

Das Klima der Metropolregion auf Grundlage meteorologischer Messungen und Beobachtungen

2

Gudrun Rosenhagen und Michael Schatzmann
unter Beteiligung von Anne Schrön

2.1 Klimabeobachtungshistorie am Beispiel Hamburgs

2.1.1 Einleitung

Die World Meteorological Organization (WMO) hat die klimatologischen Normalperioden eingeführt und ordnet die Daten den Zeiträumen 1901–1930, 1931–1960 etc. zu. Diese Einteilung soll auch in dieser Beschreibung des meteorologischen Istzustandes und der Änderungen in den letzten 100 Jahren Verwendung finden.

Mit Klimaelement werden Mess- oder Beobachtungsgrößen wie z. B. Luftdruck, Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit und -richtung, Feuchte, Niederschlag, Bewölkung oder Sonnenscheindauer bezeichnet. Die Klimaelemente hängen sowohl von den Gegebenheiten des Ortes (geographische Breite, Topographie und Bebauung, Bodenart und Bewuchs etc.) als auch von den Gegebenheiten der Umgebung (Versiegelungs- oder Wasserflächen etc.) ab. Zudem sind sie typischerweise nicht unabhängig voneinander, sondern (mehr oder weniger stark) miteinander korreliert.

Für die Beurteilung der Klimaentwicklung hätte man gern lange Datenreihen, bei denen die Klimaelemente

- nach einem durchgängig gleichen Schema
- mit zuverlässig arbeitenden, kalibrierten Instrumenten und

- an gleichen Standorten, deren Umfeld unverändert geblieben ist

gemessen worden sind. Wie die nachfolgenden Ausführungen zeigen werden, gibt es zwischen dieser Wunschvorstellung und der Realität in früheren Klimaperioden eine nahezu unüberbrückbare Kluft. Zwar haben Wetter und Klima auch schon unsere Vorfahren fasziniert und immer wieder Personen dazu gebracht, Aufzeichnungen zu machen. Wie nachfolgend deutlich werden wird, decken diese Aufzeichnungen die wesentlichsten Klimaparameter (Temperatur, Niederschlag, Wind, Bewölkung, Sonnenscheindauer, Druck) jedoch typischerweise nur partiell ab, mit deutlicher Präferenz für einfach bestimmbare Größen wie z. B. die Temperatur. Gemessen wurde eher sporadisch als kontinuierlich, das heißt, die Zeitreihen sind in der Regel kurz und haben eher Stichprobencharakter.

Ältere Schriften berichten bevorzugt über extreme Wetterereignisse wie besonders kalte Winter. Wenn dann tatsächlich in dieser Zeit einzelne Klimaparameter gemessen wurden, ebte das Interesse oft schon im Frühjahr danach wieder ab und die Aufzeichnungen wurden beendet. Dass sich das Klima in erdgeschichtlich kurzen Zeitspannen verändern könnte und vom Menschen beeinflussbar sei, ist zwar keine Idee aus jüngster Zeit (siehe von Storch und Stehr 2000 und 2006), früheren Generationen war sie dennoch weitgehend fremd und der Wert von langen Klimazeitreihen somit noch nicht entdeckt.

Für belastbare Messungen, die heute als sicherer Nachweis für bereits erfolgten Klimawandel dienen könnten, fehlten zunächst fast alle Voraussetzungen. Die verwendeten Instrumente zur Messung der Kli-

Gudrun Rosenhagen (✉)
Seewetteramt des Deutschen Wetterdienstes Hamburg

mavariablen waren in der Regel unzureichend. Zwar gab es schon im 17. Jahrhundert relativ robuste Messverfahren, deren technische Umsetzung zum Galileo-Thermometer oder zum Quecksilber-Barometer führte. Es fehlte aber noch an standardisierten Maßsystemen, einheitlichen Normen für die Durchführung von Messungen etc. Es lässt sich meist nicht mehr rekonstruieren, ob Temperaturen in der Sonne oder im Schatten gemessen wurden, in welcher geodätischen Höhe sich das Druckmessgerät befand oder ob die Messungen stets am gleichen Ort durchgeführt worden sind. Wenn überhaupt Maßeinheiten angegeben sind, so führt die Übertragung der Messgrößen in SI-Einheiten oft zu Werten, die nicht plausibel erscheinen. So wurde beispielsweise die Höhe der Quecksilbersäule oft in Zoll oder Fuß angegeben, Längeneinheiten, die regional unterschiedlich definiert waren. Legt man die heute gängige Umrechnungsformel ($1 \text{ Zoll} = 1 \text{ Inch} = 25,4 \text{ mm}$) zugrunde, kann es passieren, dass sich bei eigentlich ruhigem Wetter mittlere Luftdrücke ergeben, die eher denen im Zentrum eines Sturmtiefs entsprechen. Und selbst wenn die alten, auf den Marktplätzen verwendeten Maßstäbe hier und dort noch auffindbar waren und vermessen werden konnten, heißt das noch lange nicht, dass man sich auf die Angaben wirklich verlassen kann. Messtechnische Historienwerke (wie z. B. Robinson 2007) legen beredt Zeugnis davon ab, wie lang und steinig der Weg zu Qualitätsmessungen tatsächlich war.

Dennoch ist es von Interesse, sich mit den von früheren Generationen hinterlassenen Beobachtungsdaten oder Berichten zu beschäftigen, auch wenn die darin enthaltenen Informationen kritisch betrachtet werden müssen und statt der erwünschten quantitativen oft nur qualitative Aussagen zulassen.

Am Meteorologischen Institut der Universität Hamburg wurde daher eine Bachelorarbeit durchgeführt, im Rahmen derer die Klimabeobachtungshistorie des Großraums Hamburg darzustellen war (Schrön 2008). Die Aufgabe bestand darin, klimarelevante Quellen aufzuspüren, zu sichten und auszuwerten. Es ging nicht um die Generierung neuen Wissens, sondern um eine Bestandsaufnahme des vorhandenen und dokumentierten Wissens. Um die zu erwartenden Unsicherheiten im Datenmaterial so gering wie möglich zu halten, sollte die Recherche primär auf Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Zeitschriften basieren, in der Hoffnung, dass diese „gegengelesen“ worden sind, also eine Art wissenschaftlichen Reviewprozess

überstanden haben. Mangels Masse musste diese Forderung jedoch schon frühzeitig aufgegeben und auch „graue“ Literatur akzeptiert werden.

Die nachfolgenden Ausführungen basieren größtenteils auf der Bachelorarbeit und fassen ihren Inhalt in groben Zügen zusammen, ohne auf die dort auch dargestellten klimageschichtlichen Details einzugehen. Betrachtet wird der Zeitraum bis etwa 1970. Ohne es hier näher zu belegen wird angenommen, dass danach durch den fortgeschrittenen Kenntnisstand und das technische Vermögen (Standardisierung und Digitalisierung der Mess- und Auswerteprozesse) zumindest das Potenzial für Qualitätsmessungen deutlich zugenommen hat. Ob dieses Potenzial tatsächlich ausgeschöpft wird, bleibt allerdings aus zwei Gründen fraglich. Zum einen wurden die Wetterbeobachter vielfach durch unbemannte, automatisch arbeitende Stationen ersetzt, die unter Außenbedingungen natürlich störanfällig sind. Zum anderen wurden die Messnetze des Wetterdienstes immer mehr ausgedünnt. Die Frage, für welche Gebietsgröße eine Station repräsentativ ist, stellt sich damit verschärft. Es ist also auch weiterhin erforderlich, die Qualität meteorologischer Daten kritisch zu hinterfragen.

2.1.2 Einige Ergebnisse der Literaturrecherche

Die Recherche zur Klimabeobachtungshistorie von Hamburg lieferte 35 Literaturstellen, die in Anhang A näher spezifiziert sind. Dort sind auch die Bibliotheken angegeben, in denen die Quellen jeweils gefunden worden sind.

2.1.2.1 Datengrundlage

In Tabelle 2.1 wird zunächst dargestellt, zu welchen Klimaelementen aus welchen Zeiten überhaupt Angaben vorliegen. Erfasst wurden nicht nur Messungen, sondern auch beschreibende Aussagen phänologischer Art wie z. B. der Beginn der Blüte einer bestimmten Pflanzenart. Die Angaben wurden zeitlich sortiert und den klimatologischen 30-Jahres-Perioden der WMO zugeordnet. Da sich vor allem die frühen Daten nur auf Einzelmessungen beziehen, wurde zusätzlich der Zeitraum spezifiziert, auf den sie entfallen. Wenn also

Tabelle 2.1 Historische Angaben zu den Klimaelementen Lufttemperatur (T_{Luft}), Erdoberflächentemperatur (T_{Eof}), Wassertemperatur ($T_{\text{H}_2\text{O}}$), Niederschlag (RR), Luftdruck (p), relative Feuchte (RH), Windrichtung (DD), Windgeschwindigkeit (FF), Bewölkungsgrad (N), Wasserstand der Elbe (Wh), Strahlungsverhältnisse (α), Spurengase (SG) und Phänologie (Phä)

Normal- periode	Beobachtungs- zeitraum	T			RR	p	RH	DD	FF	N	Wh	α	SG	Phä
		Luft	Eof	H ₂ O										
1691-1720	1707-1708	X								X				X
1721-1750	1269-1809	X												X
1751-1780														
1781-1810	1807-1826	X		X	X	X	X	X	X	X	X			
1811-1840	1819-1832	X												
	1832-1843	X		X	X	X	X	X	X	X	X			
1841-1870	1856-1886 1851-1870	X X			X	X	X	X	X	X	X			
1871-1900	1876-1899 1872-1899	X	X	X X	X	X	X	X	X	X	X			
1901-1930	1825-1928 1891-1930 1871-1900	X X X	X	X	X X X	X X X	X X X	X X X	X X X	X X X	X			
1931-1960	1938	X				X	X	X	X	X				
	1935-1949	X			X	X								
	1952-1954											X		
	1954	X			X	X		X	X					
	1946-1955				X									
	1881-1960	X			X	X	X	X	X	X				X
	1931-1960	X			X	X	X	X	X	X				
	1951-1960									X				
1961-1990	1963-1972				X									
	1978-1981	X												
	1982	X					X	X	X			X	X	
	1964-1989	X					X					X	X	
	1961-1990	X			X			X		X				
	1964-1990	X								X				X
	1976-1992				X			X	X				X	
1991-2020	1995-1996	X						X	X					
	1995-1998							X	X					
	1998-2000	X						X	X			X?		
	1961-2001	X			X	X	X	X	X	X				
	1951-2003				X									

in der Tabelle für den Zeitraum 1707–1708 Kreuzchen für Lufttemperatur, Bewölkungsgrad und Phänologie auftauchen, bedeutet das nicht, dass eine einigerma-

ßen lückenlose Temperatur-Zeit-Reihe für diese beiden Jahre vorläge. Es darf lediglich gefolgert werden, dass aus diesem Zeitraum zum genannten Klimaele-

ment überhaupt Angaben vorliegen, auch wenn es sich nur um eine einzelne Aussage (z. B. „kältester Tag des Winters mit xx Grad“) handelt, mit der klimatologisch nicht viel anzufangen ist. Die Vielzahl der Kreuzchen in der Tabelle soll somit nicht den Eindruck erwecken, dass die Datenlage befriedigend sei. Sie ist es keineswegs.

Bei älteren Angaben zum Klima Hamburgs handelt es sich fast durchweg um solche aus zweiter Hand. So gibt Pfaff (1809) einen Überblick über die Extremwinter des Mittelalters zurück bis zum Jahr 1269, er muss sich dabei jedoch auf phänologische Beschreibungen beschränken. Man erfährt, dass es diverse Winter mit kräftigem Frost und Schneefällen gab, gewinnt den Eindruck, dass es früher kälter als heute in Hamburg war, aber wie signifikant diese Aussage ist, lässt sich mit dieser Quelle nicht belegen. Die Aussage erscheint jedoch plausibel. Sie fügt sich in die auf Proxydaten aus Eisbohrkernen (Zusammensetzung des temperaturabhängigen Sauerstoff-Isotopenverhältnisses) basierende Klimageschichte Nordeuropas ein, nach der Mitte des 14. Jahrhunderts eine „Kleine Eiszeit“ begann, die ihren Höhepunkt zwischen 1550 und 1850 hatte (Schönwiese 2008).

Mit Bezug auf das augenscheinlichste Klimaelement, die Temperatur, fällt der erste längere Beobachtungszeitraum in die Zeit von 1807 bis 1826. Willerding führte Temperaturmessungen vermutlich am Fenster seiner Wohnung in der Nähe des heutigen Dammtorbahnhofs durch. Berichtet wird darüber in der Arbeit von Buek (1826). Beide waren Mediziner, sie suchten nach Korrelationen zwischen Kälteperioden und Atemwegserkrankungen. Zwischen 1819 und 1831 beobachteten die Optiker Harris und Campbell die tagsüber auftretenden Extreme von Temperatur und Feuchte am Neuen Wall in einer Höhe von ca. 5–6 m über der Alster. Zimmermann (1846) griff diese Messungen auf, setzte sie zwischen 1832 und 1843 fort und veröffentlichte sie schließlich, auch wiederum, um Korrelationen zu ausgewählten Krankheiten herzustellen.

Meteorologische Beobachtungen wurden an der Hamburger Sternwarte am Holstenwall schon bald nach ihrer Errichtung 1825 angestellt, anfangs nur im Anschluss an die astronomischen Beobachtungen, seit 1853 regelmäßig. Die Reihe endet mit der Verlegung der Sternwarte nach Bergedorf Ende 1910. Die veröffentlichten Beobachtungswerte aus den Jahren 1854–1857, 1866–1877 und 1880–1910 sind in der

Bibliothek des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie vorhanden.

