstraße / Ostertor | 4.1889 bis 4.1890 |
| Schönhausenstr. / östliche Vorstadt | 4.1890 bis 10.1895 |
| Hafenhaus / Freihafen | 11.1895 bis 3.1935 |
| Hafenhaus u. Leuchtenburger Str. | 4.1935 bis 7.1944 |
| Flughafen /Neuenlander Feld | 1929 bis 1935 (parallel) |
| Flughafen /Neuenlander Feld | 1.1936 bis 3.1945 |
| Flughafen /Neuenlander Feld | 1.1946 bis 2.1947 |
| Hemmstraße / nördl. Stadtrand | 3.1947 bis 1.1949 |
| Seefahrtsschule Bürenstraße, später Elsfl ether Straße | 12.1947 bis 12.1958 |
| Flughafen /Neuenlander Feld | 2.1949 bis 5.1978 |
| Flughafen / Landebahnhaus | 6.1978 bis heute |

in den letzten Jahrzehnten aufgetretene Temperaturanstieg ist damit im Wesentlichen auf die globalen Klimaänderungen zurückzuführen und nur zum erheblich geringeren Teil auf die Ausweitung der „Wärmeinsel“ Bremen.

Insbesondere die letzte Verlegung der Messrichtungen zum Landbahnbeobachtungshaus im Sommer 1976 hat zu einer deutlichen Entkopplung der Temperatur-Messungen von städtischen Einflüssen geführt und damit die Repräsentanz und Aussagekraft der Bremer Messreihe gesichert. Nähere Einzelheiten hat HEINEMANN (1994) im Rahmen seiner Untersuchung zur Homogenität und Repräsentanz der seit 1829 vorliegenden Jahresmitteltemperaturen von Bremen aufgezeigt.

4 DER BEGRIFF KLIMA SOWIE DIE RELEVANTEN KLIMAFAKTOREN

Während das Wetter den physikalischen Zustand der Atmosphäre durch die meteorologischen Kenngrößen an einem bestimmten Ort und zu einem diskreten Zeitpunkt definiert, ist das Klima der langfristige Aspekt des Wetters, d.h. die Zusammenfassung aller auftretenden Wettererscheinungen eines Ortes beziehungsweise einer Region. Das Klima wird beschrieben durch Mittel- und Extremwerte, Häufigkeiten, Andauerzeiten sowie durch typische Aufeinanderfolgen von Wetterzuständen. Die typische Zeitskala zur Betrachtung des Klimaaspektes beträgt 30 Jahre oder mehr. Betrachtungen zu Klimaänderungen benötigen naturgemäß noch wesentlich längere Zeiträume. Gemäß internationaler Vereinbarungen und Festlegungen durch die Weltorganisation für Meteorologie (WMO; Unterorganisation der UNO) umfassen die Bezugsperioden beim Klima jeweils 30 Jahre. Zur Zeit ist die Klima-Normalperiode 1961 bis 1990 der Referenzzeitraum für alle aktuellen Betrachtungen.

Da die letzte zusammenfassende Klimabeschreibung für Bremen den Zeitraum bis 1970 abdeckt, bot sich der dreißigjährige Zeitraum 1971 bis 2000 als Betrachtungszeitraum an, zumal damit in der Zusammenschau ein Überblick über die klimatischen Gegebenheiten des gesamten 20. Jahrhunderts möglich wird.

Gestaltend für Wetter und Klima ist neben dem „Antrieb“ durch die Sonne, welche die Wärmekraftmaschine Atmosphäre antreibt, ganz ausschlaggebend die globale Zirkulation sowie die jeweiligen geografischen Gegebenheiten des zu beschreibenden Ortes. Bremen liegt dabei zu rund 75 Prozent im Bereich der „Westwinddrift“, einer mehr oder weniger stark mäandrierenden westlichen Strömung, die den Erdball in mittleren

Breiten umkreist. Sie entsteht im Spannungsfeld zwischen dem subtropischen Hochdruckgürtel sowie den subpolaren Tiefdrucksystemen und ist neben den Meeresströmungen das wesentliche Transportsystem zur Aufrechterhaltung des Gleichgewichts bezüglich der Energiebilanz des Planeten. Beide Systeme sorgen dafür, dass der Wärmeüberschuss durch die kurzwellige solare Einstrahlung in den Tropen und Subtropen sowie der Wärmeverlust in den polaren Bereichen durch das Überwiegen der langwelligen terrestrischen Ausstrahlung nicht zu einem fortlaufenden Anwachsen der meridionalen Temperatur- und damit Energiegegensätze führen. Die Westwinddrift ist auf der jeweiligen Winterhalbkugel des Planeten aufgrund der deutlich höheren Temperaturgegensätze wesentlich intensiver als im jeweiligen Sommer. Das Geschwindigkeitsspektrum liegt dabei so hoch, dass die Strömung nicht mehr laminar, sondern turbulent verläuft. Die entstehenden Turbulenzkörper (Wirbel) treten in allen scales auf. Relevant für Wetter und Klima sind dabei vor allem Wirbel im „synoptischen scale“ mit Durchmessern von einigen hundert bis zu tausend Kilometern und Lebensdauer-Zyklen von einigen Tagen, den Tiefdruckgebieten der mittleren Breiten, die im Allgemeinen ebenfalls von West nach Ost ziehen. Die Mäander der Westwinddrift werden auch als planetarische Wellen bezeichnet, da diese Strömung den ganzen Globus in mittleren Breiten umspannt. Bei einer bestimmten Wellenzahl (ca. 3 Wellen) wird das Strömungsmuster „quasi-stationär“. Bei einer derartigen Konstellation können sich Hochdruckgebiete über längere Zeiträume, zum Teil auch über Wochen hinweg, in einem Gebiet festsetzen und die „normalen“ Strömungsverhältnisse umkehren. Für Norddeutschland sind derartige Wetterlagen durch stabile Hochdruckzonen über Skandinavien oder dem nordöstlichen Mitteleuropa gekennzeichnet, die für Tage, Wochen oder gar Monate mit einer östlichen Strömung kontinentale Luftmassen herantransportieren und im Extremfall ganze Jahreszeiten bestimmen können. Eine derartige Konstellation kann dann beispielsweise heiße, trockene Sommer oder kalte und teilweise auch schneereiche Winter verursachen. Sie bleiben aber mit einem Anteil von maximal etwa 25 Prozent eher die Ausnahme für Norddeutschland.

Neben den Randbedingungen des globalen Zirkulationssystems beeinflussen noch eine Reihe weiterer Klimafaktoren das Witterungsgeschehen. Da ist zum einen die geografische Lage Bremens im Westteil der norddeutschen Tiefebene im Urstromtal der Weser auf 53,1° Nord und 8,7° Ost mit der relativen Nähe zur Nordsee und nur wenige Meter über dem Meeresniveau, die bei der

vorherrschenden westlichen Strömung erheblich klimagestaltend wirkt. In Zusammenwirkung mit dem stromaufwärts liegenden Nordatlantik und seinem Strömungsmuster (Golf Strom) erfährt der Westrand des europäischen Kontinents und damit auch Norddeutschland ganz entscheidende Wettereinflüsse. Die Winter sind meist verhältnismäßig mild und die Niederschläge fallen häufiger in Form von Regen. Kälteperioden und Schneefälle sind eher die Ausnahme. Auch die übrigen Jahreszeiten und insbesondere die Sommer sind bei mäßigem Temperaturniveau eher feucht. Heiße Trockenperioden sind ebenfalls eher die Ausnahme, auch wenn im letzten Jahrzehnt gerade bei den Sommern auffällige Änderungen registriert wurden.

Neben diesen geografischen Randbedingungen wirken insbesondere bei schwacher Luftbewegung und geringer Bewölkung (Hochdruck-Wetterlagen) noch eine Reihe kleinräumiger Klimafaktoren wie Bodenbedeckung und Bodenbeschaffenheit (Marsch, Geest, Wald, Wiesen, Ackerland, Bebauung, städtische Areale mit erheblicher Bodenversiegelung sowie größere Wasserflächen und Flussläufe). Insbesondere der Stadteinfluss ist dabei keinesfalls vernachlässigbar. Trotz der lang gezogenen städtischen Bebauung von Bremen entlang der Weser und damit quer zur Hauptwindrichtung sind auch hier erhebliche Wärmeinsel-Effekte in Untersuchungen festgestellt worden. Um 1980 wurde vom Deutschen Wetterdienst eine mehrjährige Messkampagne im Stadtgebiet durchgeführt, die einschlägige Erkenntnisse aus der Fachliteratur auch für Bremen bestätigten.

5 DIE KLIMAPERIODE 1971 BIS 2000

5.1 Strahlung und Wärme

5.1.1 Sonnenschein

Wetter und Klima entstehen als „Produkte“ der Wärmekraftmaschine Erde – Atmosphäre. Der Antrieb erfolgt dabei durch die solare Energiezufuhr in Form kurzwelliger Strahlung. Dabei ist die Strahlungsbilanz von ausschlaggebender Bedeutung, denn nur ca. die Hälfte der von der Sonne zugestrahlten „Bruttoenergie“ gelangt bis zum Erdboden. Der Rest wird durch Absorption, Reflexion und Streuung in der Atmosphäre zurückgehalten, wobei Bewölkung, Wasserdampfanteil und Lufttrübung durch Aerosole wesentliche Einflussgrößen sind.

Von den für Bremen verfügbaren Strahlungsdaten wird hier exemplarisch die Sonnenscheindauer näher betrachtet (Tab. 2).

Die Erfassung der Sonnenscheindauer erfolgte

über Jahrzehnte hinweg nach dem Brennglasprinzip mit dem Sonnenscheinautographen nach CAMPBELL-STOKES. Die bei Sonnenschein dabei täglich auftretenden Brennsuren wurden manuell ausgewertet. Das System und das Auswerteverfahren waren recht fehleranfällig und entsprachen nicht mehr dem Stand der Technik. Daher wurde ab Juni 1991 das elektronische Datenerfassungssystem SONI zur Registrierung der Sonnenscheindauer eingesetzt. Der SONI liefert wesentlich objektivere Daten in hoher zeitlicher Auflösung. Zudem können die Messwerte automatisiert und direkt per Datenverarbeitung weiterverwertet werden. Mit diesem Systemwechsel stellt sich naturgemäß unmittelbar die Frage nach der Vergleichbarkeit der Messwerte, also nach der Homogenität. In einer einjährigen Parallel-Messphase wurden die systematischen Unterschiede untersucht. Es zeigte sich (HEINEMANN, 1992), dass mit dem elektronischen System SONI im Mittel rund sechs Prozent geringere Zeiten mit Sonnenschein registriert wurden. Die Abweichungen lagen in den Sommermonaten teilweise über zehn Prozent. In den Wintermonaten waren die Differenzen oft vernachlässigbar. Diese Ergebnisse müssen für die nachfolgenden Aussagen zum Sonnenscheinangebot berücksichtigt werden.

In Bremen scheint im langjährigen Durchschnitt an 1512 Stunden die Sonne. Dabei zeigt sich in Abhängigkeit vom Sonnenstand ein ausgeprägter Jahresgang zwischen im Mittel rund 37 Stunden im Dezember und 212 Stunden im Mai. In den Wintermonaten liegt das Sonnenscheinangebot also nur bei 20 bis 30 Prozent der sommerlichen Werte. Die Extreme decken ebenfalls einen weiten Bereich ab. Das sonnenscheinreichste Jahr 1959 brachte 1963 Stunden gegenüber nur 1175 Stunden im Jahre 1912. Der Monat mit dem meisten Sonnenschein überhaupt war bisher der Mai 1989 mit 313 Stunden, d. h. die Sonne hat in diesem Monat täglich durchschnittlich ca. 10 Stunden lang geschienen. Die geringste Ausbeute lieferte dagegen der Dezember 1993 mit ganzen 7 Stunden in 31 Tagen. Die höchste bisher gemessene Tagessumme erreichte im Juni 1953 mit 16,9 Stunden nahezu den astronomisch möglichen Maximalwert.