Der Gymnasialprofessor Scharenberg (1872) führte von 1856 bis 1887 dreimal täglich am Fenster seines Wohnzimmers am Christianeum in Altona Temperaturmessungen durch, die u. a. in den Preußischen Meteorologischen Jahrbüchern veröffentlicht wurden. Mit Gründung der Norddeutschen Seewarte im Jahr 1867 und ihrer Überführung in die Deutsche Seewarte 1875 verbesserten sich die organisatorischen Voraussetzungen für Wetter- und Klimabeobachtungen. Seit 1867 gibt es kontinuierliche Wetteraufzeichnungen, die zunächst vor dem Fenster des Seemannshauses auf der Elbhöhe nördlich der Landungsbrücken durchgeführt worden sind. Seit 1876 gab es Parallelmessungen im Garten des Seemannshauses und ab 1879 in einer freistehenden Thermometerhütte auf dem Wasserreservoir auf dem Stintfang. Ab 01.08.1881, nach der Übersiedlung der Seewarte in das neue Gebäude auf dem Stintfang, diente eine mit doppeltem Zinkmantel umgebene Fensterhütte an der Nordseite des Gebäudes als Normalstation. Ab 01.07.1923 erfolgten sämtliche Referenzmessungen in einer freistehenden englischen Hütte. Die Klimabeobachtungen wurden an der Seewarte bis 1874 um 06, 14 und 22 Uhr, danach um 08, 14 und 20 Uhr ausgeführt. Sie sind veröffentlicht im Handbuch der Deutschen Seewarte. Mit dem 01.08.1934 verlegte die Seewarte ihre Normalstation zum Flugplatz Hamburg–Fuhlsbüttel. Die Instrumente waren hier in einer englischen Hütte aufgestellt, die mehrfach ihren Standort auf dem Platz änderte. Die Klimabeobachtungen erfolgten bis 1946 um 08, 14 und 21 Uhr. Von den Standorten der Messfelder der Seewarte sowie der Instrumentierung sind ausführliche Beschreibungen vorhanden. Unter Berücksichtigung dieser Angaben wurden homogenisierte Zeitreihen der Monatswerte der Temperatur und des Niederschlags beim Deutschen Wetterdienst in Offenbach für den Standort Hamburg–Fuhlsbüttel erstellt, die von heute bis 1881 für die Temperatur und bis 1891 für den Niederschlag zurückreichen. Hierbei handelt es sich um nach Plausibilität und bestem Wissen korrigierte Datenreihen. Weder lassen sich bei der Korrektur in den ursprünglichen Messwerten enthaltene Ungenauigkeiten und Fehler nachträglich eliminieren, noch sind solche Homogenisierungsverfahren frei von Annahmen und subjektiven Bewertungen desjenigen, der sie durchführt. In Abschn. 2.2.5 über die beobachteten Klimaänderungen werden Ergebnisse dieser Reihe vorgestellt.

Im 20. Jahrhundert erweiterte sich das Stationsnetz im Stadtgebiet von Hamburg zunehmend. Besonders lange Beobachtungsreihen entstanden in Altona, Bergedorf und Harburg sowie am alten Botanischen Garten, in Kirchwerder und auf St. Pauli. In Ergänzung zur Lufttemperatur und zum Niederschlag wurden zunehmend auch andere Parameter (Luftfeuchte, Luftdruck, Bewölkung, Wind, besondere Wettererscheinungen, etc.) registriert.

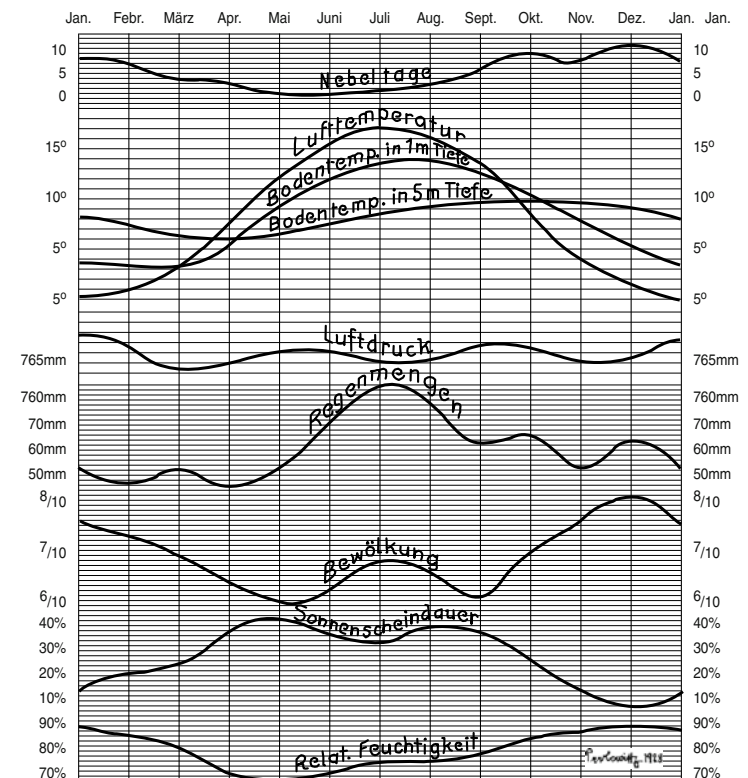
2.1.2.2 Klimabeschreibungen

Perlewitz (1928) veröffentlichte den ersten Bericht über längere Klimabeobachtungen in Hamburg und unter Betrachtung mehrerer Klimaelemente. Er erwähnte zudem, dass sich aus den Beobachtungen der letzten 150 Jahre kein Klimatrend erkennen lasse. Das deutet darauf hin, dass ihm auch Daten von vor 1800 bei seinen Untersuchungen vorgelegen haben müssen. Abbildung 2.1 liefert eine zusammenfassende Darstellung der einzelnen von Perlewitz gemessenen Klimavariablen.

Bei der Auswertung hat Perlewitz Mittelwerte über verschieden lange Zeiträume gebildet, die jedoch alle in den Messzeitraum von 1856 bis 1927 fallen. Die Messwerte muss er unter anderem der Messstation in Altona entnommen haben, die zwischen 1856 und 1867 die einzige Station mit regelmäßigen meteorologischen Beobachtungen darstellte. Welche Stationen Perlewitz für die Kurven in Abb. 2.1 herangezogen hat, geht aus den Unterlagen nicht eindeutig hervor. Es wird lediglich von Hamburg und gelegentlich von einzelnen Stadtteilen wie zum Beispiel Bergedorf gesprochen.

Die Niederschlagsmenge und Niederschlagsart wurden seit 1867 aufgezeichnet. Perlewitz ermittelte, dass es in Hamburg im von ihm betrachteten Zeitraum durchschnittlich an 36 Tagen im Jahr geschneit habe, an 14 Tagen gab es Graupel und an 21 Tagen Gewitter. Diese Angaben sind aber relativ vage, da sie sehr stark von der subjektiven Einschätzung des Beobachters abhängen. Dieses Problem schlägt sich auch in der Beobachtung der Bewölkung nieder, welche ab 1868 regelmäßig durchgeführt wurde. Die mittlere Tagesbewölkung von mehr als 8/10 tritt danach doppelt

Abb. 2.1 Das Klimadiagramm von Hamburg erstellt von Perlewitz (1928) zeigt den Jahresverlauf der Nebeltage, der Lufttemperatur, der Bodentemperatur in 1 m und 5 m Tiefe, des Luftdrucks, der Regenmenge, der Bewölkung, der Sonnenscheindauer und der Relativen Feuchtigkeit. Eine genaue Zeitraumangabe der Messungen wurde in der Quelle nicht gemacht



so häufig auf wie eine mittlere Tagesbewölkung unter 2/10. Die Aufzeichnung der Sonnenscheindauer wurde im Jahr 1891 begonnen.

Beim Wind ist zu beachten, dass er zu Beginn der Messungen noch in größeren Höhen (z. B. über Dachfirsten) registriert wurde. Verwendet wurden meist Wetterhähne, die sich im Wind ausrichteten. Die Windstärke wurde abgeschätzt, mit Instrumenten gemessene Geschwindigkeiten wurden erst viel später Standard. Für die einzelnen Stationen ergeben sich sehr unterschiedliche Windmesswerte, da die Messhöhe, aber auch die Form des Gebäudes Einfluss auf das Windfeld nehmen. Eine Abschätzung der Fehler kann somit nicht vorgenommen werden. Dennoch sind Perlewitz' Aussagen, dass Nordwinde am seltensten auftreten oder die vorherrschende Windrichtung West/Südwest war, vermutlich korrekt. Die von Perlewitz erstellte Jahreszeitenstatistik für den Wind ist Abb. 2.2 zu entnehmen. Die Westwinde brachten den meisten Niederschlag und die Nord-Ostwinde im Winter Schnee.

Der sich zeitlich anschließende Beobachtungszeitraum wird durch mehrere Veröffentlichungen von Reidat (1953, 1971) abgedeckt. Auch er versuchte zunächst, längere Klimazeitreihen zu generieren, beschränkte sich in Anbetracht der Datenlage dann aber auf den Zeitraum von 1931 bis 1960. Im Vordergrund seines Interesses standen die Klimaelemente Temperatur und Niederschlag. Insgesamt verwertete er die Daten von 17 Temperatur- und 37 Regenmessstationen auf Hamburger Gebiet und von weiteren Stationen aus dem Umland. Schon kriegsbedingt konnten die meis-

ten der Stationen keine kontinuierlichen Messreihen liefern. Die dennoch beachtliche Datenmenge erlaubte es allerdings schon, Studien zur Beeinflussung von Temperatur und Niederschlag durch einen städtischen Ballungsraum am Beispiel Hamburgs durchzuführen. Wie in Abschn. 2.3 gezeigt wird, lässt sich der Wärmeinseleffekt sowohl mit typischerweise erhöhten Jahresmitteltemperaturen im Innenstadtbereich als auch erhöhtem Niederschlag in Lee der Stadt zeigen.

Auch wenn die verwendeten Messverfahren in diesem Zeitraum bereits etabliert waren und mit eindeutig definierten Maßeinheiten gearbeitet wurde, sind die manuellen Analysen und die aus ihnen abgeleiteten Schlussfolgerungen natürlich nicht frei von subjektiven Einschätzungen. Der verwendete Bezugszeitraum 1931 bis 1960 enthält die Kriegsjahre mit ihren Wirren, was sich zwangsläufig auch auf die Datenlage auswirkte. Viele der Messstationen wurden aus diversen Gründen mehrfach verlegt und die Reihen enthalten zum Teil längere Ausfälle.

Die Güte der Messwerte aus diesem Zeitraum ist folglich qualitativ und quantitativ begrenzt. Wie der in Tab. 2.2 gezeigten Zusammenstellung der beim Deutschen Wetterdienst in digitalisierter Form vorliegenden Reihen mit täglichen Beobachtungswerten zu entnehmen ist, blieb nicht einmal die wichtigste Hamburger Messstation am Flughafen Fuhlsbüttel von Änderungen ihres Standortes verschont. Doch selbst für Stationen, die über lange Zeiträume am gleichen Ort betrieben wurden, ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass mit dem Wachstum der Stadt einhergehende Bodennut-

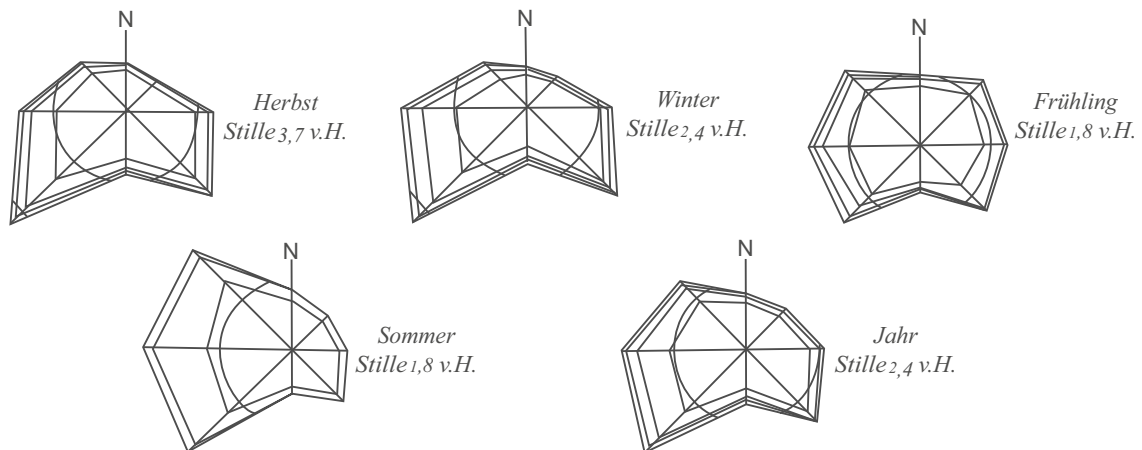


Abb. 2.2 Von Perlewitz (1928) erstellte Windrosen für die einzelnen Jahreszeiten und das gesamte Jahr im Überblick. Der genaue Messzeitraum ist unbekannt

Tabelle 2.2 Übersicht der Messstationen in Hamburg, sowie die Beobachtungszeiträume und Position, deren Daten digital beim Deutschen Wetterdienst verfügbar sind. Stand Sommer 2008 (Rosenhagen 2008, pers. Mitteilung)