Betrachtet man die letzten drei Jahrzehnte getrennt, zeigen sich auf den ersten Blick kaum wesentliche Unterschiede (1971-1980: 1517 Std.; 1981-1990: 1503 Std.; 1991-2000: 1517 Std.). Berücksichtigt man allerdings die im Jahre 1991 erfolgte Umstellung auf das elektronische Meßsystem SONI, so wird erkennbar, dass das durchschnittliche Sonnenscheinangebot zum Ende des 20. Jahr-

Tab. 2: Daten zur Sonnenscheindauer in Bremen (Stunden)

| | JAN | FEB | MRZ | APR | MAI | JUN | JUL | AUG | SEP | OKT | NOV | DEZ | JAHR |
|---|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| Mittelwert 1971 bis 2000 | 46.7 | 71.3 | 103.8 | 157.9 | 212.0 | 192.3 | 199.3 | 198.9 | 134.7 | 103.5 | 55.1 | 36.9 | 1512.3 |
| Extreme (Messungen vor 1951 nur unvollständig vorhanden) | | | | | | | | | | | | | |
| MAXIMUM JAHR | 95 1954 | 128 1986 | 197 1931 | 269 1893 | 313 1888 | 309 1915 | 291 1994 | 302 1944 | 235 1959 | 245 1951 | 114 1989 | 68.0 1983 | 1963 1959 |
| MINIMUM JAHR | 20 1953/1977 | 10 1926 | 49 1916 | 75 1924 | 108 1936 | 106 1987 | 104 2000 | 52 1912 | 71 2001 | 38 1915 | 17 1958 | 7 1993 | 1175 1912 |
| max. Tagessumme DATUM | 8.4 1906 | 10.3 1975 | 11.5 1975 | 14.1 1951 | 16.0 1951 | 16.9 1921 | 16.2 1972 | 14.8 1906 | 12.6 1951 | 10.7 1951 | 8.6 1986 | 7.1 1958 | 16.9 1951 |

hundreds in Bremen durchaus um ca. fünf bis zehn Prozent zugenommen hat.

In der Klimamonografie (BÄTJER & HEINEMANN 1980) konnte gezeigt werden, dass der Juli in Bremen bezüglich des Sonnenscheinangebotes häufig benachteiligt war, da monsonale Einflüsse, d. h. die verstärkte Zufuhr feuchter und wolkenreicher Luftmassen vom Atlantik nach Norddeutschland, in diesem Monat überproportional häufig beobachtet wurden. Dieses sekundäre sommerliche Minimum hat sich im Zuge der fortschreitenden Erwärmung der Atmosphäre und der damit verbundenen Verschiebung der Jahreszeiten in den letzten Jahrzehnten eindeutig in Richtung Juni vorverlagert, der noch bis 1970 der im Mittel sonnenscheinreichste Monat war. Das Defizit beträgt gegenüber dem früheren Messzeitraum nahezu 13 Prozent, während Mai und Juli leicht zulegen konnten.

5.1.2 Lufttemperatur

Die Lufttemperatur als Maß für die Wärme resultiert aus der Strahlungsbilanz und ist neben dem Wasserdampfanteil die wichtigste Kenngröße der Atmosphäre für alle klimatologischen Untersuchungen. Alle aktuellen Diskussionen und Untersuchungen zur globalen Erwärmung und zu möglichen Klimaänderungen basieren auf einer möglichst langen, homogenen und vergleichbaren Datenbasis zur Temperatur.

Um diese Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wird die Lufttemperatur gemäß den Vorgaben der WMO weltweit strahlungsgeschützt in zwei Metern Höhe über dem Erdboden gemessen. Die Einheit ist das Grad Celsius, definiert durch den Schmelzpunkt (0 °C) und den Siedepunkt (100 °C) von Wasser unter Normalschwerebedingungen (1013,2 hPa).

Tab. 3: Daten zur Lufttemperatur in Bremen (°C)

| | JAN | FEB | MRZ | APR | MAI | JUN | JUL | AUG | SEP | OKT | NOV | DEZ | JAHR |
|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------------|
| Mittelwert 1971 bis 2000 | 1.5 | 1.9 | 4.8 | 8.1 | 13.0 | 15.5 | 17.5 | 17.3 | 13.6 | 9.5 | 5.2 | 2.9 | 9.2 |
| Extreme ab 1900 | | | | | | | | | | | | | |
| höchstes Mittel JAHR | 6.5 1975 | 6.7 1980 | 7.6 1991 | 11.2 1934 | 16.0 1847 | 20.1 1917 | 21.9 1994 | 21.0 1987 | 17.8 1999 | 13.2 2001 | 8.2 1938 | 6.7 1974 | 10.7 1934 |
| tiefstes Mittel JAHR | -8.2 1940 | -8.0 1929 | 0.5 1987 | 4.6 1917 | 9.5 1902 | 11.5 1923 | 14.7 1954 | 13.8 1956 | 10.5 1912 | 5.5 1922 | 0.8 1919 | -3.2 1969 | 7.2 1940 |
| absolutes Maximum DATUM | 14.6 1993 | 18.5 1900 | 23.5 1968 | 30.2 1989 | 34.4 1892 | 34.9 1947 | 34.6 1950 | 37.6 1997 | 33.4 1947 | 25.8 1977 | 19.4 1938 | 16.1 1977 | 37.6 09.05.1992 |
| absolutes Minimum DATUM | -21.8 1853 | -23.6 1940 | -18.7 1987 | -7.6 1896 | -3.5 1957/1996 | 0.5 1935 | 3.0 1984 | 3.4 1980 | -1.2 1930 | -7.8 1902 | -14.1 1865 | -17.5 1976 | -23.6 13.02.1940 |

Über- bzw. Unterschreitungshäufigkeiten bestimmter Temperaturschwellen in Tagen (Mittelwerte 1971 bis 2000)

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| Sommertage (Max. ab 25,0°C) | | | | 0.2 | 2.7 | 5.0 | 8.4 | 8.1 | 1.2 | 0.0 | | | 25.7 |
| heiße Tage (Max. ab 30,0°C) | | | | | 0.1 | 0.8 | 1.8 | 1.7 | | | | | 4.5 |
| Frostage (Min. < 0,0°C) | 15.4 | 14.4 | 10.2 | 4.7 | 0.7 | | | | 0.1 | 2.1 | 7.4 | 13.4 | 68.4 |
| Eistage (Max. < 0,0°C) | 5.5 | 4.0 | 0.5 | | | | | | | | 0.5 | 3.7 | 14.2 |

Die wesentlichen Kenngrößen für Bremen sind in der Tab. 3 zusammengestellt. Das mittlere Jahresmittel beträgt aktuell 9,2 °C und zeigt weiter ansteigende Tendenz. Insbesondere die letzte Dekade 1991 bis 2000 war mit 9,5 °C das wärmste Jahrzehnt in Bremen seit Beginn kontinuierlicher Messungen im Jahre 1830.

Der maritime Einfluss und die vorherrschende westliche Strömung dokumentieren sich dadurch, dass in Bremen auch im Winter im Mittel positive Monatstemperaturen verzeichnet werden. Kältester Monat ist im Durchschnitt der Januar mit 1,5 °C. Gerade in den Wintermonaten ist in den letzten Jahrzehnten auch der deutlichste Wärmeüberschuss erkennbar. Die Mitteltemperaturen der Monate Dezember, Januar, Februar und März liegen derzeit durchschnittlich um 1 Grad höher als vor 1970. Wärmster Monat bleibt in Bremen der Juli mit 17,5 °C im Mittel. Auch bei den Temperaturen zeigt sich die Verschiebung bestimmter Singularitäten wieder eindrucksvoll. Der einzige Monat, der gegenüber früheren Jahrzehnten merklich kühler geworden ist, ist der Juni mit 15,5 °C (1931-1970: 16,2 °C). Diese auffällige negative Abweichung korrespondiert sehr gut mit dem Befund bei der Betrachtung des Sonnenscheinangebotes.

Die Unterschiede von Jahr zu Jahr sind in Abhängigkeit von den Witterungsverhältnissen naturgemäß sehr groß. Das wärmste Jahr der Bremer Klimageschichte bleibt – unkorrigiert – 1934 mit 10,7 °C. Erst bei einer Homogenisierung und Reduktion der Bremer Temperaturreihe auf den heutigen

Standort (HEINEMANN, 1994) wird dieser Wert relativiert. Nach erfolgter Homogenisierung wird erkennbar, dass die Jahre 1999 und 2000 mit je 10,4 °C bisher am wärmsten gewesen sind. In diesem Zusammenhang muss auch die Häufung von warmen Jahren zum Ende des 20. Jahrhunderts besonders hervorgehoben werden. Seit 1989 wurden in sechs Jahren Mitteltemperaturen von 10 Grad oder darüber registriert und nur ein einziges Jahr – 1996 – lag deutlich unter dem langjährigen Mittel. Eine derartige Häufung von Warmjahren ist seit Beginn regelmäßiger Messungen in Bremen noch nicht aufgetreten und damit absolut singulär. Dieses Phänomen korrespondiert aber sehr gut mit den weltweiten Befunden zur globalen Temperaturentwicklung (WMO, 2003).

Das – unreduziert – kälteste Jahr der Bremer Klimageschichte seit 1829 war 1940 mit 7,2 °C, zurückzuführen im Wesentlichen auf den extremen Eiswinter 1939/40. Bei Betrachtung der homogenisierten Temperaturreihe (Abb. 1) wird allerdings deutlich, dass im 19. Jahrhundert eine ganze Reihe kälterer Jahre verzeichnet worden sind.

Bei Betrachtung der extremen Monatsmitteltemperaturen zeigt sich, dass die Spannweite im Winterhalbjahr deutlich größer ist als im Sommer. Der kälteste Monat der neueren Klimageschichte in Bremen war der Januar 1940 mit -8,2 °C, der wärmste Monat war der Juli 1994 mit 21,9 °C. Auch in dieser Zusammenstellung wird deutlich, dass die letzten zehn bis fünfzehn Jahre bei den extrem warmen Monaten häufig auftauchen und damit deutlich überrepräsentiert sind.

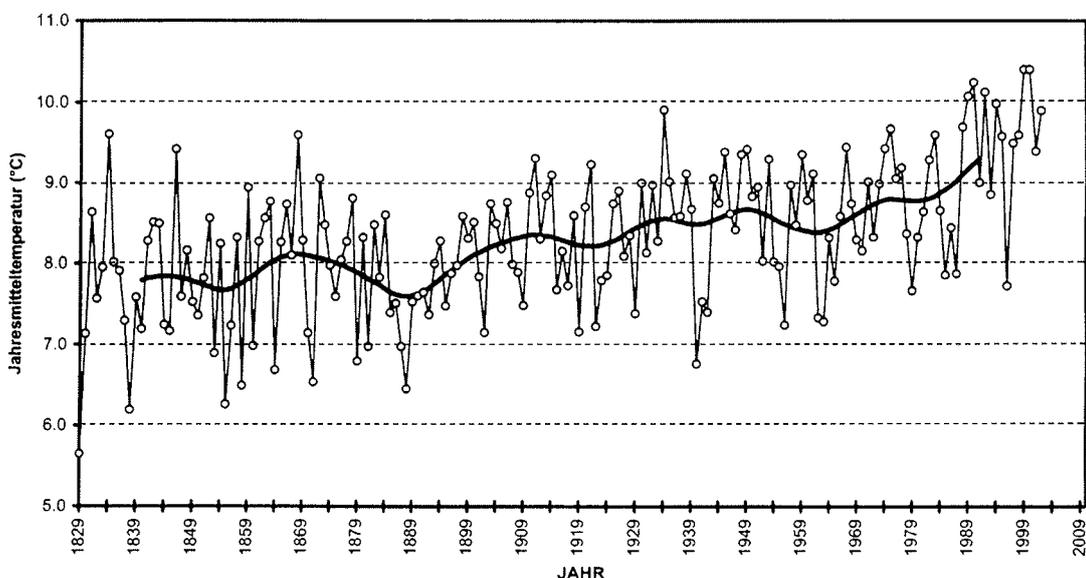


Abb. 1: Homogenisierte Jahresmitteltemperaturen in Bremen ab 1829 sowie der langjährige Trend (°C)

Die Bandbreite der gemessenen Temperaturwerte in Bremen umfasst 61,2 Kelvin. Der bisher wärmste Tag war der 9. August 1992 mit 37,6 °C. Die kälteste Nacht wurde am 13. Februar 1940 mit -23,6 °C registriert.

Der Trend zur Erwärmung unserer Atmosphäre in den letzten Jahrzehnten wird auch bei Betrachtung der Anzahl der Tage, an denen bestimmte Temperaturschwellen über- bzw. unterschritten werden, deutlich. Im Mittel werden aktuell 25,7 Sommertage (Maximum ab 25 °C), 4,5 heiße Tage (Maximum ab 30 °C), 68,4 Frosttage (Minimum unter 0 °C) und 14,2 Eistage (Maximum unter 0 °C) erreicht. Im Vergleichszeitraum 1931 bis 1970 lagen die entsprechenden Zahlen im Sommer deutlich niedriger (Sommer-; heiße Tage) bzw. im Winter höher (Frost-; Eistage).

Wie schon mehrfach angeklungen, richtet sich das Hauptaugenmerk der aktuellen Forschungsaktivitäten in der Meteorologie auf die Frage möglicher Klimaänderungen, den Anteil anthropogener Ursachen sowie auf die zu erwartenden Entwicklungen in der Zukunft. Diese Fragen sind ganz unstrittig von existenzieller Bedeutung für das Leben auf diesem Planeten. Die Berechnungen erfolgen heutzutage global mit immer aufwendigeren Klimamodellen. Einblicke in die Klimageschichte vergangener Jahrhunderte und Jahrtausende liefert die Paläoklimatologie auf der Basis von Untersuchungen an Eisbohrkernen, Sedimentablagerungen sowie Baumringanalysen. Messreihen auf der Basis direkter Temperatur-

messungen sind für derartige Untersuchungen viel zu kurz. Sie sind aber trotzdem wertvoll und daher ist auch die seit 1829 lückenlos aufbereitete Reihe der Jahresmitteltemperaturen von Bremen hier angeführt. Die Daten sind homogenisiert und auf den aktuellen Standort der Messstation am Flughafen Bremen reduziert worden, um eine direkte Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Zusätzlich wurde der Datensatz tiefpassgefiltert um alle kurzweiligen Schwankungsanteile mit Wellenlängen kleiner als dreißig Jahre herauszufiltern und ein klares Signal bezüglich der langfristigen Temperaturentwicklung zu erhalten. In Abb. 1 wird erkennbar, dass die derart gefilterten Jahresmitteltemperaturen seit 1889 einen nahezu ununterbrochenen Erwärmungstrend zeigen. Lag das Niveau zwischen 1887 und 1889 bei 7,60 °C und 1900 bei 8,11 °C so sind 1990 9,24 °C erreicht. (Durch die erforderlichen 23 Filtergewichte bei der Berechnung sind z. Zt. nur bis 1990 Werte verfügbar.) Lediglich in den zwanziger und sechziger Jahren des 20. Jahrhunderts wurden leichte Temperaturrückgänge errechnet. Das Temperaturniveau ist damit im 20. Jahrhundert in Bremen um rund 1,1 Kelvin angestiegen. Berücksichtigt man, dass in diesen hundert Jahren natürlich auch die Stadt und damit ihre Wärmeemission („Wärmeinsel“) erheblich zugenommen hat, so korrespondiert dieser Wert sehr gut mit dem von der WMO gerade veröffentlichten Wert von 0,6 Kelvin Temperaturanstieg im globalen Maßstab für das vergangene Jahrhundert.

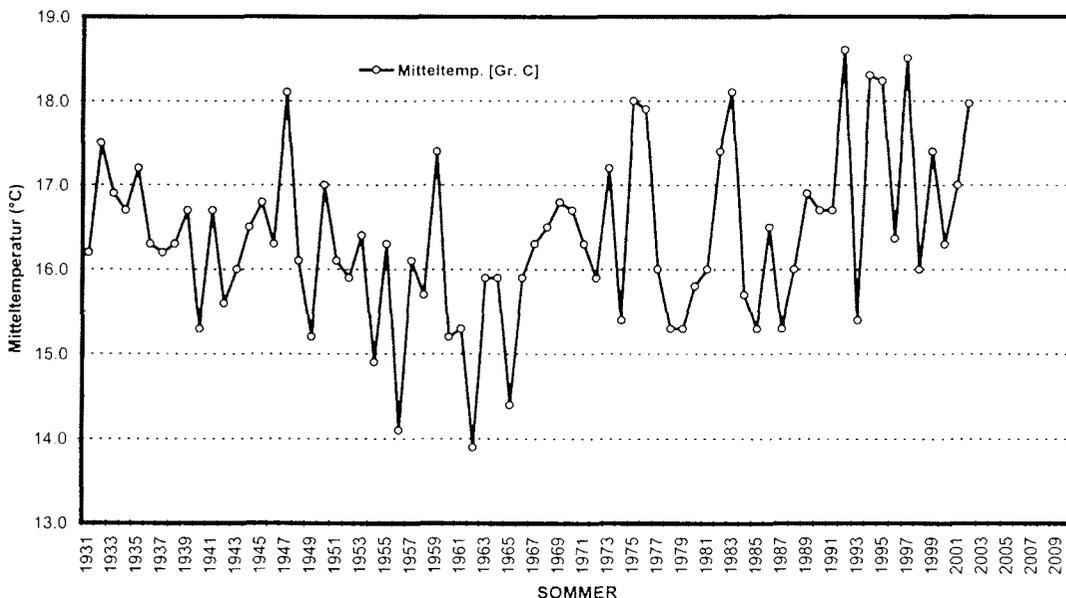


Abb. 2: Mitteltemperaturen der Sommer (Juni – August) in Bremen ab 1931 (°C)

Der beobachtete Temperaturanstieg hat naturgemäß auch Auswirkungen auf die einzelnen Jahreszeiten. Besonders auffällig ist dabei die Entwicklung in den letzten fünfzehn bis zwanzig Jahren. Exemplarisch kann dieses Phänomen an der Entwicklung der Sommer- und Wintertemperaturen festgemacht werden.

Korrespondierend mit der Dominanz westlicher Luftströmungen über Norddeutschland sowie dem vorherrschend maritimen Witterungscharakter waren die Sommer bis in die 80-er Jahre des 20. Jahrhunderts mehrheitlich mäßig temperiert (HEINEMANN 1986). Überdurchschnittlich warme Sommer blieben in Bremen die Ausnahme. Ihr Anteil lag im Mittel bei ein bis zwei Sommern pro Jahrzehnt und damit unter 20 Prozent. Auch aus dem 19. Jahrhundert sind ähnliche Verhältnisse überliefert (GLASER 2001). Erst im letzten Jahrzehnt ist eine dramatische Änderung zu beobachten (Abbildung. 2). Mehr als fünfzig Prozent der Sommer (Juni bis August) liegen erheblich über den bisher gültigen Mittelwerten. Allein in fünf Sommerperioden wurde die 18 Grad-Schwelle erreicht oder überschritten. Sollte sich diese Entwicklung fortsetzen, und die Ergebnisse der aktuellen Klima-Modellrechnungen sprechen dafür, sind grundlegende Änderungen des Vegetationsverhaltens unvermeidbar. Bei einer engen Koppelung der thermischen Entwicklung mit dem Wasser in der Atmosphäre (Niederschlag,

Verdunstung, etc.) sind die Risiken oder auch Chancen für die kommenden Jahrzehnte noch nicht absehbar.

Auch die Wintertemperaturen zeigen, zumindest für die zweite Hälfte des abgelaufenen Jahrhunderts einen deutlichen Anstieg. In Abb. 3 sind nur die gefilterten Daten dargestellt (10 und 30 Jahre), um klare Tendaussagen zu erhalten. Die relativ milde Periode bei den Wintern zwischen 1900 und 1925 kann, zumindest anteilig, auch auf den damaligen Beobachtungsstandort am Hafenhäuser zurückgeführt werden. Gemäß der Verteilung der in Nordwestdeutschland vorherrschenden Luftmassen (ca. 80% maritimen Ursprungs; ca. 20% kontinentalen Ursprungs) treten in Bremen im Durchschnitt nur alle sieben bis zehn Jahre strenge Winter auf. Gelegentlich können auch zwei oder in Einzelfällen (1939/40-1941/42; 1984/85-1986/87) sogar drei Winter in Folge zu kalt ausfallen. In Abb. 4 sind zusätzlich die Kältesummen für die einzelnen Winterperioden seit 1890/91 dargestellt. Es handelt sich dabei um die Summe der negativen Tagesmitteltemperaturen zwischen dem 1. November und dem 31. März. Die Kältesummen ermöglichen einen sehr eindrucksvollen Überblick über die jeweilige Winterstrenge und sie machen auch direkt deutlich, dass kalte Winter im überwiegend maritim beeinflussten Bremen schon immer eindeutig die Ausnahme waren. Es wird aber auch der Befund aus Abbildung 3 bestätigt, dass die

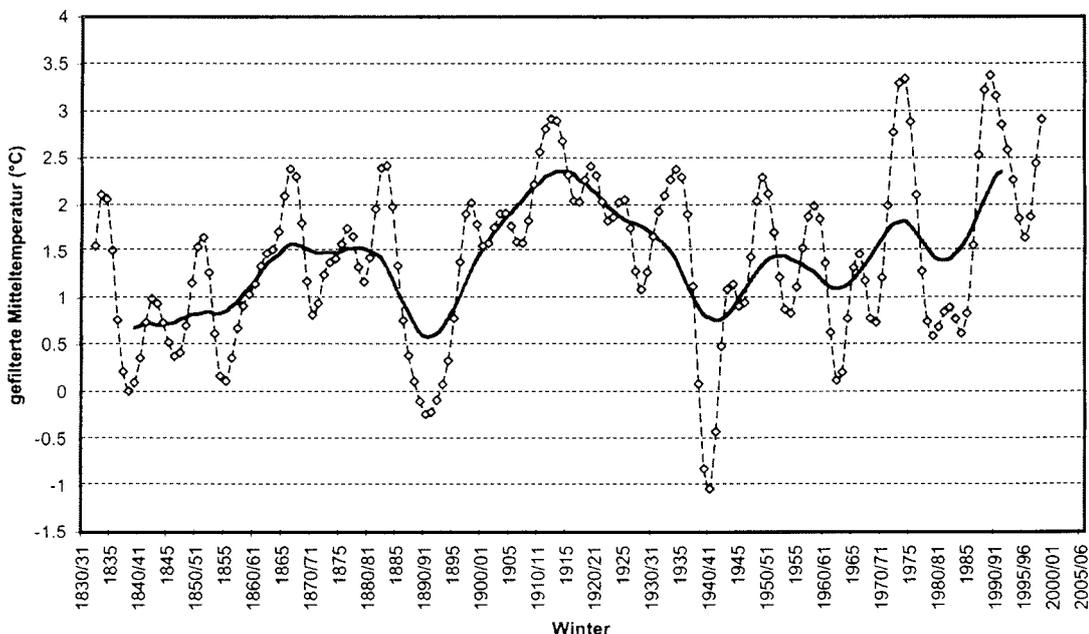


Abb. 3: Über 10 und 30 Jahre gefilterte Mitteltemperaturen der Winter (Dezember bis Februar) in Bremen ab 1830/31 (°C)