	Beginn	Ende	Breite	Länge	Höhe
Hamburg (Stadtpark)	01.05.1951	31.12.2005	53°35'29"N	10°01'52"O	8
Hamburg - Altona	01.11.1991	31.12.1999	53°34'43"N	09°54'15"O	44
Hamburg - Bergedorf	01.01.1910	30.09.1962	53°28'51"N	10°14'34"O	35
Hamburg - Botanischer Garten	01.10.1946	31.07.1949	53°33'41"N	09°59'19"O	14
	01.08.1949	31.07.1955	53°33'41"N	09°59'19"O	14
Hamburg - Ellerholzkanal	01.01.1951	30.11.1976	53°31'N	09°58'O	7
Hamburg - Fuhsbüttel	01.11.1946	10.07.1968	53°38'23"N	10°00'02"O	13
	11.07.1968	04.09.1995	53°33'22"N	09°59'47"O	13
	05.09.1995		53°33'06"N	09°59'24"O	11
Hamburg - Hahnöfersand	01.01.1951	30.09.1976	53°33'N	09°43'O	3
Hamburg - Harburg	01.01.1901	31.12.1978	53°25'N	09°59'O	32
Hamburg - Kaltehofe	01.01.1951	30.06.1972	53°30'N	09°59'O	2
Hamburg - Kirchwerder	01.07.1937	30.11.1976	53°26'22"N	10°11'53"O	3
	01.05.1988	31.12.2006	53°25'22"N	10°08'51"O	2
Hamburg - Langenhorn	01.01.1951	01.05.1964	53°40'N	10°02'O	35
Hamburg - Lotsenhöft	01.08.2001		53°34'06"N	09°58'04"O	19
Hamburg - Neugraben	01.01.1951	31.07.1975	53°28'N	09°52'O	11
Hamburg - Neuwiedenthal	01.05.1962		53°28'46"N	09°53'55"O	3
Hamburg - Ohlsdorf	01.01.1951	31.12.1997	53°38'N	10°03'O	25
Hamburg - Poppenbüttel	01.01.1951	31.12.1993	53°40'N	10°05'O	30
Hamburg - Rahlstedt	01.01.1951	31.12.1971	53°36'N	10°10'O	30
Hamburg - Reitbrock	01.06.1978	30.04.1988	53°28'17"N	10°10'54"O	1
Hamburg - St. Pauli	01.10.1946	31.07.1955	53°32'59"N	09°58'14"O	22
	01.08.1955	18.12.1972	53°32'59"N	09°58'14"O	22
	19.12.1972	29.02.2000	53°33'00"N	09°58'10"O	22
	01.04.2000	02.04.2000	53°33'00"N	09°58'10"O	22
Hamburg - Volksdorf	01.09.1983	30.06.2001	53°39'N	10°11'O	48
Hamburg - Wandsbek	01.08.1951	16.09.1985	53°35'13"N	10°04'49"O	21
	17.09.1985	31.12.2006	53°35'13"N	10°07'50"O	18
Hamburg - Wohldorf	01.01.1971	22.02.1983	53°43'N	10°09'O	25

zungsänderungen zumindest die Klimavariablen beeinflusst haben, deren Wert von den lokalen Umgebungsbedingungen mitbestimmt wird. Da die Bodenutzungsänderungen typischerweise in Richtung zunehmender Bebauung und Flächenversiegelung gehen, muss angenommen werden, dass die Zeitreihen von beispielsweise der Temperatur schon allein deshalb

einen Trend aufweisen, der allerdings für jede einzelne Station unterschiedlich groß ist und nicht sicher quantifiziert werden kann. Schließlich wird deutlich, dass in den letzten Jahren viele Stationen geschlossen wurden, so dass die verfügbare Basis an Beobachtungsdaten für lokale Klimauntersuchungen kaum noch ausreichend ist. Von den Niederschlags-

messungen ist bekannt, dass ihr Ergebnis empfindlich vom jeweils verwendeten Messgerät abhängig ist. Die „World Meteorological Organization“ hat zwischen 1955 und 2008 mehrere Vergleichsexperimente durchgeführt und festgestellt, dass die früher üblichen „ungeschützten“ Messtöpfe bei Schnee bis zu 80 % und bei Niederschlag allgemein („mixed precipitation“) bis zu 50 % zu wenig gemessen haben. Hauptursache sind windinduzierte Verluste, die aus der Umströmung der Messeinrichtung selbst, aber auch aus der Art des Windfeldes in der Umgebung der Station resultieren (Sevruk et al. 2009). Korrekturen sind nur dann möglich, wenn genaue Angaben über das verwendete Gerät, die Umgebung des Messorts und die jeweiligen Windgeschwindigkeiten vorliegen. Je älter die Messungen, desto seltener ist das allerdings der Fall. So muss man schließen, dass die älteren Daten zumindest für das Klimaelement Niederschlag von zweifelhafter Qualität sind.

Als nächster Meilenstein der Hamburger Klimabeobachtungshistorie sei der DWD-Bericht von Cappel und Kalb (1976) zitiert. Die beiden Autoren beziehen sich ebenfalls auf den von Reidat abgedeckten Zeitraum, weiten ihn aber bis 1970 aus. Im Fokus ihrer Betrachtungen stand wiederum Hamburg–Fuhlsbüttel. Für diese Station wurde für die Bezugsperioden 1931 bis 1960 und 1951 bis 1970 das verfügbare Datenmaterial erfasst. Die üblichen meteorologischen Parameter wurden im Jahres- und Tagesgang umfangreich statistisch ausgewertet. Dabei sind verschiedene Mittelungsprozeduren auf einzelne Klimavariablen angewendet worden, um zu prüfen, welchen Einfluss sie auf das Resultat haben. Sofern möglich wurden Extremwerte, Häufigkeitsverteilungen, Andauern oder Streubreiten bestimmt. Der Bericht entspricht in Bezug auf die Auswertung der Daten bereits modernen Standards. Dies sollte jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass die einzelnen Datenpunkte selbst aus den zuvor schon diskutierten Gründen mit Unsicherheiten behaftet sind, die nachträglich kaum noch quantifiziert werden können. In Bezug auf Windrichtung und -stärke wird beispielsweise angemerkt, dass diese Größen oft nur „auf Augenbeobachtungen“ basieren. Es bleibt leider offen, ob das auch noch auf die Anfangsphase des Berichtszeitraums zutrifft, und wenn ja, wann der Übergang zu Instrumenten (Schalenkreuzanemometer und Windfahne) erfolgte, ob die Anemometer hysteresefrei gearbeitet haben, wie sie geeicht wurden etc.

Beim Niederschlag sind die Angaben zum Instrument etwas präziser, es wird der Hellmannsche Regenschirm benannt, nur hat sich gerade dieser im späteren WMO-Vergleich als besonders anfällig für windinduzierte Fehler herausgestellt. Riecke und Rosenhagen (2010) veröffentlichten eine überarbeitete Version der Arbeit von Cappel und Kalb, erstellten entsprechende Statistiken für den Bezugszeitraum 1971 bis 2000 und verglichen in Text und Tabellen die Klimadaten von Hamburg–Fuhlsbüttel mit denen weiterer Stationen der Metropolregion Hamburg.

2.1.3 Fazit

Wie dargestellt wurde, sind die historischen Klimadaten aus dem Großraum Hamburg von zweifelhafter Qualität. Die Daten müssten mit Fehlerbalken versehen werden, die von Klimaelement zu Klimaelement unterschiedlich groß und mit zunehmendem Alter tendenziell anwachsend zu wählen wären. In jedem Einzelfall wären sie zumindest bis in die siebziger Jahre des letzten Jahrhunderts wahrscheinlich größer als das in ihnen möglicherweise enthaltene Klimatrendsignal.

Wie ebenfalls ausgeführt wurde, reichen die vorliegenden Informationen zu einer quantitativen Fehlerabschätzung leider nicht aus. Es hat ehrenwerte Bemühungen gegeben, die historischen Datenreihen zu „homogenisieren“. Dabei wurde abgeschätzt oder mit Modellen simuliert, welche Veränderung eine Klimavariablen beispielsweise durch Verlegung des Messorts erfahren haben könnte, und die Messreihe wurde entsprechend korrigiert. Dass solche Korrekturen nicht frei von subjektiven Entscheidungen sein können, liegt auf der Hand.

Auch wenn die historischen Klimadaten Hamburgs somit als von unbekannter Qualität einzustufen sind, sind sie deshalb noch lange nicht wertlos. Es macht trotzdem Sinn, sich mit ihnen zu beschäftigen und sie zu analysieren. Die Interpretation der Ergebnisse sollte jedoch mit der gebotenen Vorsicht geschehen. Befunde können möglicherweise noch als Indizien herhalten, Beweise sind sie sicherlich nicht.

In den letzten 30 oder 40 Jahren ist eine deutliche Änderung der Situation eingetreten. Zum einen hat die Digitalisierung der Welt zu einer drastischen Verbesserung der messtechnischen Möglichkeiten geführt. Gänzlich neue Messverfahren mit empfindlichen Sen-

Anhang A zu Kapitel 2.1.2					
Erschienen	Titel	Autor	Testtyp	Bibliothek	Signature
1809	Über die früheren strengen Winter und über die Winter des 18. Jahrhunderts bis zum Winter 1776	C.H. Pfaff	allge. Veröffentlichtg.	Stabi	A / 30236
1826	HH's Klima & Witterg. - Ein Beitrag z. mediz. Topografie v. HH	H.W. Buek	allge. Veröffentlichtg.	Stabi	A / 276290
1846	HH's Klima, Witterung u. Krankheitskonstitution	K.G. Zimmermann	allge. Veröffentlichtg.	Stabi	A 1950 / 1377
1872	Die Temperaturverhältnisse v. Altona im Zeitraum 1856 – 1886	J.H. Scharenberg	allge. Veröffentlichtg.	Stabi	A 1946 / 453
1901	Das Klima von Hamburg in den Jahren 1876 – 1899	R. Kummer	Seewarte	Stabi	A / 337793
1928	Das Klima von	HH P. Perlewitz	allge. Veröffentlichtg.	ZMAW	KLI-REG Per
1938	Registrierballonaufstiege	Reichsamt für Wetterdienst	DWD-Bericht	Offenb	IA 15
1953	Klimaten für Bauwesen und Technik, Nr. 2 Hamburg	R. Reidat	DWD-Bericht	BSH	ID9
1954	Klimabeobachtungen in HH v. 1935 - 1949 nach dem Schema d. Réseau Mondial	J. Huttary	DWD-Bericht	ZMAW	Z Ber 170
1956	Strahlungsempfang vertikaler, ebener Flächen; Globalstrahlg. V. HH	K. Gräfe	DWD-Bericht	ZMAW	Z Ber 170
1956	Untersuchungen über d. Bodenunruhe in HH	J. Hollinderbäumer	Diplomarbeit	ZMAW	Dipl.-Arb MI G 2
1964	Untersuchg. d. ältesten Temperaturmessungen mit Hilfe d. strengen Winters 1708 – 1709	W. Lenke	DWD-Bericht	ZMAW	Z Ber 170
1967	Klimaatlas von Schleswig Holstein, Hamburg und Bremen	DWD	DWD-Bericht	ZMAW	ATL-KLI Deu Schle
1969	Abschlussber. ü. d. meteorolog. Beobachtg.en im Gelände d. geplanten Flughafens HH-Kaltenkirchen	R. Faust	DWD-Bericht	BSH	A 1 / 3708
1971	Temperatur, Niederschlag, Staub	R. Reidat	allge. Veröffentlichtg.	Offenb	73 180
1971	Über den Einfluss der Stadt auf die Niederschlagsverteilung bei starken Regenfällen in Hamburg	R. Reidat	allge. Veröffentlichtg.	Offenb	II ZS
1973	Über d. Tagesstiefstemp. im Raum HH u. d. z. ihrer Eintrittszeit herrsch. met. Bedingg. in ihren Beziehg. zuein.	E. Franken	DWD-Bericht	ZMAW	Z Ein 10
1975	Die Niederschlagsverteilung im Einflussbereich von Hamburg bei unterschiedlichen Großwetterlagen	H. Friesland	Diplomarbeit	Offenb	IP 21
					Im Internet kann man noch die Daten einiger Stationen einsehen
					Meteorologische Jahrbücher des DWDs → insgesamt 34 Quellen
					weitere Quellen