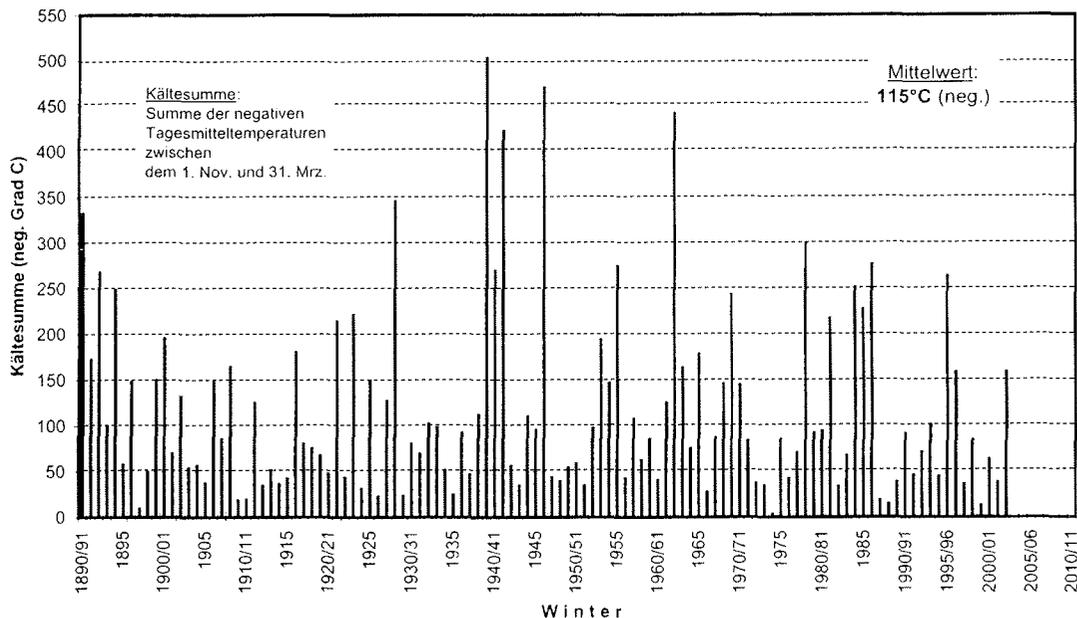


Abb. 4: Kältesummen für Bremen ab Winter 1890/91

Kälteanteile, unabhängig von den Schwankungen von Winter zu Winter, in den letzten Jahrzehnten deutlich geringer geworden sind.

Mit der fortschreitenden Erwärmung der bodennahen Atmosphäre in Bremen haben sich, wie schon an anderer Stelle angemerkt, auch die Jahreszeiten im Mittel erheblich verschoben. Der Winter endet früher. Die in früheren Jahrzehnten häufig registrierten kalten Hochwinterphasen im Februar fehlen nahezu völlig. Das Frühjahr beginnt durchschnittlich zwei Wochen früher und die „Eisheiligen“ (ein signifikanter Kälterückfall zwischen dem 10. und 15. Mai) fehlen häufig oder sind auf den April verschoben. Die Verlagerung des „Sommermonsuns“ vom Juli auf den Juni wurde schon beim Sonnenscheinangebot beschrieben, aber auch der Herbst setzt früher ein und dauert länger. Die unter dem Begriff „Altweibersommer“ über viele Jahrzehnte häufig zu beobachtenden stabilen Hochdruck-Wetterlagen im September mit Sonne, Wärme und Frühnebeln fehlen in letzter Zeit nahezu ganz. Ende August/Anfang September tritt jetzt häufig ein rascher Umschwung zu regnerischen und windigen herbstlichen Witterungsverhältnissen ein. Trotz dieser Verschiebung sind die ersten winterlichen Kaltlufteinbrüche, im Mittel zwischen Ende November und Anfang Dezember, eher leicht Richtung Dezember versetzt und meist nicht mehr so intensiv wie früher.

5.2 Das Wasser in der Atmosphäre

Der Wasserdampfanteil am „Gasgemisch“ unserer Lufthülle schwankt beständig, erreicht aber maximal nur einen Wert von etwa 4 Prozent. Trotzdem ist dieser „Wasseranteil“ von ausschlaggebender Bedeutung für die meisten atmosphärischen Prozesse und damit für die Entstehung und Gestaltung von Wetter und Klima. Der Anteil des Wasserdampfes am natürlichen „Glashauseffekt“ der Atmosphäre ist erheblich und der Wasserkreislauf von der Verdunstung über die Wolkenbildung bis hin zu den Niederschlägen ist die Grundvoraussetzung für jegliches Leben auf der Erde.

Die Möglichkeit der Atmosphäre, Wasser gasförmig zu speichern ist sehr stark von der jeweiligen Temperatur abhängig. Eine kleine Übersicht soll diese Tatsache verdeutlichen (Tab. 4).

Die Zunahme der Speichermöglichkeit einer Luftmasse steigt mit der Temperatur nicht linear, sondern exponentiell an.

Die verschiedenen Feuchtegrößen sowie ihre Verteilung für Bremen sind in früheren Arbeiten (z. B. BÄTJER et al. & HEINEMANN, 1980, 1983) ausführlich dargestellt und diskutiert worden. In den letzten zwanzig Jahren sind, abgesehen von einigen bereits beim Sonnenschein und bei der Temperatur beschriebenen jahreszeitlichen Verschiebungen, keine signifikanten Änderungen aufgetreten.

Tab. 4: Abhängigkeit des Wassergehaltes in der Luft von der Temperatur

| Lufttemperatur (°C) | max. Partialdruck des Wasserdampfes (hPa) | max. Wassergehalt (g/m ³ Luft) |
|---------------------|---|---|
| - 10 °C | 2,6 hPa | 2,4 g/m ³ |
| 0 °C | 6,11 hPa | 4,8 g/m ³ |
| 10 °C | 12,27 hPa | 9,4 g/m ³ |
| 20 °C | 23,37 hPa | 17,3 g/m ³ |
| 30 °C | 42,43 hPa | 30,4 g/m ³ |

Tab. 5: Mittlere Anzahl der Nebeltage in Bremen; Zeitraum 1971 bis 2000

| JAN | FEB | MRZ | APR | MAI | JUN | JUL | AUG | SEP | OKT | NOV | DEZ | JAHR |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 5,9 | 5,9 | 4,8 | 4,5 | 4,7 | 4,2 | 3,8 | 6,4 | 8,6 | 8,6 | 6,1 | 5,2 | 68,7 |

Tab. 6: Daten zum Niederschlag in Bremen (mm bzw. Liter/m²)

| | JAN | FEB | MRZ | APR | MAI | JUN | JUL | AUG | SEP | OKT | NOV | DEZ | JAHR |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Mittelwert 1971 bis 2000 | 55.2 | 35.7 | 51.2 | 40.8 | 54.1 | 73.4 | 65.1 | 61.2 | 60.2 | 55.4 | 57.7 | 61.8 | 671.9 |

Extreme ab 1890

| MAXIMUM JAHR | 1974 | 1927 | 1914 | 1936 | 1967 | 1971 | 1993 | 1960 | 1968 | 1998 | 1951 | 1993 | 2002 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 135.7 | 114.5 | 124.3 | 121.4 | 123.6 | 150.7 | 190.7 | 167.7 | 184.4 | 172.7 | 124.9 | 137.0 | 106.2 |

| MINIMUM JAHR | 1996 | 1890 | 1929 | 1893 | 1980 | 1934 | 1983 | 1983 | 1959 | 1908 | 1902 | 1890 | 1955 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2.9 | 4.3 | 5.4 | 1.8 | 13.8 | 5.6 | 16.4 | 13.6 | 1.3 | 1.6 | 5.7 | 1.8 | 4.10 |

| max. 24stdg. Niederschlag DATUM | 4. Januar 1932 | 9. Februar 1904 | 24. März 1951 | 19. April 1965 | 23. Mai 1976 | 20. Juni 1947 | 1. Juli 1954 | 11. August 1984 | 1. September 1978 | 7. Oktober 2002 | 4. November 1940 | 3. Dezember 1950 | 13. August 1964 |
|---------------------------------|----------------|-----------------|---------------|----------------|--------------|---------------|--------------|-----------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| | 41.2 | 33.2 | 30.7 | 29.5 | 45.4 | 46.2 | 58.0 | 78.5 | 68.1 | 53.5 | 30.7 | 36.7 | 78.5 |

Zahl der Tage mit Niederschlag (Mittelwerte 1971 bis 2000)

| ab 0.1 mm | | | | | | | | | | | | | |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| ab 10.0 mm | 1.2 | 0.4 | 1.0 | 0.7 | 1.3 | 2.0 | 1.5 | 1.5 | 1.6 | 1.0 | 1.3 | 1.4 | 14.9 |

Exemplarisch soll dieser Befund durch die Häufigkeitsverteilung der Nebeltage (Tagen mit Sichtweiten unter 1 km) belegt werden (Tab. 5).

Im nebelreichsten Jahr 1982 wurden an 106 Tagen Sichtweiten unter 1 km beobachtet gegenüber nur 46 Tagen im Jahre 1974. Es gibt in Bremen nur wenige Monate ohne Nebelereignisse. Der Monat mit den meisten Nebellagen war der Dezember 1963 mit 19 Tagen.

In dieser Arbeit wird auf eine ausführliche Diskussion weiterer Feuchtgrößen für 1971 bis 2000 verzichtet und der Schwerpunkt auf die Niederschlagsverhältnisse gelegt.

Die in den Wolken frei schwebenden Wassertropfchen mit Durchmessern von ca. 5 bis 10 µm können durch physikalische Prozesse zusammen-

wachsen und etwa ab einem Durchmesser von 50 µm wird ihr Gewicht so groß, dass sie als Niederschlag ausfallen. Dabei hängt es vom vertikalen Temperaturprofil sowie von der Schichtung der Atmosphäre ab, ob dieser Niederschlag als Sprühregen, Regen, Graupel, Hagel oder Schnee fällt.

Die für Bremen ermittelten Niederschlagsdaten für den Zeitraum 1971 bis 2000 sind in Tab. 6 zusammengestellt. Extreme Werte beziehen sich auf den Zeitraum ab 1890. Im Durchschnitt fielen am Flughafen in Bremen in diesen dreißig Jahren 671,9 mm (1 mm entspricht einer Wassermenge von 1 Liter pro m² Fläche) pro Jahr. Der Monat mit der geringsten mittleren Niederschlagspende war der Februar mit 35,7 mm. Der nasseste Monat war im Durchschnitt der Juni mit 73,4 mm. Gegenüber frü-

heren Jahrzehnten zeigt sich ein leichter Rückgang der mittleren Niederschlagsmengen. Auffällig und schon an anderer Stelle beschrieben ist die Verlagerung des Niederschlagsmaximums auf den Juni. Das in allen langjährigen Reihen vor 1971 erkennbare signifikante Maximum im Juli und August, hervorgerufen durch häufige konvektive Ereignisse (Schauer oder Gewitter), fehlt in den letzten Jahrzehnten in vielen Jahren. Dadurch unterscheiden sich die Mittelwerte kaum noch von denen der meisten anderen Monate. Das Minimum hat sich im Jahresverlauf vom März auf den Februar vorverlagert.

Angesichts des gerade zu Ende gegangenen Jahrs 2002, das als das bisher mit Abstand nasseste Jahr seit Beginn regelmäßiger Aufzeichnungen in die Bremer Klimageschichte eingehen wird, sind die in der Tabelle ebenfalls aufgelisteten Extremwerte interessant. 2002 war das erste Jahr seit 1830 mit mehr als 1000 mm Niederschlag in Bremen überhaupt. Demgegenüber verschwinden die 410 mm des Jahres 1959 geradezu. Der nasseste Monat seit 1890 war der Juli 1993 mit 190,7 mm. Trockenster Monat bleibt der September 1959 mit ganzen 1,3 mm. Die größte Niederschlagspende in vierundzwanzig Stunden fiel am Flughafen am 13. August 1964 mit 78,5 mm. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass im Stadtgebiet bei vergleichbar intensiven Gewitterlagen auch schon Niederschlagsmengen um oder über 100 mm gefallen sind. Das Niederschlagsfeld ist so inhomogen, dass die Spitzenwerte insbesondere bei Schauern und Gewittern durch ein konventionelles Messnetz nur sehr unzureichend erfasst werden. Hier wird voraussichtlich das Radar-Verbundnetz des Deutschen Wetterdienstes zukünftig höher aufgelöste quantitative Daten bereitstellen können.