Anhang A zu Kapitel 2.1.2						
Erschienen	Titel	Autor	Testtyp	Bibliothek	Signature	
1975	Der tägliche Gang der Bewölkung im Gebiet der nordfriesischen Inseln und der Stadt Hamburg	W. Leistner	allg. Veröffentlichg.	Offenb	II ZS	
1976	Das Klima v. HH	Cappel, A	DWD-Bericht	ZMAW	Z Ber 170.	
1981	Entwicklg. einer objektiven Temperaturvorhersage f. HH-Fuhrsbütel aus Daten eines numer. Modells	K. Flechshar	Diplomarbeit	ZMAW	Dipl.-Arb MI 99	
1984	Untersuchg. einer winterlichen Smogsituation mit Hilfe eines modifiz. Gaußmodells	U. Krell	Diplomarbeit	ZMAW	Dipl.-Arb MI 133	
1991	Sonnenstrahlg. in HH: Angebot u. Trend G.	C. Grabbe	Diplomarbeit	ZMAW	Dipl.-Arb MI 197	
1994	Die Luftchem. Messreihen d. MOH	U. Kaminski, P. Winkler	DWD - Bericht	BSH	Y 782/192/1994	
1995	Klima-Ist-Zustand zur Anpassung der Fahrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt	DWD	DWD - Bericht	Seew	amtl. Guthaben	
1996	Häufigkeit u. Vertikalstruktur niedriger Inversionen über HH im Zeitraum März 1995 bis Mai 1996	B. Rohbrecht	Diplomarbeit	ZMAW	Dipl.-Arb. MI 234	
1996	Variabilität d. Schneeglöckchenblühbeginns in Abhängk. v. d. lokalen u. großräum. Temp.schwankg.	K. Maak	Diplomarbeit	ZMAW	Dipl.-Arb. MI 256	
1998	Eine Windstatistik f. d. unteren 250 m d. planetar. Grenzschicht über HH u. Fallstudien extr. Windereignisse	I. Oldeland	Diplomarbeit	ZMAW	Dipl.-Arb. MI 288	
1999	Klimauntersuchung für die Freie und Hansestadt Hamburg	DWD	DWD - Bericht	Seew	amtl. Guthaben	
2001	Eine Grenzschichtklimatologie f. HH aus Daten d. meteorolog. Messanlage am NDR-Sendemast in Billwerder	I. Lange	Diplomarbeit	ZMAW	Dipl.-Arb. MI 315	
2002	Turbulenzmessg. m. Ultrasch.-Anemom.-Thermom. in 50 u. 250 m Höhe am NDR-Sendemast in HH-Billwerder	F. Boekel	Diplomarbeit	ZMAW	Dipl.-Arb. MI 326	
2004	Ein Beitrag zum Klima des Elbe-Weser-Raumes	H.-J. Heinemann	DWD-Bericht	Offenb	Klimatologie Dtl.	
2007	Großwetterlagen und precipitation trends in the Elbe river catchment	Werner, Gerstengarbe, Wechsung	allg. Veröffentlichg.	Offenb	Zs	
2009	Long-term changes and regional differences in temperature and precipitation in the metropolitan area of Hamburg	K. H. Schlünzen, P. Hoffmann, G. Rosenhagen, W. Flecke	allg. Veröffentlichg.	Stabi	Y / 8311	International Journal of Climatology, auch online einsehbar DOI:10.1002/joc.1968
2009	Modifikation von Starkniederschlägen durch urbane Gebiete	P. Hoffmann	Diplomarbeit	ZMAW	Dipl.-Arb. MI 387	

soren wurden entwickelt. An die Stelle von Augenablesungen oder von analogen Messschrieben sind automatische Datenverarbeitungsketten getreten, die sich standardisieren lassen. Die Möglichkeiten, Instrumente fortlaufend zu kalibrieren, haben sich vervielfältigt. Da parallel dazu die nach wie vor erforderliche Kontrolle der Messungen durch erfahrene Beobachter zurückgefahren und das Messnetz ausgedünnt wurde, bestehen allerdings Zweifel, ob die neuen Möglichkeiten tatsächlich zu der wünschenswerten Verbesserung der Datenqualität führen werden.

2.2 Das Klima der Metropolregion

2.2.1 Einleitung

Die zur Beschreibung des Klimas einer Region notwendige Datenbasis sollte idealerweise einen Zeitraum von mindestens 30 aufeinanderfolgenden Jahren umfassen. Nur dann kann die normale Variabilität der Klimatelemente ausreichend erfasst werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich das Klima während dieses Zeitraums nicht wesentlich ändert. Die Beschreibung des aktuellen Klimazustandes der Metropolregion wird nachfolgend auf Grundlage von Datenreihen des Zeitraums 1971 bis 2000 bzw. 1961 bis 1990 vorgenommen.

Zum Nachweis möglicher Klimaänderungen sind deutlich längere Datenreihen notwendig. Klimaänderungen werden häufig durch Langzeittrends beschrieben. Die Bestimmung von Langzeittrends auf der Grundlage von Beobachtungen ist, wie bereits in Abschn. 2.1 ausgeführt, jedoch nicht unproblematisch. Insbesondere aus städtischen Gebieten existieren kaum lange Beobachtungsreihen, die ausreichend homogen, d.h. durch äußere Faktoren wie Bebauung und Flächenversiegelung unbeeinflusst sind. Für die Metropolregion Hamburg liegt für entsprechende Untersuchungen nur von sehr wenigen Stationen ausreichendes Datenmaterial vor. Trotzdem können, entgegen allen kritischen Vorbehalten, die in Abschn. 2.1 zum Ausdruck kommen, für bestimmte meteorologische Größen am Beispiel der Station Hamburg-Fuhlsbüttel zumindest belastbare qualitative Aussagen zu deren Änderungen über die letzten ca. 100 Jahre gemacht werden. Dabei war zu berücksichti-

gen, ob bestimmte signifikante Entwicklungen auch flächendeckend verlaufen und zeitlich stabil sind.

Um den erst in letzter Zeit gestiegenen Anforderungen an Klimadaten gerecht zu werden, hat der DWD ein kleines Netz von „Referenzstationen“ eingerichtet, zu denen auch Fuhlsbüttel zählt. Hier sollen über die nächsten Jahrzehnte mit gleichbleibender Methodik, unabhängig von den jeweiligen technischen Neuerungen, und unter erhöhtem personellen Einsatz Klimadaten von besonderer Qualität gewonnen werden.

2.2.2 Klimawirksame Faktoren

Das Klima der Metropolregion, die sich von den Küsten der südöstlichen Nordsee über die norddeutsche Tiefebene südostwärts erstreckt, ist wesentlich durch die Nähe von Nord- und Ostsee geprägt. Entsprechend dominieren maritime Wettereinflüsse, doch können sich bei südöstlichen Windrichtungen auch kontinentale Luftmassen durchsetzen. Mit zunehmender Entfernung von der Nordseeküste in südöstlicher Richtung verstärken sich innerhalb der Region die kontinentalen Züge des Klimas (siehe Abb. 2.3).

Größere Erhebungen sind im Untersuchungsgebiet nicht vorhanden. Lediglich im Bereich der Harburger Berge und in der Göhrde werden Höhen von mehr als 100 m über Meeresspiegel erreicht. Da keine andere umfassende aktuelle Veröffentlichung zum Klima der Metropolregion vorliegt, beziehen sich die Aussagen in Abschn. 2.2, wenn nicht anders angegeben, auf die Veröffentlichung von Riecke und Rosenhagen (2010): Das Klima von Hamburg. Dabei handelt es sich um eine aktualisierte und erweiterte Neuauflage des Berichtes gleichen Namens des Deutschen Wetterdienstes von 1976 (Cappel und Kalb 1976).

2.2.3 Atmosphärische Zirkulation

Die Metropolregion Hamburg befindet sich innerhalb der Westwinddrift zwischen dem subtropischen Hochdruckgürtel und der subpolaren Tiefdruckrinne. In diesem Grenzbereich zwischen Kaltluft aus polaren Breiten und Warmluft aus den Subtropen bilden sich die außertropischen Tiefdruckgebiete, die mit der vorherrschend zonalen, von West nach Ost gerichteten Strö-

KLIMAATLAS BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (NORD)

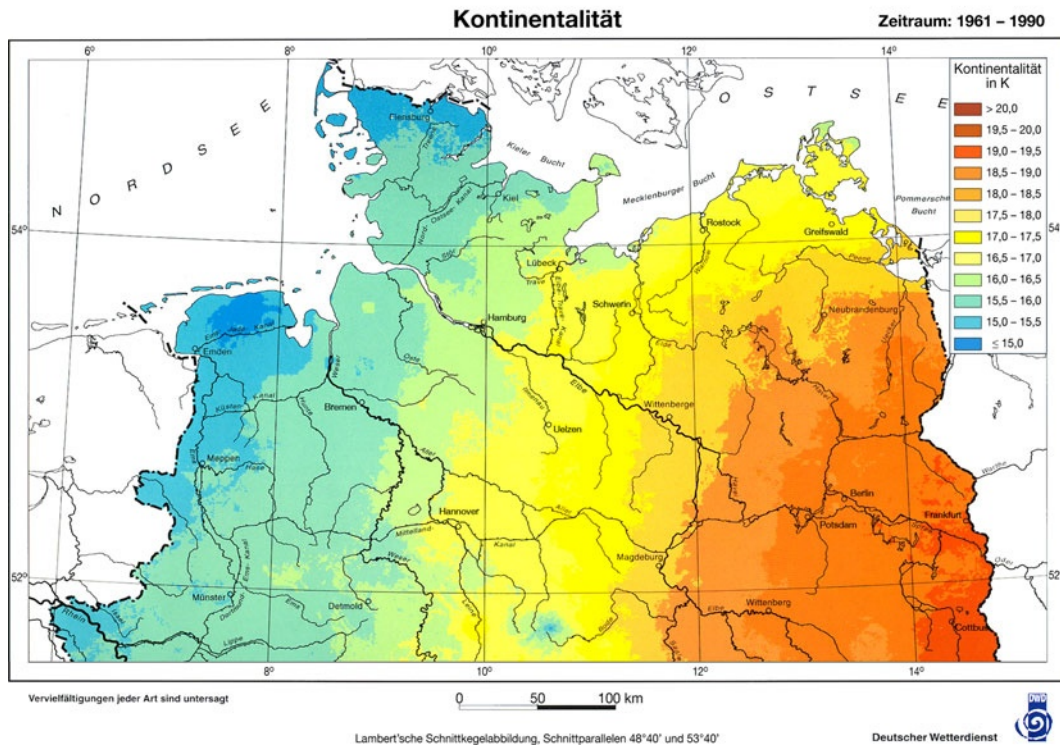


Abb. 2.3 Karte der Kontinentalität als mittlere Jahresschwankung der Temperatur, Bezugszeitraum 1961–1990 (Müller-Westermeier et al. 2001)

mung ostwärts ziehen und das Wetter unbeständig gestalten. Maßgeblich wird das Klima der Region von vier großräumigen Druckgebilden bestimmt: dem Islandtief, dem Azorenhoch, sowie dem winterlichen sibirischen Hoch und dem sommerlichen zentralasiatischen Tief. Lage und Stärke der Druckgebilde und ihr Einfluss auf die Metropolregion variieren im synoptischen Zeitskalenbereich, d. h. im Bereich von Tagen bis zu einigen Wochen. Die vieljährigen Mittel der Luftdruckverteilung sind in Abb. 2.4 dargestellt. Die Auswirkungen der Konstellationen auf das Wetter in Norddeutschland sind jahreszeitlich unterschiedlich (Schönwiese 2003): Im Winter sind, beispielsweise bei zonal orientierten Wetterlagen, Temperatur und Niederschlag relativ hoch, bei Hochdruckwetterlagen tief. Im Sommer bringen dagegen Hochdruckwetterlagen hohe Temperaturen und geringen Niederschlag, bzw. Nordwestwetterlagen kühl-feuchte Witterung. Allerdings können im Sommer hohe Temperaturen, wenn sie mit labiler Schichtung einhergehen, auch Starkniederschläge hervorrufen.

Die klimatischen Variationen in Mitteleuropa werden entscheidend durch die Zirkulationsverhältnisse auf dem Nordatlantik, die sogenannte Nordatlantische Oszillation NAO bestimmt (Schubert und Hupfer 1992, Schönwiese und Rapp 1997). Eine ausführliche Beschreibung der NAO und ihrer Geschichte findet man u. a. bei Wanner et al. (2001) sowie im Sonderheft der Fortbildungsreihe Promet des Deutschen Wetterdienstes (2008). Es gibt keine Standarddefinition für die NAO (Leckebusch et al. 2008). Häufig wird der sogenannte NAO-Index, NAOI, verwendet, der als standardisierte Differenz der Monatsmittel des Luftdrucks in Meereshöhe zwischen zwei Stationen definiert ist. Im einfachsten Fall handelt es sich um die Luftdruckdifferenz zwischen den Aktionszentren Azorenhoch und Islandtief. Die Differenzen spiegeln den mittleren geostrophischen Wind an der Meeresoberfläche wider. Rogers (1984) verwendete die Druckwerte von Ponta Delgada auf den Azoren und Stykkisholmur oder Akureyri auf Island, Hurrell (1995) Lissabon und Stykkisholmur. Jones et al. (1997) benutzte die

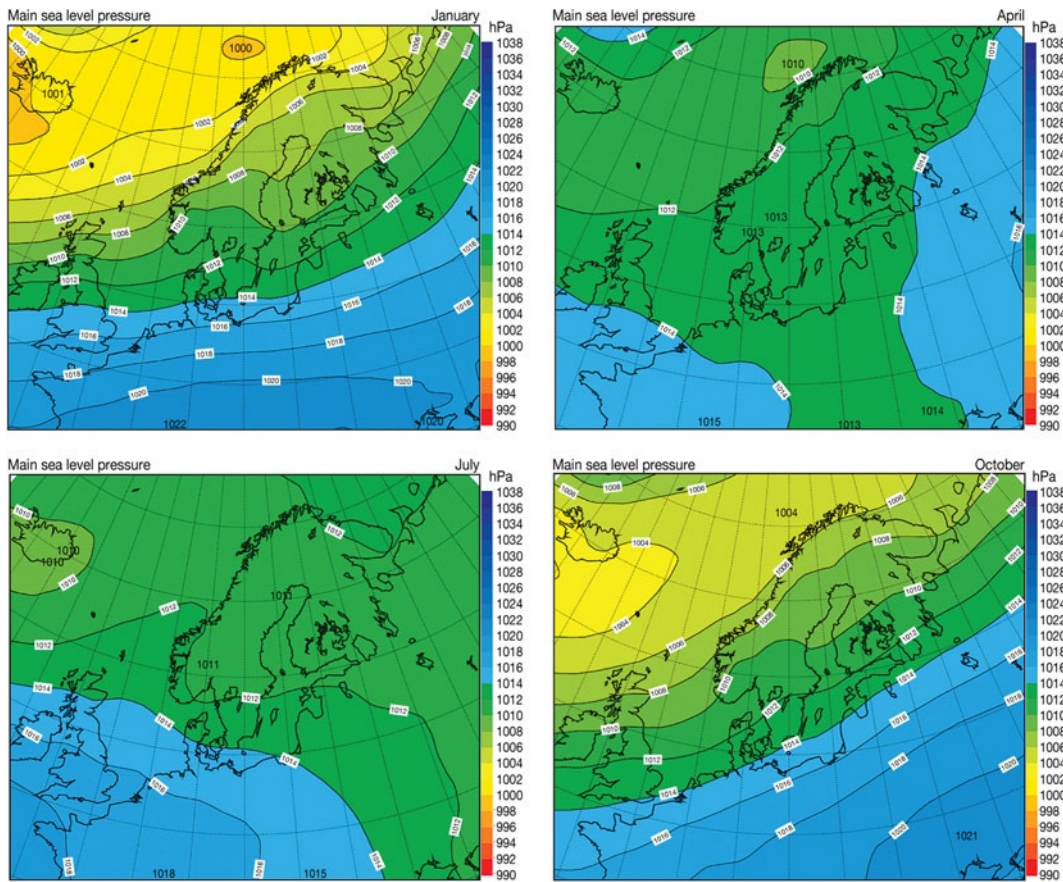


Abb. 2.4 Mittlere Luftdruckverteilung im Januar, April, Juli und Oktober, Bezugszeitraum 1971 bis 2001 (nach Kållberg, SMHI, in BACC 2008)

Daten von Gibraltar und Südwestisland (meist Reykjavik) und verlängerte die Zeitreihe für die Wintermonate zurück bis 1821. Neben den beobachteten NAO-Indizes, die sich auf den Zeitraum der letzten 150 bis 180 Jahre beschränken, existieren jedoch auch Reihen auf Grundlage von verschiedenen Proxydaten des NAOI, die die letzten ca. 500 Jahre umfassen (z. B. Luterbacher 2002 und 2008, Cook et al. 2002).

In verschiedenen Untersuchungen (Hurrell 1995, Rogers 1997, Steinrücke 1998, Wanner 2001, Trigo et al. 2002, Tinz 2002, Hense et al. 2008) wurden die regionalen Zusammenhänge zwischen der NAO-Phase und Auswirkungen auf die Temperatur, den Niederschlag und den Wind in Mitteleuropa untersucht. Wie in der Abb. 2.5 und gezeigt, bedeutet eine verstärkte NAO und damit ein positiver NAOI im Winter für Norddeutschland stärkere Winterstürme und verstärkte Zufuhr von feuchter, relativ milder Atlantikluft. Bei

abgeschwächter NAO mit negativem NAOI ist dagegen das osteuropäische Kältehoch mit trockener Kaltluft dort wetterbestimmend. Auch in den Frühjahrsmonaten (März bis Mai) ist im norddeutschen Küstengebiet noch ein deutlicher Einfluss der NAO feststellbar (Hense et al. 2008). Das begründet sich durch den maritimen Einfluss von Nord- und Ostsee. Die winterlichen Temperaturen haben sich dem ozeanischen System aufgeprägt und wirken sich durch ungewöhnlich hohe bzw. niedrige Meerestemperaturen noch bis in das Frühjahr hinein aus. Im Sommer ist keine statistisch gesicherte Korrelation zwischen NAOI und anderen Größen nachweisbar.

Abbildung 2.6 zeigt die Zeitreihe des NAOI für die Wintermonate Dezember bis März nach Jones et al. (1997) zwischen 1821/22 und 2007/8, berechnet auf der Grundlage der Differenz des normalisierten Luftdrucks in Meereshöhe zwischen Gibraltar

Abb. 2.5 (Links): Typische Druckverteilung und regionale Auswirkungen des positiven NAOI. (Rechts): Typische Druckverteilung und regionale Auswirkungen des negativen NAOI (Wanner und Luterbacher 1981)

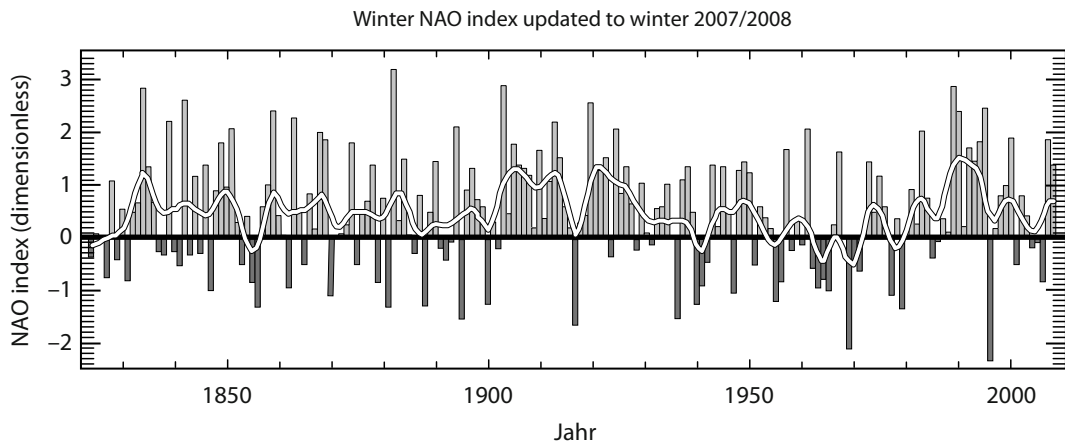
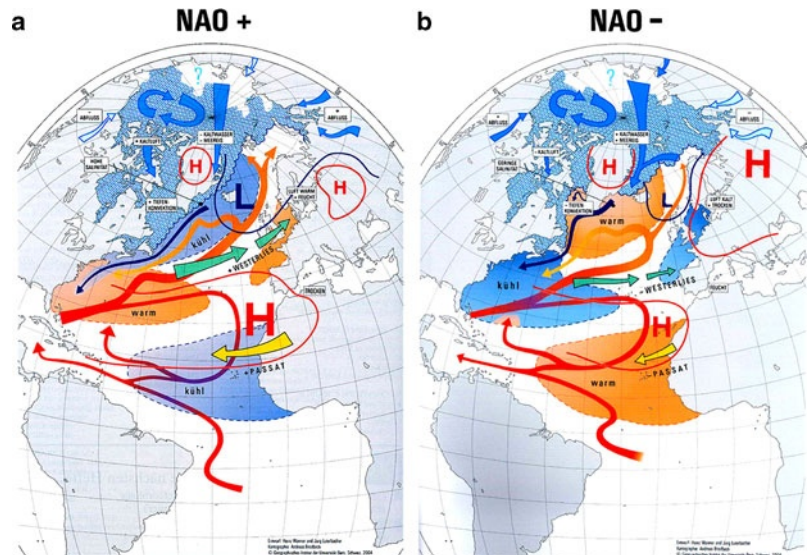


Abb. 2.6 Zeitreihe des NAO-Index für die Wintermonate (Dezember bis März) zwischen 1821/22 und 2007/08 nach Jones et al. (1997), http://www.cru.uea.ac.uk/~timo/projpages/nao_update.htm

und Südwestisland. Offensichtlich besitzt die nordatlantische Zirkulation eine starke Variabilität von Jahr zu Jahr, die von einer ausgeprägten langperiodischen Schwankung überlagert ist. Ein langzeitiger Trend ist nicht feststellbar (vgl. Hurrell 1995), wohl aber Trends für bestimmte Subintervalle: anfangs schwach zunehmend, von etwa 1910 bis 1960 deutlich abnehmend und anschließend bis Mitte der 90er Jahre stark zunehmend (Schönwiese 2002). Diese letzte Phase der (vorübergehend) starken Zunahme wurde vielfach als sichtbares Zeichen der Klimaänderung beschrieben, was durch die inzwischen abnehmende Tendenz jedoch nicht gestützt wird.

Eine weitere Methode zur Beschreibung der großräumigen Druckverteilung und ihrer Veränderungen ist die Auswertung von sogenannten Großwetterlagen. Die bekannteste Klassifikation der Großwetterlagen für Mitteleuropa ist die von Hess und Brezowsky (1952), die auf den Grundlagen von Baur et al. (1944) entwickelt wurde. Baur definierte die Großwetterlage als „die mittlere Luftdruckverteilung eines Großraumes, mindestens von der Größe Europas, während eines mehrtägigen Zeitraumes“. Hess und Brezowsky legten für diesen Zeitraum eine Minstdauer von drei Tagen fest. Grundlage der Klassifikation, die mehrfach überarbeitet wurde, ist heute die Zirkulationsform, die

durch die Lage der steuernden Aktionszentren (Höhenhoch- und Höhentiefdruckgebiete, Tröge) und die Erstreckung der Frontalzone bestimmt wird. Der Katalog der Großwetterlagen beginnt 1881 und wird fortlaufend aktualisiert. Bis 1938 standen für die Bestimmung der Großwetterlagen allerdings nur Bodenkarten des Luftdrucks zur Verfügung. Der Vorteil dieser Klassifikation liegt in ihrem integralen Charakter, der langen, auf Tageswerten basierenden mehr als 100-jährigen Beobachtungsreihe sowie der einfachen Handhabbarkeit. In einer Untersuchung der Großwetterlagen für Mitteleuropa stellten Werner et al. (2008) eine Zunahme von Westwetterlagen, sowohl an Dauer als auch an Häufigkeit, seit den 1970er Jahren fest. Auch verschiedene andere Autoren berichten von einer Änderung der atmosphärischen Zirkulation im atlantisch-europäischen Bereich in den letzten Dekaden (z. B. Bardossy und Caspary 1990, Caspary 1995, Maslanik et al. 1996, Kaszewski und Filipiuk 2003). Werner et al. (2008) führten für den Einzugsbereich der Elbe eine Untersuchung der Großwetterlagen für den Zeitraum 1951–2003 durch und stellen in den Sommermo-

naten eine Zunahme der Hochdruckwetterlagen fest. Im gleichen Zeitraum nehmen in den Wintermonaten die zyklonalen Großwetterlagen zu.

2.2.4 Wind

Der Wind spielt bei der Betrachtung der Klimaverhältnisse eine wichtige Rolle. Dabei existieren in der Metropolregion insbesondere bei der Windgeschwindigkeit deutliche regionale Unterschiede. Abbildung 2.7 zeigt die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe über Grund für Norddeutschland. Die Karten wurden im 1-km-Raster durch lineare Regression zwischen der topographischen Höhe und Messwerten der Windgeschwindigkeit des Stationsnetzes des Deutschen Wetterdienstes erstellt. Für die flächendeckende Interpolation erfolgte eine Wichtung mit dem Quadrat der Entfernung zum Rasterpunkt und eine Reduktion auf Meereshöhe (Müller-Westermeier 1995).

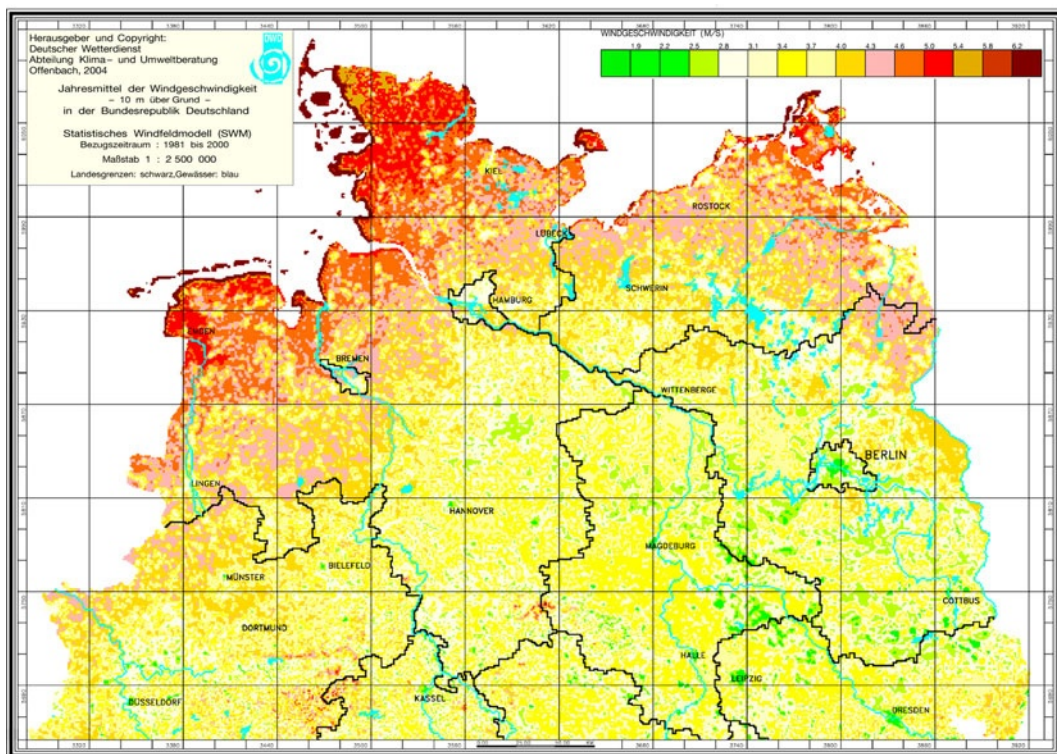


Abb. 2.7 Mittlere jährliche Windgeschwindigkeit in m/s, Bezugszeitraum 1981–2000 (Deutscher Wetterdienst 2004)

Insgesamt sind die Windgeschwindigkeiten an den Küsten merklich höher als im Binnenland. So zeichnet sich eine deutliche Abnahme der mittleren Windgeschwindigkeit von Nordwest nach Südost ab. Während die Jahresmittel der Windgeschwindigkeit auf Helgoland fast 8 m/s und in Küstennähe zwischen 5 m/s und 6 m/s betragen, liegen sie im Stadtgebiet von Hamburg bei 4,5 m/s und im binnenländischen Lüchow bei nur 3 m/s (siehe Tabelle 2.3). In den Wintermonaten ist die Windgeschwindigkeit im Mittel um 1 m/s bis 2 m/s, auf Helgoland um mehr als 3 m/s höher als im Sommer.

Das hohe Windaufkommen über der Deutschen Bucht und entlang der Küsten drückt sich in der großen Anzahl von Tagen mit starkem Wind aus, das sind Tage, an denen das höchste 10-Minuten-Mittel der Windgeschwindigkeit 11 m/s und mehr beträgt, was Windstärken von Bft 6 und darüber entspricht. Wie Tabelle 2.4 zeigt, tritt derart starker Wind im Bereich der Deutschen Bucht im Mittel an jedem zweiten Tag und an der Küste meist an rund 90 Tagen im Jahr auf, im Binnenland nur an 20 bis 30 Tagen.