In der Tab. 6 sind zusätzlich auch die Tage mit Niederschlagsmengen ab 0,1 mm, ab 10,0 mm sowie die Tage mit Neuschnee und einer geschlossenen Schneedecke aufgenommen. Interessant sind bei diesen Angaben nicht nur die absoluten Werte, sondern insbesondere der Vergleich zu früheren Jahrzehnten. Es zeigt sich, dass auch diese Zahlen leicht rückläufig sind. Die Tage mit Niederschlag korrespondieren dabei mit den leicht rückläufigen Niederschlagsmengen. Die geringere Zahl der Tage mit Neuschnee bzw. einer Schneedecke ist eng verknüpft mit dem Temperaturanstieg in Bremen und der daraus resultierenden mittleren Verkürzung des eigentlichen Winters.

Ausgelöst durch das „Ausnahmehahr“ 2002 wird in letzter Zeit verstärkt über eine Zunahme der Starkregenereignisse diskutiert, zumal in einigen Publikationen bereits Belege hierfür vorgelegt werden (FRICKE & KRONIER 2002). Für Bremen ist

die Zahl der Tage mit 10 mm Niederschlag oder mehr ab 1951 in Abb. 5 dargestellt. Auch hier übertrifft das Jahr 2002 mit 36 Tagen alle bisherigen Extreme mit Abstand. Es fällt zudem auf, dass in den neunziger Jahren gehäuft viele Starkregentage registriert wurden. Dieses Jahrzehnt war, wie bereits beschrieben, das bisher wärmste in Bremen. Angesichts der Tatsache, dass wärmere Luft deutlich mehr Wasserdampf speichern kann und damit über ein zusätzliches Energiepotenzial, die so genannt latente Wärme, verfügt, sind diese häufigen Starkregenereignisse durchaus erklärbar. Auch wenn der langjährige Trend in der Grafik unter Ausschluss aller Anteile unter 10 Jahren noch kein eindeutiges Signal zeigt, muss bei Bewertung der vorstehenden Aussagen bei weiter ansteigendem Temperaturniveau für Bremen mit häufigeren Starkregenereignissen gerechnet werden. Gestützt wird dieser Befund durch die Zahl der Tage mit Gewittern, die in den letzten zehn Jahren wieder zugenommen hat. Das Jahr mit den meisten Gewittern bleibt allerdings 1953 mit 38 Tagen. Bei den Monaten ist der August 2002 mit 12 Gewittertagen Spitzenreiter. Im langjährigen Durchschnitt beobachtet man in Bremen an nahezu 25 Tagen Gewitter.

Das Spektrum der in den vergangenen hundert Jahren aufgetretenen Jahreshöhen des Niederschlags für Bremen zeigt Abb. 6. Der eingezeichnete Trend (Tiefpassfilterung nach Gauß) lässt noch kein eindeutiges Signal für die zukünftige Niederschlagsentwicklung erkennen. Es fällt aber auf, dass nach einer Phase mit geringeren Variationen von Jahr zu Jahr in den siebziger und achtziger Jahren in den vergangenen Jahren außerordentlich hohe Sprünge von Jahr zu Jahr registriert werden. Nun neigt zwar die Atmosphäre zu Extremen, aber vielleicht sind diese auffällig hohen Ausschläge doch ein Hinweis darauf, dass sich das Klima ändert und einen neuen Gleichgewichtszustand sucht. Diese Aussage ist zurzeit noch recht spekulativ und es bleibt abzuwarten, was die nächsten Jahre ergeben.

Es wurde schon angesprochen, dass die räumliche Verteilung der Niederschläge sehr inhomogen ist. Für wasserwirtschaftliche Fragestellungen ist daher immer die flächenmäßige Niederschlagsverteilung von Bedeutung (KRAFT & STEINECKE 1999). Auf der Basis von nahezu vierzig haupt- und ehrenamtlichen Niederschlagsmessstationen des Deutschen Wetterdienstes hat daher D. Kraft von der Universität Bremen eine Karte des mittleren Niederschlagsangebots für den Unterweserraum von Bremen bis Bremerhaven konstruiert. Aus Gründen der Datenverfügbarkeit konnte hierfür nur der Zeitraum 1961 bis 1990 zugrunde gelegt werden.

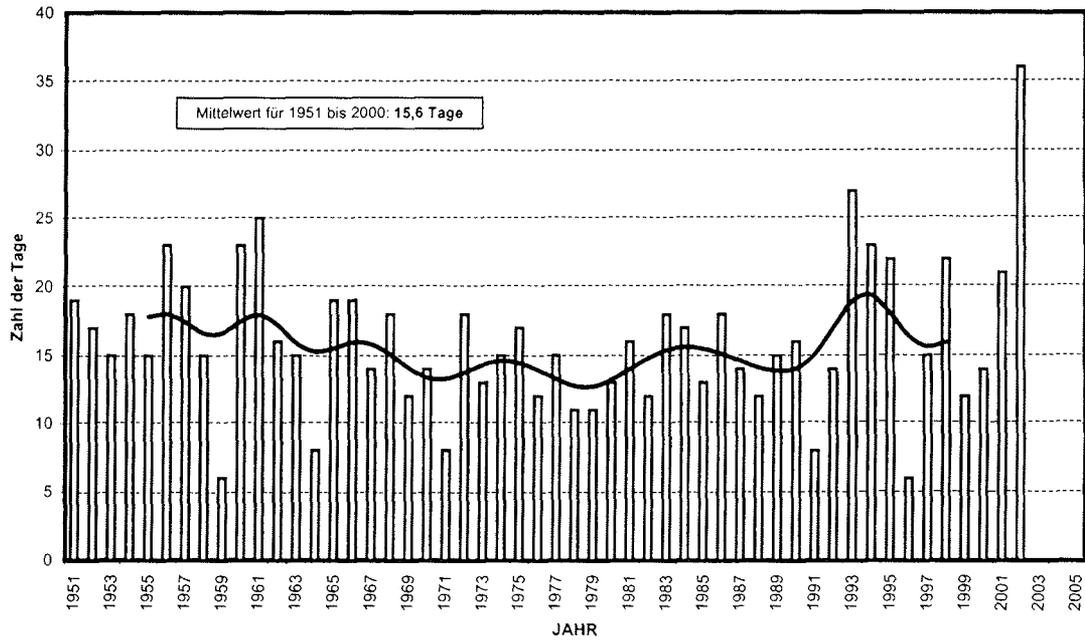


Abb. 5: Zahl der Tage mit einer Niederschlagshöhe von 10 mm oder darüber für Bremen sowie der langjährige Trend ab 1951

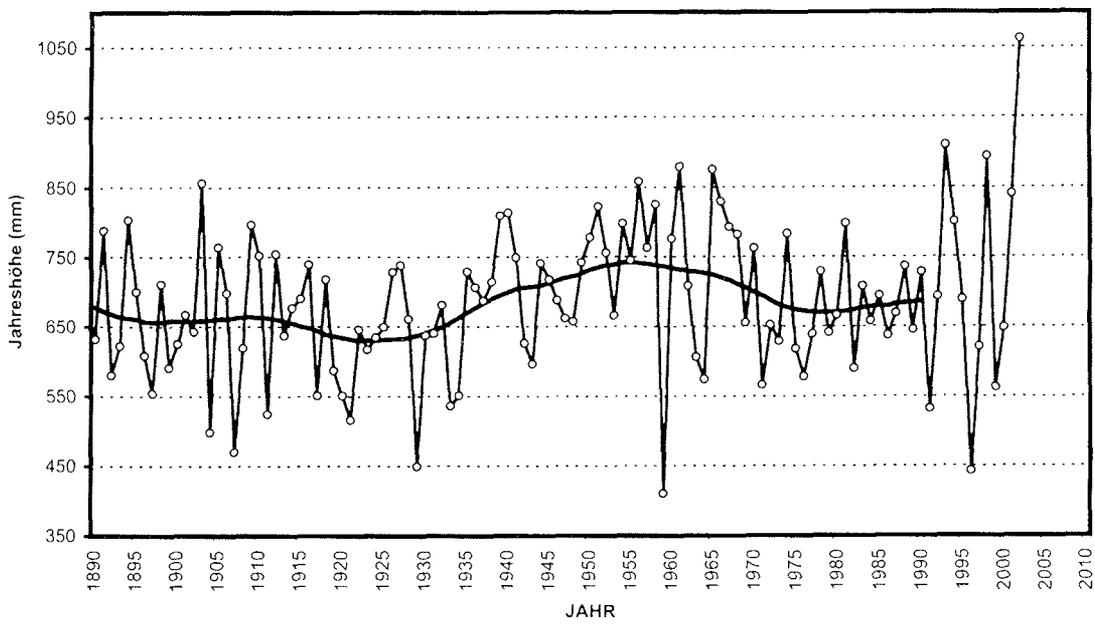


Abb. 6: Jahreshöhen des Niederschlags für Bremen sowie der langjährige Trend ab 1890 (mm)

Die Darstellung ist als Abb. 7 beigefügt. Über der Nordsee und im Mündungstrichter der Weser ist das Niederschlagsangebot relativ geringer als weiter landeinwärts. Diese Differenzen sind erklärbar durch den Übergang vom Meer zum Festland (Zunahme der Rauigkeit des Untergrundes; verändertes Temperaturverhalten im Tages- und Jahresgang). Die Effekte werden etwa 10 bis 20 km landeinwärts wirksam und erreichen eine Größenordnung von durchschnittlich 100 mm oder höher pro Jahr. Weiter landeinwärts wird ein weiteres Verteilungsmuster erkennbar. Über den Geest-Gebieten westlich und östlich der

Weserniederung liegen die mittleren Niederschlagsmengen mit 750 bis 800 mm oder mehr deutlich über denen in den feuchten Wesermarschen. Hier werden im Durchschnitt 700 mm pro Jahr nur wenig überschritten. Neben den Unterschieden der Böden und des Bewuchses sind hier auch Einflüsse durch die Geländehöhen (Geest über 20 Meter; Marsch meist unter 5 Meter über NN) denkbar. Das Minimum bei Bremen-Farge (Mittel 1961-90: 639 mm) deutet allerdings wohl zusätzlich auf lokale Einflüsse auf den Messstandort hin und muss mit Vorsicht betrachtet werden.

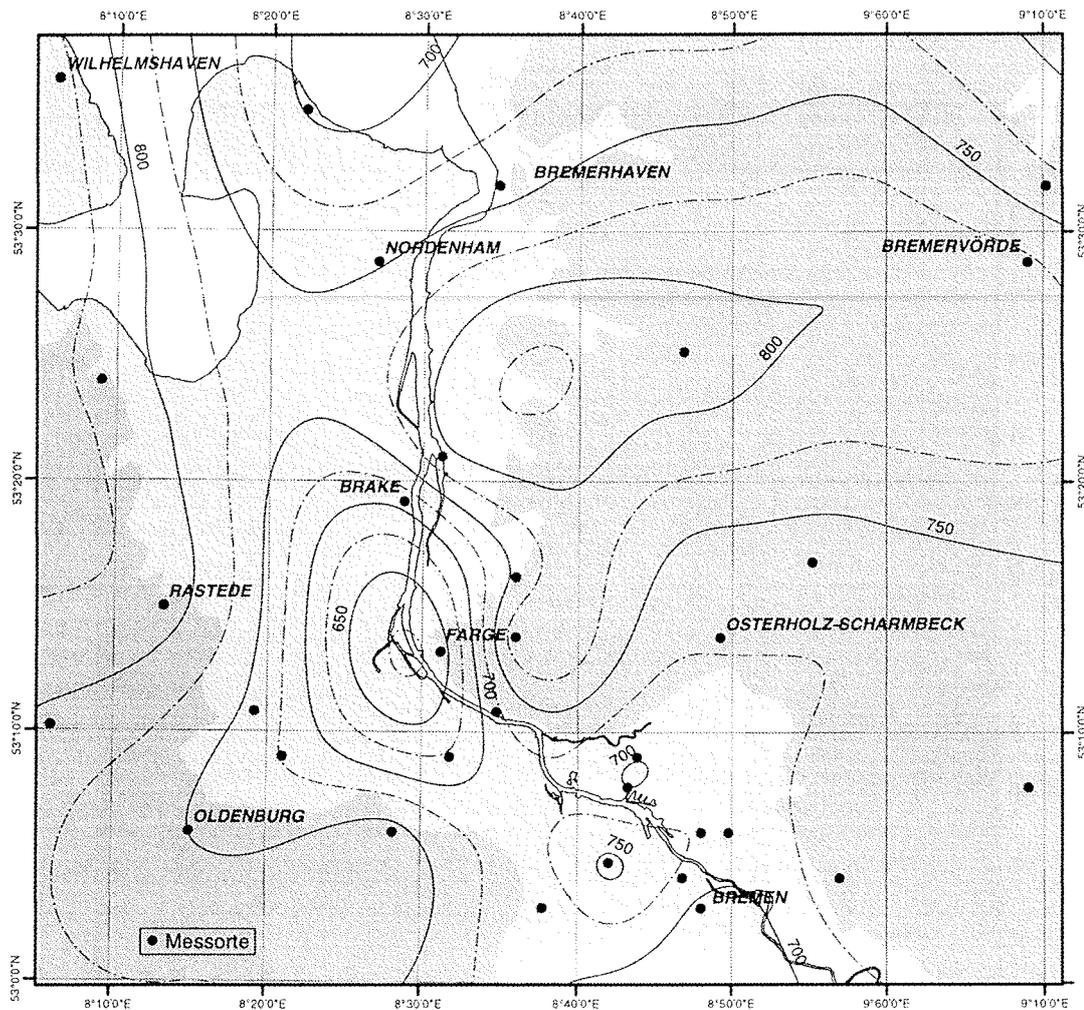


Abb. 7: Mittlere Niederschlagshöhen (mm) für das Unterwesergebiet im Zeitraum 1961 bis 1990 (Daten: DWD; Entwurf: D. Kraft)

auf Meereshöhe (NN). In den einzelnen Monaten sind die Unterschiede bei den mittleren Verhältnissen nicht sehr groß. Sie schwanken zwischen 1015,4 hPa im Februar und 1012,9 hPa im April. Signifikante Unterschiede gegenüber früheren Zeitperioden sind nicht erkennbar. Die Luftdruckunterschiede von Tag zu Tag können natürlich erheblich sein. Die bei BATJER & HEINEMANN (1980, 1983) mitgeteilten extremen Monatsmittel und Tageswerte haben nach wie vor uneingeschränkt Gültigkeit. Die gesamte Bandbreite der in Bremen beobachteten Luftdruckwerte überdeckt fast 100 hPa (Maximum: 1053,1 hPa am 23.1.1907; Minimum 955,4 hPa am 27.11.1983). Extreme Luftdruckwerte treten vor allem im Winterhalbjahr auf. Hohe Werte ergeben sich bei sehr kalten winterlichen Hochdruckgebieten, tiefe Werte werden im Einflussbereich winterlicher Sturm- und Orkanzyklonen gemessen. Bei den letzteren treten auch die größten kurzzeitlichen Änderungen des Luftdruckes auf. Änderungen von 15 hPa und mehr in 3 bis 6 Stunden und bis 40 hPa in 24 Stunden sind in Bremen bereits registriert worden.

5.3.2 Wind

Die Atmosphäre ist als Gasgemisch beweglich und kompressibel. Sie ist immer bestrebt, bestehende Druckgegensätze auszugleichen. Die horizontale Luftbewegung ist der Wind, eine vektorielle Größe,

gemessen nach Richtung (aus der der Wind weht) und Geschwindigkeit. Nach internationaler Vereinbarung (WMO) beträgt die Messhöhe 10 Meter über Grund und das Mittelungsintervall beträgt jeweils 10 Minuten.

Die wirkenden Kräfte sind die Druckgradientkraft und die Coriolis-Kraft, die ablenkende Kraft der Erdrotation. In Bodennähe wirken zusätzlich Reibungskräfte, die den Wind zum tiefen Luftdruck hin ablenken und die mittlere Windgeschwindigkeit absenken. Die Reibung ist umso größer je "rauer" der Untergrund ist. Die geringste Reibung wird i. A. über dem Meer beobachtet. Bei stärkerer Krümmung der Isobaren (Linien gleichen Luftdruckes) müssen zusätzlich auch Zentrifugal- bzw. Zentripetalkräfte berücksichtigt werden.

Maßeinheiten sind für die Windrichtung die Windrose bzw. die 360 Grad-Skala des Vollkreises und bei der Windgeschwindigkeit Meter pro Sekunde. Beaufort-Stufen, Knoten und Kilometer pro Stunde sind ältere Einheiten und verlieren zunehmend an Bedeutung.

Aus der Lage Bremens in mittleren Breiten der Nordhalbkugel und im Westteil der norddeutschen Tiefebene ergibt sich, wie schon einleitend beschrieben, eine Dominanz westlicher Luftströmungen (CHRISTOFFER & ULBRICHT-EISSING 1889). Die mittlere Verteilung der Windrichtungen über das Jahr zeigt Abb. 8. Es wird sofort deutlich, dass auch in den letzten drei Jahrzehnten Winde aus

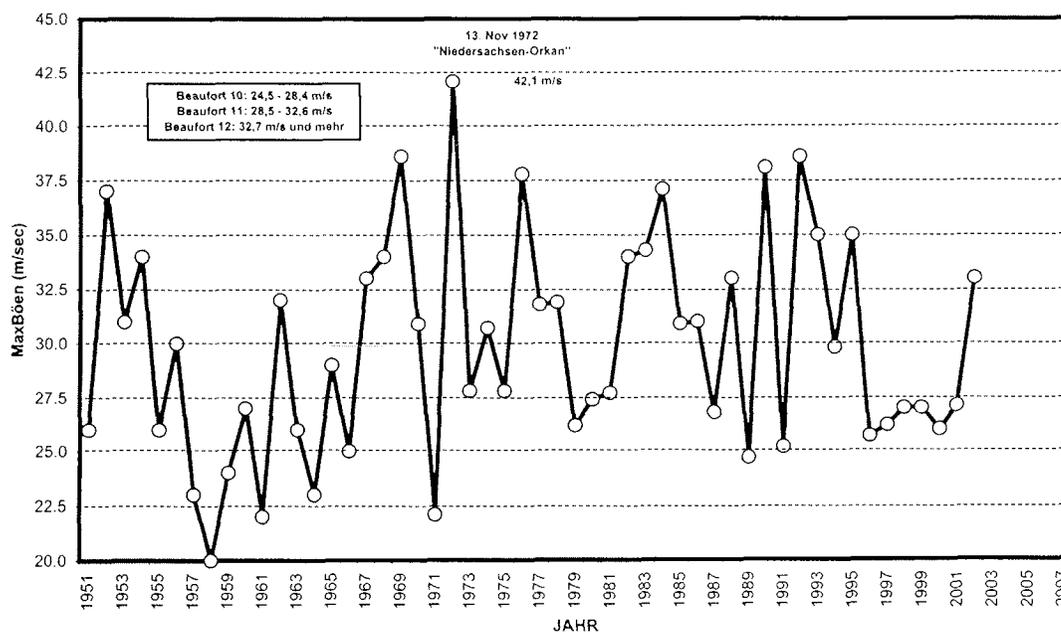


Abb. 9: Jährliche maximale Böen (m/sec) in Bremen ab 1951

Tab. 7: Relative Häufigkeiten (Prozent) für diskrete Windgeschwindigkeitsbereiche Bremen, Mittelwerte für 1971 bis 2000

| Monat | Windstille (Calmen) | 1,0-4,9 m/s | 5,0-9,9 m/s | ab 10,0 m/s | Mittelwert (m/s) |
|-----------|------------------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|
| Januar | 1.2 | 50.0 | 42.6 | 6.2 | 4.8 |
| Februar | 1.4 | 55.8 | 38.8 | 4.0 | 4.6 |
| März | 1.2 | 52.4 | 41.6 | 4.8 | 5.0 |
| April | 1.6 | 59.4 | 36.9 | 2.1 | 4.4 |
| Mai | 1.9 | 65.7 | 31.8 | 0.6 | 4.1 |
| Juni | 1.9 | 66.8 | 30.9 | 0.4 | 4.1 |
| Juli | 1.9 | 67.4 | 30.4 | 0.3 | 4.4 |
| August | 2.0 | 72.3 | 24.9 | 0.8 | 3.8 |
| September | 3.2 | 68.5 | 27.2 | 1.1 | 4.1 |
| Oktober | 1.9 | 62.5 | 33.4 | 2.2 | 4.4 |
| November | 1.2 | 53.9 | 41.3 | 3.6 | 4.8 |
| Dezember | 1.0 | 49.8 | 44.4 | 4.8 | 4.9 |
| Jahr | 1.7 | 60.4 | 35.4 | 2.5 | 4.0 ⁴ |

dem Südwestsektor mit dem größten prozentualen Anteil vertreten waren. Der Südwestwind dominiert nahezu während des gesamten Jahresablaufs mit einem Maximum im November und Dezember (bis über 21 Prozent) und einem Minimum im April (knapp unter 10 Prozent) und einer leichten Westverschiebung im Sommer. Zwischen September und März tritt zusätzlich noch ein sekundäres Maximum bei Südostwinden in Erscheinung. Die Häufigkeiten sind allerdings deutlich niedriger und erreichen maximal rund 14 Prozent im Oktober. Ein Vergleich mit älteren Verteilungen (BATJER & HEINEMANN 1980) zeigt eine sehr ähnliche Struktur bei allerdings leichten Häufigkeitsverschiebungen zum Haupt-Maximum. Diese sollten allerdings zunächst nicht überbewertet werden, da hier auch Unterschiede bei der Klassenbildung eine Rolle gespielt haben können.