Trotz dieser vergleichsweise hohen Anzahl von Tagen mit kräftigem Wind überwiegen an Land schwache bis mäßige Winde (bis 10,7 m/s) mit einem Anteil von 75 % bis 90 %.

Der Wind kommt in den deutschen Küstengebieten vorherrschend aus westlichen Richtungen. Die Hauptwindrichtung variiert im Jahresverlauf leicht (siehe Tabelle 2.5). Im April und Mai kommen die Winde häufig auch aus nördlichen bis östlichen Richtungen, während zwischen Oktober und Januar Winde aus West bis Südwest vorherrschen.

Bei windschwachen Hochdrucklagen bildet sich in der warmen Jahreszeit infolge der unterschiedlichen Erwärmung von Land- und Wasseroberflächen an den Küsten eine Land-Seewind-Zirkulation aus. Dies ist eine relativ kleinräumige Zirkulation, die tagsüber frische Meeresluft heranzführt und nachts den ablandigen Wind verstärkt. Dieses Phänomen prägt vor allem die sommerlichen Windverhältnisse an der Ostsee, wo der Seewind zwischen 14 und 17 Uhr MESZ seine höchste Geschwindigkeit erreicht. An der Nordsee ist das Phänomen meist weniger stark ausgeprägt. Da es sich hier um eine Luvküste handelt, frischt der Wind aufgrund des zusätzlichen Seewindes auf, bzw. dreht der großräumige Wind nachts in eine mehr auflandige Richtung. Die Land-Seewind-Zirkulation ist in Norddeutschland meist auf wenige Kilometer entlang der Küste beschränkt. Sie kann aber auch bis zu 100 km ins Landesinnere und so bis in das Stadtgebiet von Ham-

Tabelle 2.3 Mittlere monatliche Windgeschwindigkeit (m/s) in Helgoland, Cuxhaven, Hamburg-Fuhlsbüttel, Lüchow und Schwerin im Zeitraum 1971 bis 2000 (Riecke und Rosenhagen 2010)

	Helgoland	Cuxhaven	Hamburg-Fu.	Lüchow	Schwerin
Jan	9,2	6,2	4,5	3,7	4,6
Feb	8,3	6,0	4,4	3,4	4,3
Mrz	7,8	6,1	4,4	3,6	4,6
Apr	6,5	5,6	3,9	3,2	3,9
Mai	6,0	5,3	3,6	2,7	3,6
Jun	5,9	5,1	3,4	2,6	3,6
Jul	6,2	5,1	3,5	2,6	3,7
Aug	6,4	4,9	3,2	2,4	3,4
Sep	7,7	5,2	3,5	2,6	3,6
Okt	8,8	5,6	4,0	2,8	3,9
Nov	9,5	6,0	4,5	3,4	4,5
Dez	9,4	6,2	4,7	3,7	4,7
Jahr	7,6	5,6	3,9	3,1	4,0

Tabelle 2.4 Mittlere monatliche Anzahl der Starkwind- und Sturmtage in Helgoland, Cuxhaven, Hamburg-Fuhlsbüttel, Lüchow und Schwerin im Zeitraum 1971 bis 2000 (Riecke und Rosenhagen 2010)

	Helgoland	Cuxhaven	Hamburg-Fu.	Lüchow	Schwerin
Jan	20,9	10,1	4,8	4,6	7,4
Feb	16,1	9,2	4,0	3,3	6,0
Mrz	16,7	10,0	3,8	3,7	6,4
Apr	11,6	7,1	2,7	1,7	4,0
Mai	8,8	7,0	2,1	1,3	2,7
Jun	9,3	5,2	1,8	1,0	2,6
Jul	9,3	4,5	1,6	1,0	3,2
Aug	11,1	4,5	1,5	1,0	2,9
Sep	16,0	6,1	2,2	1,0	3,3
Okt	19,8	8,8	3,2	2,0	3,69
Nov	22,4	9,4	3,0	2,5	2,5
Dez	22,8	9,8	4,2	2,8	2,8
Jahr	184,7	91,7	34,8	25,8	25,8

Tabelle 2.5 Vorherrschende Windrichtung mit prozentua-lem Anteil und zugehöriger mittlerer Windgeschwindigkeit in Helgoland, Cuxhaven, Hamburg-Fuhlsbüttel, Lüchow und Schwerin im Zeitraum 1971 bis 2000 (Riecke und Rosenhagen 2010)

		Helgoland	Cuxhaven	Hamburg-Fu.	Lüchow	Schwerin
Jan	Richt.	SW	SW	W	W	SW
	in %	23,1	23,1	24,7	23,7	25,7
	m/s	9,3	5,9	5,3	5,5	5,9
Apr	Richt.	N	NW	W	W	E
	in %	16,1	16,7	16,8	17,5	23,0
	m/s	5,6	6,8	4,4	4,6	3,7
Jul	Richt.	W	W	W	W	W
	in %	25,7	24,4	27,1	28,6	27,6
	m/s	6,8	5,6	4,0	3,8	4,9
Okt	Richt.	S	SW	SW	SW	SW
	in %	20,9	22,2	24,6	21,6	25,5
	m/s	9,0	5,5	5,3	4,2	4,7
Jahr	Richt.	W	W	W	W	W
	in %	19,0	19,7	21,9	21,9	21,4
	m/s	8,2	5,4	3,9	4,2	5,1

burg hineinreichen (Reidat 1981, Lefebvre und Rosenhagen 2008).

Oldeland (1998) wertete die Windmessungen am NDR-Sendemast im Zeitraum 1995 und 1998 in fünf

Höhen-niveaus im Tagesgang aus und fand neben der erwarteten mittleren Zunahme mit wachsender Höhe, die durch den abnehmenden Einfluss der Bodenreibung verursacht wird, einen inversen Tagesgang

Abb. 2.8 Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit am NDR-Sendemast in 250 m, 175 m, 110 m, 50 m und 10 m Höhe über Grund (von oben) nach Oldeland (1998)

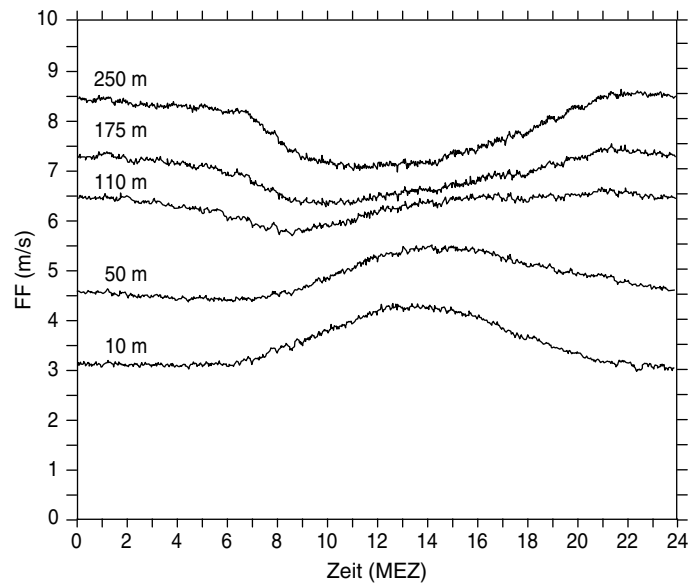
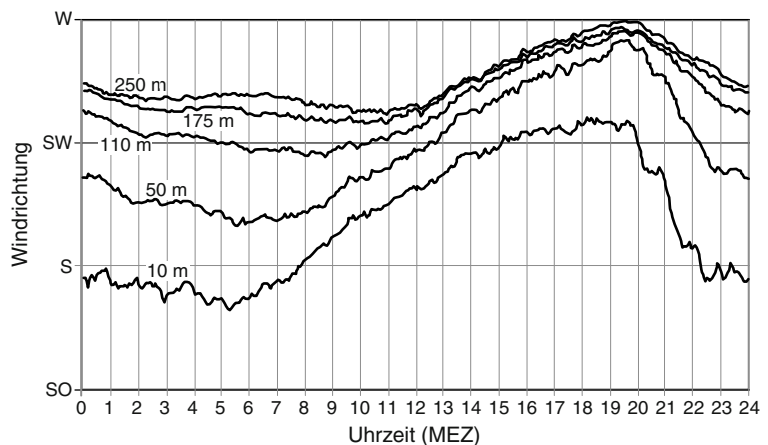


Abb. 2.9 Mittlerer Tagesgang der Windrichtung am NDR-Sendemast in 250 m, 175 m, 110 m, 50 m und 10 m Höhe über Grund (nach Lange 2001)



(Abb. 2.8). Tagsüber nehmen die Windgeschwindigkeiten in den beiden unteren Niveaus (10 m und 50 m über Grund) mit zunehmender thermisch verursachter Turbulenz zu, während sie in den oberen Niveaus (175 m und 250 m) abnehmen. Nachmittags kehrt sich das Verhältnis dann mit zunehmender Stabilisierung der thermischen Schichtung wieder um.

Lange (2001) untersuchte den Tagesgang der Windrichtung in den fünf Messniveaus des NDR-Sendemastes im Zeitraum 1995 bis 2000 (Abb. 2.9) und fand die typische, reibungsbedingte Rechtsdrehung der Windrichtung mit zunehmender Höhe. Auch hier nimmt der Bodeneinfluss im Tagesverlauf bis zum Abend mit zu-

nehmender Thermik zu, um am Abend rasch abzufallen.

Statistisch gesicherte Aussagen zur langzeitlichen Veränderung lassen sich auch für Windrichtung und -geschwindigkeit nur aus langen und homogenen Messreihen ableiten. Der lokale Wind ist jedoch im Vergleich zur Temperatur, aber auch zum Niederschlag ungleich empfindlicher gegenüber Änderungen der Umgebung und der Beobachtungsverfahren. Auch liegen mit Instrumenten gemessene Winddaten erst seit wenigen Jahrzehnten vor. Ein Nachweis von Änderungen des Windklimas über einen langen Zeitraum ist deshalb nur mit indirekten Methoden, wie durch

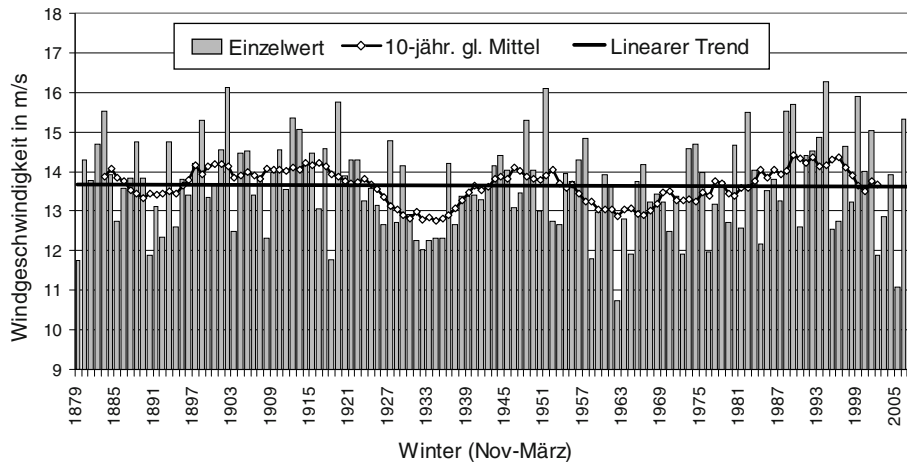


Abb. 2.10 Wintermittel (November bis März) des geostrophischen Windes für die Deutsche Bucht zwischen 1879/80 und 2007/08 (Rosenhagen 2008)

Untersuchungen der Luftdruckverteilungen, möglich. Direkte Rückschlüsse auf den Wind an einem bestimmten Ort in der Referenzhöhe 10 m über Grund lassen sich mit diesen Methoden aber nicht ableiten.

Besonders gut geeignet zur Abschätzung des Windaufkommens ist die Auswertung des geostrophischen Windes aus Stationsdaten des Luftdrucks. Abbildung 2.10 zeigt die Jahresmittel der mehr als 130-jährigen Zeitserie des geostrophischen Windes für die Deutsche Bucht. Die Werte wurden aus den Luftdruckmessungen von drei Stationen berechnet, die ein nahezu gleichseitiges Dreieck mit einer Seitenlänge von etwa 250 km, welches die Deutsche Bucht einschließt, bilden (Schmidt et al. 1993). Der geostrophische Wind ist dem horizontalen Gradienten des Luftdrucks in Meereshöhe proportional und damit ebenso ein Maß für die atmosphärische Bewegung wie der reale Wind. Die Zeitreihe weist eine ausgeprägte Variabilität für Zeitskalen von wenigen Jahren bis zu einigen Jahrzehnten auf. Dabei wechseln sich Zeiten erhöhter Aktivität mit ruhigeren ab. Auch hier sind die windreichen 1990er Jahre deutlich erkennbar. Sie reihen sich aber in die Maxima der Gesamtreihe unauffällig ein.

2.2.5 Lufttemperatur

Die Temperaturverhältnisse der Metropolregion sind maßgeblich maritim geprägt. Aufgrund der größeren Wärmekapazität wirken Nord- und Ostsee dämpfend

auf den Tages- und Jahresgang der Temperatur. Um die Mittagszeit und im Sommer erwärmen sich daher die Küstengebiete nicht so stark wie das Landesinnere, nachts und im Winter kühlen sie nicht so sehr aus. Die Region weist großräumig von West nach Ost sowie in abgeschwächter Form auch nach Süden zunehmende Kontinentalität auf (siehe Abb. 2.3). Die Temperaturen in kontinentalem Klima besitzen im Gegensatz zum maritimen Klima ausgeprägte jahres- und tageszeitliche Schwankungen. Die Rasterkarte der Jahresmitteltemperaturen der Metropolregion (Abb. 2.11) zeigt deutlich eine allmähliche Temperaturabnahme von Südwesten nach Nordosten und relative Wärmeinseln im Bereich der großen Städte Hamburg (siehe Abschn. 2.3) und Bremen.

Die regionalen Unterschiede der Lufttemperatur wurden von Riecke und Rosenhagen (2010) auf Grundlage der Beobachtungswerte von fünf ausgewählten Wetterstationen dargestellt. In den Tabellen 2.6 bis 2.8 sind die statistischen Kenngrößen der Temperatur für diese Stationen, basierend auf dem Bezugszeitraum 1971 bis 2000, für jeden Monat und das Jahr aufgelistet.

Die Spannweite der täglichen Temperaturen innerhalb der Metropolregion wird von den beiden Stationen Cuxhaven mit Küstenklima und Lüchow mit deutlichem kontinentalem Klimaeinfluss beschrieben. Die Hochseeinsel Helgoland repräsentiert ergänzend das Meeresklima der Deutschen Bucht.

Der ausgleichende Einfluss der Nordsee auf den Tages- und Jahresgang der Temperatur zeigt sich in

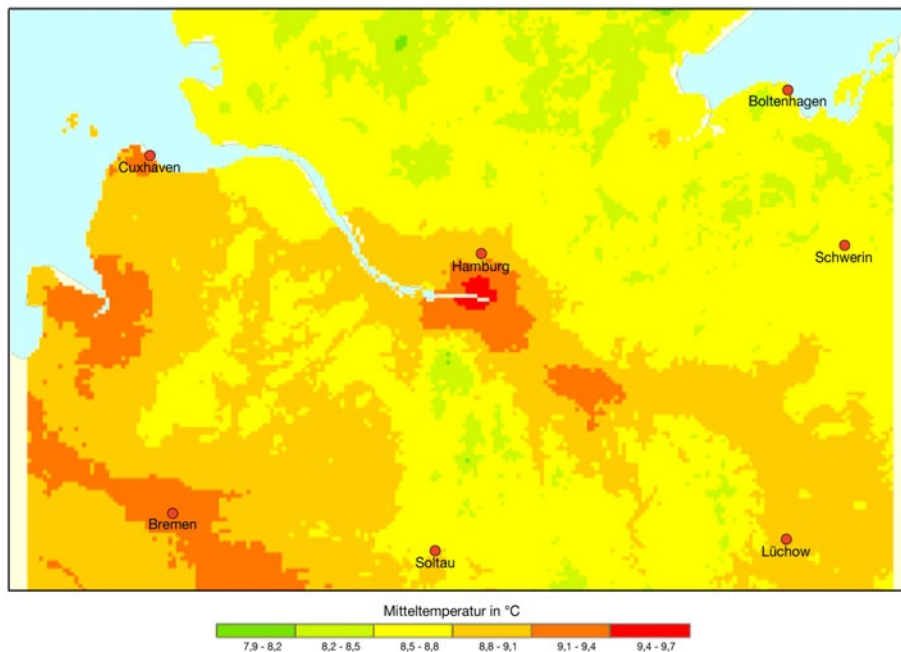


Abb.2.11 Mittlere Jahrestemperatur in der Metropolregion Hamburg, Bezugszeitraum 1971–2000 (Lefebvre und Rosenhagen 2008)

Tabelle 2.6 Monats- und Jahresmittel der Temperatur in °C (Riecke und Rosenhagen 2010)

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Helgoland	3,1	2,6	4,0	6,5	10,6	13,7	16,3	17,1	14,9	11,6	7,5	4,8	9,4
Cuxhaven	1,8	2,1	4,4	7,5	12,1	14,9	17,1	17,3	14,2	10,2	5,8	3,2	9,2
Hamburg-Fu.	1,3	1,7	4,4	7,8	12,6	15,4	17,4	17,2	13,6	9,4	5,1	2,5	9,0
Lüchow	0,7	1,1	4,3	7,8	13,0	15,6	17,7	17,3	13,4	9,0	4,6	2,1	8,9
Schwerin	0,4	0,9	3,8	7,5	12,5	15,3	17,3	17,3	13,4	9,2	4,5	1,9	8,7

Tabelle 2.7 Monats- und Jahreswerte des mittleren täglichen Maximums der Temperatur in °C (Riecke und Rosenhagen 2010)

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Helgoland	4,4	3,9	5,5	8,4	12,8	15,8	18,3	19,0	16,5	13,0	9,0	6,2	11,1
Cuxhaven	3,8	4,1	7,1	10,7	15,6	18,1	20,2	20,6	17,2	12,9	7,9	5,0	11,9
Hamburg-Fu.	3,5	4,4	8,0	12,3	17,5	19,9	22,0	22,3	17,9	13,0	7,5	4,6	12,7
Lüchow	3,1	4,1	8,2	12,8	18,3	20,8	23,2	23,2	18,5	13,2	7,2	4,2	13,1
Schwerin	2,7	3,7	7,5	12,2	17,8	20,2	22,3	22,3	17,8	12,8	6,9	3,9	12,5

Cuxhaven und Helgoland deutlich: Ganzjährig sind die Nächte hier im Mittel am wärmsten, was zwischen September und Februar auch für die mittleren Monatstemperaturen gilt. Andererseits sind die Tageshöchstwerte zwischen Juni und September gedämpft.

Im Gegensatz dazu veranschaulichen die Werte von Lüchow den kontinentalen Klimaeinfluss mit ausgeprägten Tages- und Jahresgängen der Temperatur: So beträgt der mittlere Tagesgang im Jahresmittel hier 8,5 °C (Cuxhaven 5,2 °C) und der mittlere Jahresgang

Tabelle 2.8 Monats- und Jahreswerte des mittleren täglichen Minimums der Temperatur in °C (Riecke und Rosenhagen 2010)

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Helgoland	1,4	1,1	2,5	4,7	8,6	11,9	14,5	15,3	13,2	9,9	5,8	3,1	7,7
Cuxhaven	−0,2	−0,1	2,0	4,7	8,9	12,1	14,3	14,5	11,7	7,8	3,7	1,2	6,7
Hamburg-Fu.	−1,4	−1,2	1,1	3,3	7,4	10,5	12,7	12,4	9,6	6,0	2,4	0,0	5,2
Lüchow	−2,0	−2,0	0,8	2,8	6,8	9,8	11,8	11,6	8,9	5,1	1,8	−0,4	4,6
Schwerin	−1,9	−1,6	0,9	3,5	7,8	10,9	13,0	13,0	10,0	6,2	2,3	−0,3	5,3

Tabelle 2.9 Absolute Höchst- und Tiefsttemperaturen zwischen 1971 und 2000 (Riecke und Rosenhagen 2010)

	Absolute Temperatur maxima	Datum			Absolute Temperatur maxima	Datum
Helgoland	28,7 °C	25/07/1994		Helgoland	−10,7 °C	11/01/1987
Cuxhaven	36,3 °C	09/08/1992		Cuxhaven	−15,7 °C	04/01/1971
Hamburg-Fu.	37,3 °C	09/08/1992		Hamburg-Fu.	−20,8 °C	01/01/1979
Lüchow	37,6 °C	09/08/1992		Lüchow	−27,0 °C	22/02/1986
Schwerin	36,9 °C	09/08/1992		Schwerin	−20,8 °C	02/01/1997

17,0 °C (Cuxhaven 15,5 °C). Außer im März fallen die täglichen Minimumtemperaturen in Lüchow ganzjährig im Mittel am geringsten aus, während es in den Sommermonaten am Tage hier im Mittel am wärmsten ist.

Die im Zeitraum 1971 bis 2000 an den fünf Stationen aufgetretenen absoluten Extreme der Temperatur sind in Tabelle 2.9 aufgelistet: Danach war der 9. August 1992, mit Ausnahme von Helgoland, in der ganzen Region der heißeste Tag mit Temperaturmaxima um 37 °C. Bei den absoluten Tiefstwerten ist das Bild uneinheitlicher: Mit −27 °C war es an der kontinentalsten Station Lüchow erwartungsgemäß am kältesten, während an der Nordseeküste in Cuxhaven mit −15,7 °C der Temperaturrückgang vergleichsweise gemäßigt war. Deutlich zeigt sich der stark gedämpfte Temperaturgang in Helgoland. Das absolute Minimum des Zeitraums trat bei jeder der fünf Stationen an einem andern Tag ein, ein Hinweis darauf, wie sehr lokale Einflüsse die Tiefsttemperaturen bestimmen.

Riecke und Rosenhagen (2010) stellten darüber hinaus fest: Mit Ausnahme der Sommermonate Juni bis August kommt Luftfrost in allen Monaten vor. Frost am Erdboden kann es sogar in jedem Monat des Jahres geben. Entsprechend seiner kontinentalen Lage ist

Lüchow bei den Frosttagen (das sind Tage, an denen das Temperaturminimum unter dem Gefrierpunkt liegt), mit einem Mittel von 81 pro Jahr (Bezugszeitraum 1971–2000) unter den oben beschriebenen vier Landstationen führend, während sie mit 70 pro Jahr in Cuxhaven am seltensten sind. Die Variabilität ist groß: So schwankte die Zahl pro Winter in Hamburg-Fuhlsbüttel im Zeitraum 1970/71 bis 1999/2000 zwischen 127 (1995/96) und 43 (1988/89) und in Lüchow zwischen 137 (1995/96) und 53 (1974/75).

Innerhalb der letzten 150 Jahre ist weltweit eine deutliche mittlere Temperaturzunahme zu beobachten, die, anders als die Kalt- und Warmzeiten früherer Zeiten, im Wesentlichen der anthropogenen Verstärkung des Treibhauseffektes zugeschrieben wird. Auch in Mitteleuropa und in der Metropolregion lässt sich die Erwärmungstendenz beobachten. Für Deutschland berechneten Schönwiese und Janowitsch (2005) für das 20. Jahrhundert einen mittleren Temperaturanstieg von 1,0 °C. Dabei existieren sowohl jahreszeitlich als auch regional innerhalb Deutschlands systematische Unterschiede.

Die Darstellung zeitlicher Veränderungen mittels linearer Trends hängt entscheidend von der Auswahl des Bezugszeitraums und seiner Länge ab (vgl. Ab-

Abb. 2.12 Jahresanomalien 1761–2004 (Bezugszeitraum 1961–1990) des Gebietsmittels der bodennahen Lufttemperatur in Deutschland mit nicht-linearer Trendfunktion (Schönwiese und Janoschitz 2005, Datenquelle: DWD)

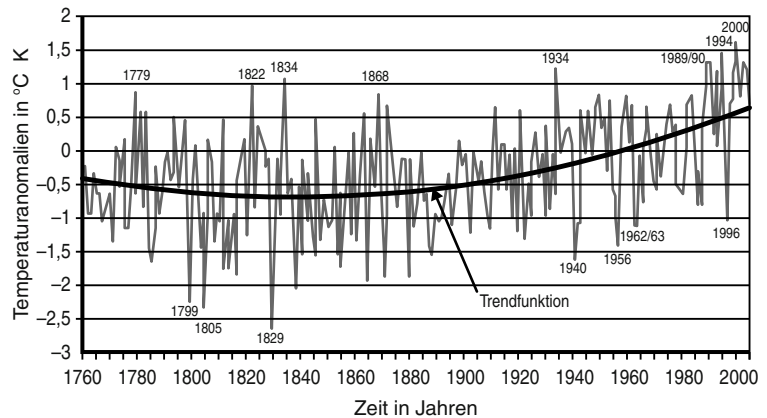
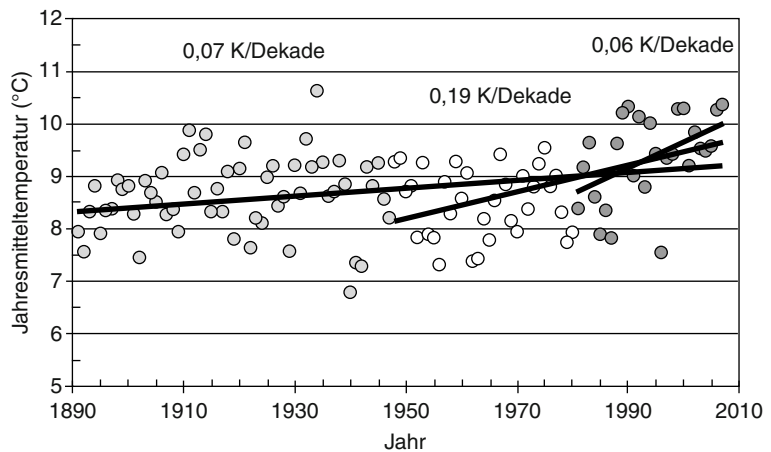


Abb. 2.13 Jahresmitteltemperaturen für die Station Hamburg-Fuhlsbüttel im Zeitraum 1891 bis 2007 (homogenisierte Datenreihe) und lineare Trends für den Gesamtzeitraum sowie die Teilperioden 1948–2007 und 1978–2007 (Schlünzen et al. 2009/b)



schn. 2.2.1). Die Zeitreihen weisen zumeist erhebliche Variabilität von Jahr zu Jahr auf, so dass sich der Trend am besten nicht-linear beschreiben lässt (siehe Abb. 2.12).

Alternativ kann eine lange Zeitreihe in mehrere Perioden unterteilt und für diese jeweils der lineare Trend bestimmt werden. Schlünzen et al. (2009/b) führte dies für die Reihe der homogenisierten Jahresmitteltemperaturen von Hamburg-Fuhlsbüttel für unterschiedliche Zeitabschnitte durch (siehe Abb. 2.13).