Die mittlere Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten ist, aufgeteilt nach diskreten Geschwindigkeitsbereichen, für jeden Monat sowie für das Jahr in Tab. 7 zusammengestellt. Der Jahrgang wird deutlich sichtbar und korrespondiert mit der Varianz der Westwinddrift der globalen Zirkulation. Niedrige Windgeschwindigkeiten (bis 4,9 m/s) dominieren im Sommerhalbjahr (August 72,3 Prozent). Die höheren Geschwindigkeitsbereiche sind dagegen im Winter häufiger mit Spitzenwerten im Dezember und Januar. Bei einer jährlichen mittleren Windgeschwindigkeit von 4,0 m/s liegt die Schwankungsbreite zwischen 3,8 m/s im August und 5,0 m/s im März. Auch hier zeigt ein Vergleich mit Aus-

wertungen aus früheren Jahrzehnten noch keine signifikanten Veränderungen, zumal der Übergang der Auswertung von Beaufort-Stufen auf m/s-Intervalle Inhomogenitäten verursacht haben kann. Allenfalls die Steigerung im mittleren Geschwindigkeitsbereich (5,0 bis 9,9 m/s) sollte in den nächsten Jahren aufmerksam verfolgt werden. Auch die Sturmhäufigkeit hat für Bremen in den letzten Jahrzehnten nicht entscheidend zugenommen. Dieser Befund deckt sich mit Untersuchungen zur Sturmhäufigkeit über der Deutschen Bucht (SCHMIDT 2002). Die mittlere Zahl der Tage mit Windstärken ab 6 Beaufort beträgt 44,1, die mit Windstärken ab 8 Beaufort (Basis sind jeweils die 10-Minuten-Mittel) 2,4 bei allerdings größeren Schwankungsbreiten von Jahr zu Jahr. Ein Vergleich mit früheren Jahrzehnten verbietet sich aufgrund geänderter Definitionen. In Abb. 9 wird zusätzlich noch die jeweils höchste gemessene Windgeschwindigkeit seit 1951 dargestellt. Es wird eine sehr hohe Schwankungsbreite zwischen 20,0 m/sec im Jahre 1958 und 42,1 m/s („Niedersachsen-Orkan“) 1972 erkennbar. Außerdem zeigt die Zeitreihe ruhigere (sechziger Jahre; ab 1996) und unruhigere Perioden (siebziger Jahre; 1. Hälfte neunziger Jahre). Daraus ist sicher ableitbar, dass die Sturmhäufigkeit und Intensität in den kommenden Jahren und Jahrzehnten durchaus wieder zunehmen wird. Neben den Stürmen ist für Bremen und den Unterweserraum die Frage nach Sturmfluten und Wasserständen von existenzieller Bedeutung. In diesem Zusammenhang fällt auf,

das in den letzten beiden Jahrzehnten bei nahezu allen Sturmereignissen die stärksten Winde aus Südwest wehten. Die für das Weser-Einzugsgebiet gefürchtete Winddrehung auf Nordwest war in diesem Zeitabschnitt fast immer mit deutlicher Windabschwächung verbunden. Auch diese Erkenntnis ist sicher kein Trend für die Zukunft. Irgendwann in absehbarer Zukunft wird wieder ein Nordwest-Orkan zu einer sehr schweren Sturmflut führen, sodass der Deichsicherung, gerade auch im Zusammenwirken mit den bekannten Erhöhungen des mittleren Wasserstandes, weiter eine ausschlaggebende Bedeutung zukommt.

5.4 Phänologische Entwicklungen

Die Phänologie (griechisch; wörtlich: „Lehre von den Erscheinungen“) befasst sich mit den im Jahresablauf periodisch wiederkehrenden Wachstums- und Entwicklungsphasen der unterschiedlichsten Pflanzen (Wildpflanzen; landwirtschaftliche Kulturen; Forst-, Zier- und Obstgehölze; etc.). Es werden die Eintrittszeiten charakteristischer Vegetationsstadien (Phasen) beobachtet. Diese stehen in enger Beziehung zu Wetter und Klima und eignen sich daher für die verschiedensten Anwendungsgebiete und für vielseitige wissenschaftliche Untersuchungen (Trendanalysen bezüglich Temperatur und Niederschlag, Eingangsgrößen für agrarmeteorologische Modelle, Beratungsunterlagen für die Landwirtschaft, Pollenflug, etc.). Der Deutsche Wetterdienst unterhält ein umfangreiches Netz ehrenamtlicher Beobachter zur Gewinnung dieser Daten.

Der Zusammenhang zwischen Wetter, Klima und der Pflanzenentwicklung ist bereits seit Jahrhunderten bekannt und bereits Ende des 19. Jahrhunderts wurden phänologische Beobachtungen auch in Bremen durchgeführt.

Die hier vorgelegten neueren Daten basieren auf

den Beobachtungen von fünf Stationen im Raum Bremen im Höhenbereich von 3 bis 15 Metern über dem Meeresspiegel aus dem Zeitraum 1951 bis 2002. Die Ergebnisse sind in einem Phänologischen Kalender (Abb. 10-11) dargestellt und ermöglichen detaillierte Aussagen zum mittleren und extremen Auftreten bestimmter, jeweils für eine phänologische Jahreszeit relevanter Pflanzenphasen. Darüber hinaus werden Schwankungsbreiten deutlich und die Grafik ermöglicht Aussagen über die Häufigkeit von Eintrittsterminen.

In dieser Matrix werden nahezu 95 Prozent aller Ereignisse erfasst. Eintrittstermine vor dem 2,7%-Wert oder nach dem 97,3%-Wert sind möglich, allerdings außerordentlich selten und werden daher nicht dargestellt.

Neben dem phänologischen Kalender ist auch die so genannte „Phänologische Uhr“ für Bremen in Abb. 12 wiedergegeben. In ihr wird der mittlere Beginn sowie die Dauer der zehn phänologischen Jahreszeiten vom Vorfrühling (Beginn der Haselblüte) bis zum Winter (Auflaufen des Winterweizens, Blattfall der Stiel-Eiche) erkennbar. Das Kalenderjahr wird dadurch wesentlich detaillierter und entsprechend des Wachstumsfortschrittes in der Natur dargestellt, als es die vier auf astronomischen Grundlagen basierenden Jahreszeiten ermöglichen.

Von besonderem Interesse ist in dieser Darstellung die Doppelstruktur. Der äußere Ring wurde auf der Datenbasis von 1961 bis 1990 konstruiert, der innere Ring bezieht sich auf das Jahrzehnt 1991 bis 2000. Zwischen beiden Kollektiven werden signifikante Unterschiede erkennbar. Im letzten Jahrzehnt sind bis zum Eintritt des Vollherbstes alle Jahreszeiten deutlich nach vorne verschoben. Am größten sind die Abweichungen zu Jahresbeginn. Vorfrühling und Erstfrühling beginnen bis zu zwei Wochen früher als zuvor. Im Spätherbst und Winter zeigt sich das umgekehrte

Tab. 8: Häufigkeitsstufen (Summenhäufigkeiten) für den phänologischen Kalender

| Folgende Werte werden verwendet: | Eintrittshäufigkeit: |
|---|-------------------------------------|
| frühester Wert (2,7% Summenhäufigkeit) | davor: 1 mal in 37 Jahren |
| 2. Dezil (20% Summenhäufigkeit) | dazwischen: 1 mal in 5 bis 6 Jahren |
| 8. Dezil (80% Summenhäufigkeit) | dazwischen: in 6 von 10 Jahren |
| spätester Wert (97,3% Summenhäufigkeit) | dazwischen: 1 mal in 5 bis 6 Jahren |
| | danach: 1 mal in 37 Jahren |

Bild. Beide Jahreszeiten beginnen jetzt später. Allerdings sind die Unterschiede nicht so groß wie im Frühjahr. Dies bedeutet auch, dass der Winter und damit die Vegetationsruhe im letzten Jahrzehnt im Durchschnitt fast einen Monat kürzer war als vor 1990. Während der Sommer zwar früher beginnt und früher endet, ist seine Dauer kaum unterschiedlich. Die Übergangsjahreszeiten Frühjahr und Herbst sind dagegen deutlich länger geworden. Der Vorfrühling beginnt im Mittel bereits in der ersten Februardekade und die ersten frühherbstlichen Anzeichen (Fruchtreife beim Holunder) treten schon Ende August auf.

Alle diese Erkenntnisse korrespondieren naturgemäß eng mit den vorstehend getroffenen Aus-

sagen zur Temperaturentwicklung im ausgehenden 20. Jahrhundert. Es wird hier sehr eindrucksvoll bestätigt, welche Umwälzungen derartige Klimaänderungen auf den Ablauf in der Natur haben.

6 KLIMAÄNDERUNGEN – KLIMATRENDS

In den letzten zehn bis zwanzig Jahren häufen sich die Berichte über ungewöhnliche Wetterereignisse, häufig mit katastrophalen Folgen und immensen Schäden, aus der ganzen Welt. Tropische Wirbelstürme, Orkane in den gemäßigten Breiten, Sturmfluten, Dürren, Überschwemmungen, Hitzewellen, etc. Die Liste ließe sich beliebig verlängern! Auch wenn die Atmosphäre Extreme bevorzugt, so ist doch die Häufung derartiger Ereignisse ungewöhnlich und sollte als Mahnung und Hinweis verstanden werden, dass sich das irdische Klima wandelt (SCHÖNWIESE & DIECKMANN 1987; SCHÖNWIESE 1992). Die Tatsachen sind in der Fachwelt nicht streitig und die Mehrheit der Wissenschaftler geht heute



Abb. 10: Aufbau der Balkengrafik im phänologischen Kalender

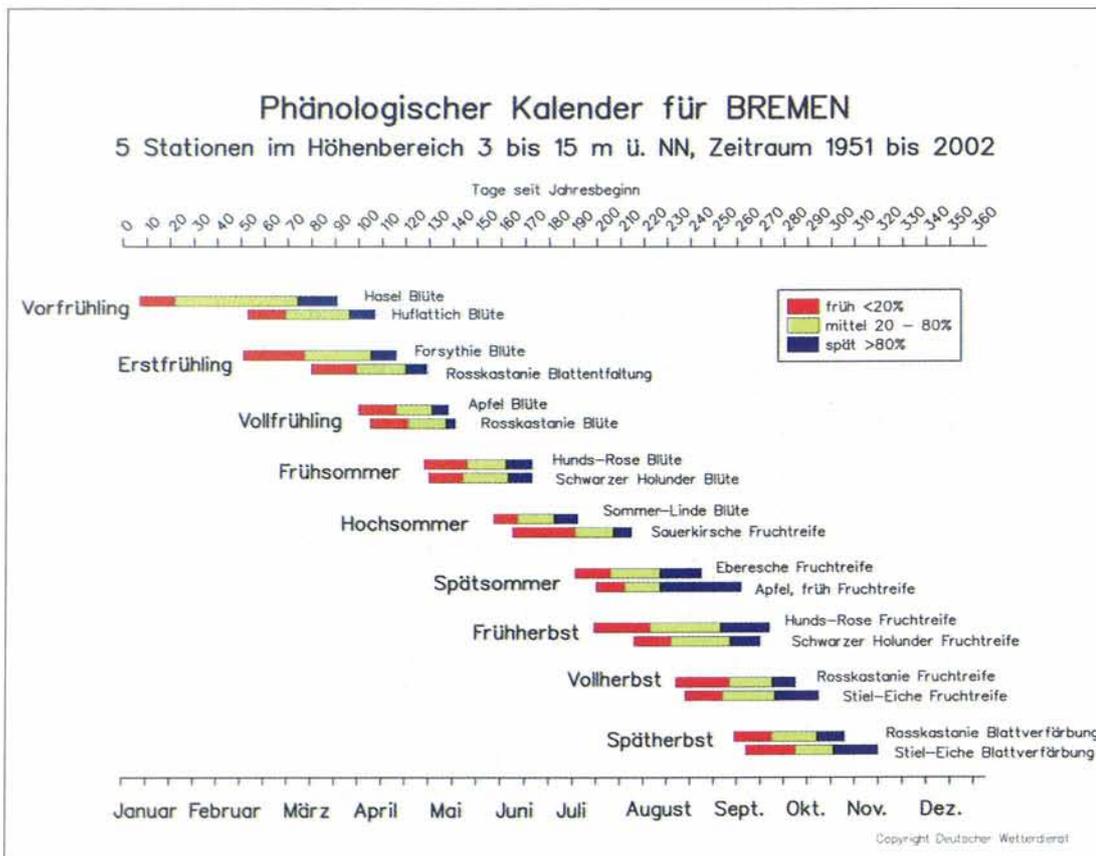


Abb. 11: Phänologischer Kalender für Bremen, Zeitraum 1951 bis 2002

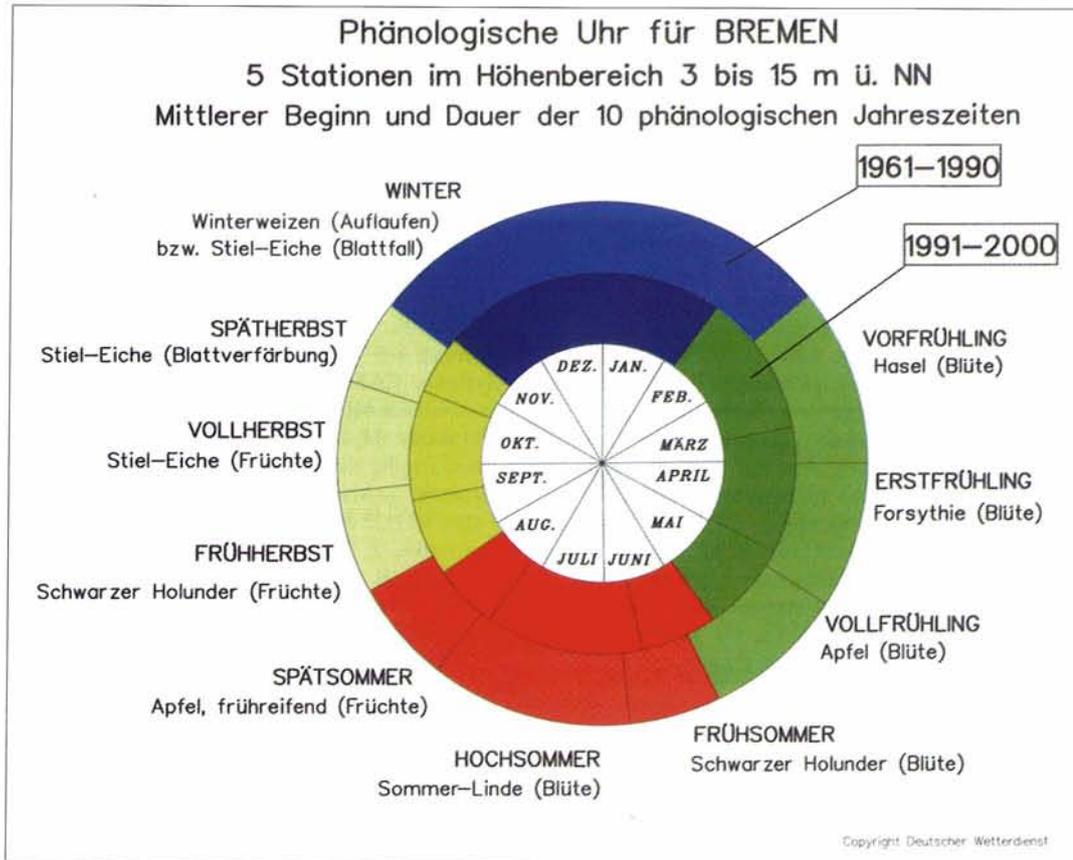


Abb. 12: Phänologische Uhr für Bremen, Zeitraum 1961 bis 1990 und 1991 bis 2000

davon aus, dass die Menschheit selbst mit ihren vielfältigen Aktivitäten als Hauptverursacher für diese Klimaänderungen anzusehen ist. In mehreren großen internationalen Klima und Umweltkonferenzen, zuletzt 2002 in Nairobi, wurde dieser Befund bestätigt (HOUGHTON & al. 2001) und dringlich Maßnahmen zur Gegensteuerung angemahnt.

Die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) geht inzwischen von einem globalen Temperaturanstieg von 0,6 Kelvin für das 20. Jahrhundert aus sowie von einer Zunahme der Niederschläge um fünf bis zehn Prozent auf der Nordhalbkugel. Der Meeresspiegel stieg in diesem Zeitraum um 10 bis 20 cm.

Für dieses Jahrhundert erwartet die Klimaforschung ein Fortschreiten der weltweiten Erwärmung und einen weiteren Anstieg des Meeresspiegels. Auch wenn es bei den Größenordnungen der erwarteten Änderungen noch weite Spannen gibt – Mitteltemperatur 1,4 bis 5,8 Kelvin; Wasserstand plus 9 bis plus 88 cm – ist das Gefahrenpotenzial erheblich und keinesfalls mehr vernachlässigbar.

Auf Grund der ansteigenden Temperaturen wird voraussichtlich auch der Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre zunehmen. Durch diese zusätzliche Energiequelle sind durchaus höhere Niederschläge denkbar. Einen Vorgeschmack auf derartige Entwicklungen hat das Jahr 2002 mit seinen Starkniederschlagsereignissen sowie den extremen Hochwasserwellen an Donau und Elbe wohl eindrucksvoll gegeben. Für unsere Region noch bedeutsamer waren die Sommerhochwasser in der Wümmeniederung 2001 und 2002.

Ein potentiell höherer Energieinhalt in der Atmosphäre kann zusätzlich auch das Sturmrisiko weltweit erhöhen!

Für Bremen, angesiedelt im Unterweserraum nur wenige Meter über dem Meeresspiegel, bestehen damit in den nächsten Jahren und Jahrzehnten ein ganzes Bündel zusätzlicher klimatischer Risiken, die eine fortlaufende Überwachung der klimatischen Gegebenheiten erforderlich machen. Zusätzlich sind Klima-Modellrechnungen mit allen möglichen Parametern unerlässlich.

7 SCHLUSSBEMERKUNG

Die vorstehende Untersuchung zum Klima von Bremen in den letzten Jahrzehnten hatte zum einen das Ziel, frühere Monografien fortzuschreiben und damit einen möglichst lückenlosen Überblick über die klimatischen Gegebenheiten in Bremen seit Beginn ständiger meteorologischer Messungen im frühen 19. Jahrhundert zu ermöglichen. Darüber hinaus war es wichtig, möglichst zeitnah Erkenntnisse über Änderungen des Bremer Klimas zu gewinnen und einer interessierten Öffentlichkeit näher zu bringen.

Es konnte dabei gezeigt werden, dass insbesondere bei den Temperaturen spätestens seit den achtziger Jahren ein eindeutiger Erwärmungstrend zu verzeichnen ist. Bei den Niederschlagsaktivitäten sowie bei der Sturmhäufigkeit sind die Entwicklungen noch nicht abschließend zu bewerten, das Risikopotential ist allerdings erheblich.

Da alle Anzeichen darauf hindeuten, dass menschliche Eingriffe in das Klimasystem inzwischen eine erhebliche Größenordnung erreicht haben, ist eine weitere ständige Überwachung der klimatischen Gegebenheiten in Bremen lebensnotwendig für die kommenden Generationen.

8 LITERATUR

- BÄTJER, D. & H.-J. HEINEMANN (1980): Eineinhalb Jahrhunderte meteorologischer Beobachtungen in Bremen. – Abhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins zu Bremen **39**(2): 185-261.
- BÄTJER, D. & H.-J. HEINEMANN (1983): Das Klima ausgewählter Orte der Bundesrepublik Deutschland. Bremen. – Berichte des Deutschen Wetterdienstes **164**. Offenbach am Main. 251 S.
- CHRISTOFFER, J. & M. ULBRICHT-EISSING (1989): Die bodennahen Windverhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland. 2. Aufl. – Berichte des Deutschen Wetterdienstes **147**. Offenbach am Main. 191 S.
- FLOHN, H. (1985): Das Problem der Klimaänderungen in Vergangenheit und Zukunft. – Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt. 228 S.
- FRICKE, W. & M. KRONIER (2002): Betrachtungen zum Klimawandel am Hohenpeißenberg. – In: DEUTSCHER WETTERDIENST (Hrsg.) (2002): Klimastatusbericht 2001: 250-257. DWD, Offenbach am Main
- GLASER, R. (2001): Klimageschichte Mitteleuropas. – Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt. 227 S.
- HEINEMANN, H.-J. (1986): Über die Sommer in Bremen. – Meteorologische Rundschau **39**: 139-143.
- HEINEMANN, H.-J. (1992): Sonnenscheinregistrierung am Wetteramt Bremen. Vergleich der Systeme CAMPBELL-STOKES und SONI. – Wetterlotse **44**(548): 253-264.
- HEINEMANN, H.-J. (1994): Homogenisierung der Säkularreihe der Jahresmitteltemperaturen von Bremen. – Meteorologische Zeitschrift, Neue Folge **3**(1): 35-38.
- HOUGHTON, J. T., Y. DING, D. J. GRIGGS, M. NOGUER, P. J. VAN DER LINDEN, X. DAI, K. MASKEL, C. A. JOHNSON (eds.) (2001): Climate Change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge & New York, Cambridge University Press. x, 881 S.
- KRAFT, D. & K. STEINECKE (1999): Klima und naturräumliche Situation in der Unterweserregion. – Bremer Beiträge zur Geographie und Raumplanung **35**: 17-42.
- SCHMIDT, H. (2002): Die Entwicklung der Sturmhäufigkeit in der Deutschen Bucht zwischen 1879 und 2000. – In: DEUTSCHER WETTERDIENST (Hrsg.) (2002): Klimastatusbericht 2001: 199-205. DWD, Offenbach am Main
- SCHÖNWIESE, C.-D. & B. DIEKMANN (1987): Der Treibhauseffekt – Der Mensch ändert das Klima. – Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart. 232 S.
- SCHÖNWIESE, C.-D. (1992): Klima im Wandel. – Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart. 223 S.
- WMO (World Meteorological Organization) (2003): Our future climate. – WMO-No. **952**, Geneva. 36 S.

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Met. Hans-Joachim Heinemann
Deutscher Wetterdienst
Niederlassung Hamburg
Bernhard-Nocht-Str. 76
D - 20359 Hamburg
E-mail: hans-joachim.heinemann@dwd.de

Eingereicht: 20.06.2003
Angenommen: 29.06.2003

Korrektur

Tabelle 6: Daten zum Niederschlag in Bremen

Niederschlagsangaben für Bremen (mm bzw. Liter/m²)

| | JAN | FEB | MRZ | APR | MAI | JUN | JUL | AUG | SEP | OKT | NOV | DEZ | JAHR |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Mittelwert 1971 bis 2000 | 55,2 | 35,7 | 51,2 | 40,8 | 54,1 | 73,4 | 65,1 | 61,2 | 60,2 | 55,4 | 57,7 | 61,8 | 671,9 |

Extreme ab 1890

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| MAXIMUM JAHR | 135,7 1976 | 114,5 1937 | 124,3 1914 | 121,4 1936 | 123,6 1967 | 150,7 1971 | 190,7 1993 | 167,7 1960 | 184,4 1968 | 172,7 1998 | 124,9 1951 | 137,0 1993 | 1062 2002 |
| MINIMUM JAHR | 2,9 1996 | 4,3 1890 | 5,4 1929 | 1,8 1893 | 13,8 1980 | 5,6 1936 | 18,4 1983 | 13,6 1983 | 1,3 1959 | 1,6 1908 | 5,7 1902 | 1,6 1890 | 410 1959 |
| max. 24stdg. Niederschlag DATUM | 41,2 4. Januar 1932 | 33,2 9. Februar 1966 | 30,7 24. März 1951 | 29,5 18. April 1936 | 45,4 23. Mai 1978 | 46,2 29. Juni 1997 | 58,0 3. Juli 1958 | 78,5 13. August 1964 | 68,1 1. September 1968 | 53,5 5. Oktober 2002 | 30,7 4. November 1940 | 36,7 4. Dezember 1960 | 78,5 13. August 1964 |

Zahl der Tage mit Niederschlag (Mittelwerte 1971 bis 2000)

| | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| ab 0,1 mm | 18,5 | 14,0 | 16,7 | 14,2 | 14,0 | 15,3 | 15,3 | 14,4 | 15,7 | 16,2 | 18,7 | 18,9 | 191,9 |
| ab 10,0 mm | 1,2 | 0,4 | 1,0 | 0,7 | 1,3 | 2,0 | 1,5 | 1,5 | 1,6 | 1,0 | 1,3 | 1,4 | 14,9 |
| Neuschnee ab 1 cm | 4,5 | 3,7 | 2,3 | 0,3 | . | . | . | . | . | . | 1,3 | 2,3 | 14,4 |
| Schneedecke ab 0 cm | 11,5 | 8,5 | 4,1 | 1,4 | . | . | . | . | . | . | 3,3 | 5,5 | 23,0 |