Es ergaben sich folgende Trends, die als signifikant getestet wurden:

- 1891–2007: 0,07 K/Dekade
- 1948–2007: 0,19 K/Dekade
- 1978–2007: 0,60 K/Dekade

Sie belegen deutlich: Der Temperaturtrend hat in den drei letzten Jahrzehnten markant zugenommen.

In einer weiteren Auswertung der homogenisierten Temperaturmesswerte für die Station Hamburg-Fuhls-

büttel (Schlünzen et al. 2009/a) wurden zusätzlich die entsprechenden Trends für die Jahreszeiten und für die Extremwerte bestimmt (Abb. 2.14). Über den Gesamtzeitraum ist die Temperaturzunahme danach im Sommer am geringsten, in den Wintermonaten am größten, was eine Vergrößerung der Jahresamplitude ergibt. Die täglichen Temperaturextreme zeigen dagegen unterschiedliche signifikante Trends: Während die Maxima deutlich zunahmen (+0,18 °C pro Dekade), nahmen die Minima leicht ab (−0,11 °C pro Dekade), was auf eine Zunahme der Extreme hindeutet.

Die Trenduntersuchung für kürzer Zeitabschnitte ergab signifikante Trends ($\alpha = 0,05$) für die Jahresmitteltemperatur und die Extremtemperaturen aller drei Zeiträume sowie für Frühling (MMA: 1978–2007), Sommer (JJA: 1948–2007, 1978–2007) und Herbst (SON: 1891–2007).

Tabelle 2.10 zeigt die Dekadenmittelwerte der Temperatur der homogenisierten Reihe für Hamburg-Fuhlsbüttel für jeden Monat und jedes Jahr aus dem

Abb. 2.14 Linearer Trend der Temperatur der Station Hamburg-Fuhlsbüttel für das Minimum (10 %-Perzentil), das Maximum (90 %-Perzentil) und das Mittel sowie für die vier Jahreszeiten jeweils für die Bezugszeiträume 1891–2007, 1948–2007 sowie 1978–2007 (Schlünzen et al. 2009/a)

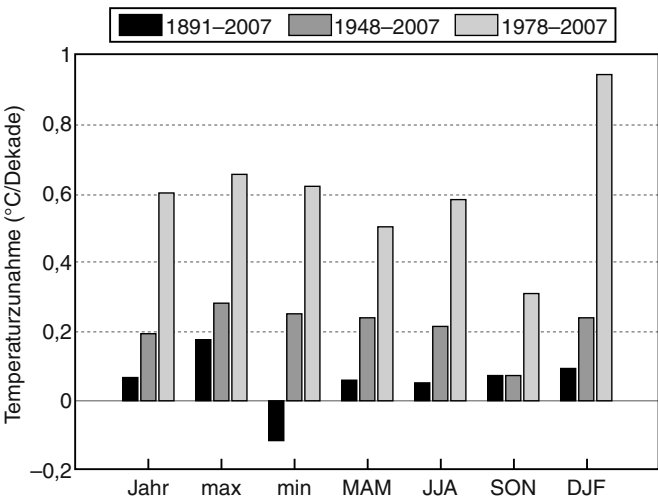


Tabelle 2.10 Dekadenmittel der Lufttemperatur der homogenisierten Daten für Hamburg-Fuhlsbüttel (Riecke und Rosenhagen 2010)

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
1891/1900	−0,8	1,1	3,5	7,6	11,7	15,6	17,0	16,7	13,8	9,0	4,5	1,8	8,5
1901/1910	0,8	1,1	3,7	7,3	12,3	15,9	16,9	16,1	13,6	9,6	4,1	1,6	8,6
1911/1920	1,2	2,1	4,3	8,2	13,1	15,6	17,3	16,6	13,7	8,6	4,5	3,0	9,0
1921/1930	1,4	0,6	4,2	7,5	12,7	14,6	17,7	16,4	13,6	9,4	4,3	1,6	8,7
1931/1940	0,7	1,1	3,6	7,6	12,7	16,5	17,8	17,2	13,9	9,0	5,4	1,1	8,9
1941/1950	−0,8	0,8	3,6	8,4	12,7	15,6	17,9	17,5	14,4	9,5	4,7	2,0	8,9
1951/1960	0,8	−0,2	3,4	7,4	12,1	15,5	17,1	16,5	13,5	9,6	5,2	3,1	8,7
1961/1970	−0,1	0,8	3,1	7,7	11,8	16,2	16,4	16,2	14,0	10,2	5,0	0,3	8,5
1971/1980	0,8	1,6	3,9	6,6	12,0	15,4	16,8	16,7	13,2	8,9	5,2	3,0	8,7
1981/1990	0,9	1,0	4,4	7,8	13,0	15,2	17,4	17,0	13,6	10,2	5,3	2,4	9,0
1991/2000	2,1	2,5	5,0	8,8	12,8	15,6	18,1	17,9	13,9	9,2	4,8	2,3	9,4

Zeitraum 1891–2000. Demnach ist der Januar im Allgemeinen der kälteste Monat des Jahres. Lediglich im Zeitraum 1921/1930 und 1951/1960 verschiebt sich das Minimum zum Februar. Bei den Einzelmonaten ist denn auch der Februar 1929 mit einem Mittelwert von nur −8,9 °C der kälteste Monat seit 1881. In allen Dekaden fällt der Juli dagegen durchweg am wärmsten aus. Der wärmste Monat des Bezugszeitraums war mit 22,2 °C der Juli 1994, er wurde inzwischen jedoch durch den Juli 2003 um ein Zehntel Grad übertroffen. Die Differenz von rund 30 Grad zwischen dem wärmsten und dem kältesten Monat gibt demnach recht gut

die Schwankungsbreite der Monatsmitteltemperaturen an. Der Zeitraum von 1991 bis 2000 war mit Abstand der wärmste des Gesamtzeitraumes. Außer bei den Jahresmittelwerten trifft dies auch auf die Monatswerte zwischen Januar und April, sowie für Juli und August zu.

2.2.6 Niederschlag

Im Mittel zeigt sich im Bereich der Metropolregion Hamburg mit zunehmender Kontinentalität von West

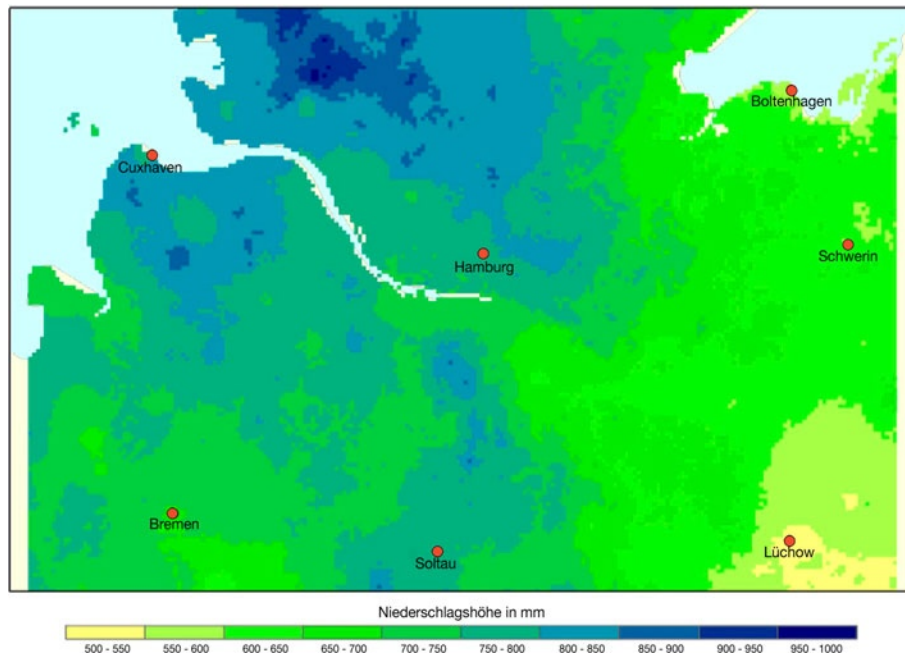


Abb. 2.15 Mittlere jährliche Niederschlagssummen, Bezugszeitraum 1971–2000 (Lefebvre und Rosenhagen 2008)

Tabelle 2.11 Mittlere Niederschlagshöhen in mm, Bezugszeitraum 1971–2000 (Riecke und Rosenhagen 2010)

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Helgoland	57	36	49	35	40	55	55	61	82	82	89	70	712
Cuxhaven	66	40	55	40	50	77	74	67	84	81	81	76	791
Hamburg-Fu.	64	42	62	46	54	77	75	73	68	64	70	78	772
Lüchow	42	30	37	36	47	58	62	48	39	39	38	47	523
Schwerin	50	32	46	41	50	65	67	52	53	48	51	60	614

Tabelle 2.12 Mittlere Anzahlen der Tage mit Niederschlagshöhen von mindestens 0,1 mm, Bezugszeitraum 1971–2000 (Riecke und Rosenhagen 2010)

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Helgoland	19	14	17	13	13	14	14	15	17	17	20	20	191
Cuxhaven	18	14	17	14	13	15	16	15	17	16	19	19	192
Hamburg-Fu.	19	16	16	14	14	15	16	15	16	16	18	19	193
Lüchow	17	14	15	13	13	15	14	13	14	15	18	18	176
Schwerin	17	14	15	13	13	14	14	12	14	14	17	18	175

nach Ost eine markante Abnahme der jährlichen Niederschlagssummen (Abb. 2.15).

Dies bestätigen auch die Werte von Lüchow (523 mm) und Cuxhaven (791 mm) (Tabelle 2.11). Die überwiegend mit westlichen Winden heranziehen-

den Tiefdrucksysteme, die Niederschlag heranzuführen, schwächen sich in der Regel auf ihrer Bahn nach Osten hin ab. Die monatlichen und jährlichen Anzahlen der Regentage, die für Tage mit Niederschlagshöhen von 0,1 mm und mehr in Tabelle 2.12 zusammengefasst

sind, zeigen qualitativ ein entsprechendes Muster mit ostwärts abnehmenden Häufigkeiten. Damit ergibt sich für Lüchow eine mittlere Niederschlagsmenge von knapp 3 mm pro Niederschlagstag gegenüber gut 4 mm in Cuxhaven. Dieser mehr großräumigen Niederschlagsverteilung sind kleinräumige Phänomene überlagert, die sich zum Beispiel vor allem durch orografische Effekte an Erhebungen in der Landschaft ergeben.

Im Bezugszeitraum 1971 bis 2000 sind in Nordseenähe im Mittel die Monate Februar und April am trockensten. Im Frühjahr unterbinden die noch niedrigen Wassertemperaturen der Nord- und Ostsee häufig eine Ausbildung konvektiver, d. h. schauerartiger Niederschläge; zum frühen Herbst hin sind die Temperaturen über dem Wasser besonders in den Nachtstunden vielfach höher als über dem Binnenland, konvektive Niederschläge werden unterstützt. So ist auf Helgoland normalerweise der Herbst die niederschlagsreichste Jahreszeit. Südostwärts tritt zunehmend ein weiteres Niederschlagsmaximum im Sommer hervor, das bei den östlichsten Stationen Lüchow und Schwerin deutlich führend ist.

Auch bei den hohen Niederschlägen zeigt sich ein West-Ost-Gefälle. So lag die jährliche Anzahl der Tage mit Niederschlag von 10 mm und mehr im Bezugszeitraum 1971 bis 2000 in Cuxhaven bei 21 und in Lüchow bei nur 10.

Zwischen Oktober und Mai fällt der Niederschlag gelegentlich in fester Form als Schnee. Eine geschlossene Schneedecke von 1 cm Höhe oder mehr gab es zwischen 1971 und 2000 z. B. in Hamburg-Fuhlsbüttel im Mittel an 23 Tagen pro Jahr, maximal wurden 72 Tage (1979) und minimal 2 Tage (1989 und 1990) verzeichnet. Die höchste Schneedecke wurde an dieser

Station im selben Zeitraum mit 67 cm am 18.02.1979 gemessen.

Änderungen des Niederschlagsverhaltens sind eng verbunden mit Änderungen der atmosphärischen Zirkulation, da die aus unterschiedlichen Richtungen herangeführten Luftmassen verschiedene Eigenschaften (Feuchte, Temperatur und Stabilität der Schichtung) aufweisen. Im Vergleich zur Lufttemperatur sind gesicherte Aussagen über systematische Änderungen des Niederschlags deutlich schwieriger nachzuweisen (Huntington 2006). Das liegt einerseits an der räumlichen und zeitlichen Variabilität, so dass die vorliegenden Punktmessungen insbesondere bei konvektiven Wetterlagen (Gewitter) nur bedingt für ein größeres Gebiet repräsentativ sind. Hinzu kommen systematische Fehler bei der Messung des Niederschlags, die schon seit längerer Zeit bekannt sind (z. B. Malsch 1952, Kirigin 1959). Mittlerweile werden von Wetterdiensten Korrekturverfahren angewendet, um statistisch belastbare Zeitreihen zu erzeugen (Zusammenstellung in Goodison 1998).

Entsprechend unsicher ist der Nachweis der Änderungen des Niederschlagsverhaltens in der Metropolregion. Analog zur Temperaturreihe (Abb. 2.13) berechneten Schönwiese und Janoschitz (2005) Jahressummen des Niederschlags für Deutschland (Abb. 2.16). Grundlage waren 129 Stationen des Deutschen Wetterdienstes (Müller-Westermeier und Kreis 2001), deren Monatsmittel mit einem Interpolationsverfahren in die Fläche übertragen wurden. Generell erkennt man im 20. Jahrhundert einen Anstieg von etwa 750 mm auf 800 mm (8,5 %). Auf Grund der ausgeprägten interannuellen Variabilität (550 mm bis nahezu 1000 mm) ist dieser Trend allerdings nicht statistisch signifikant und vor dem Hintergrund der oben beschriebenen Pro-

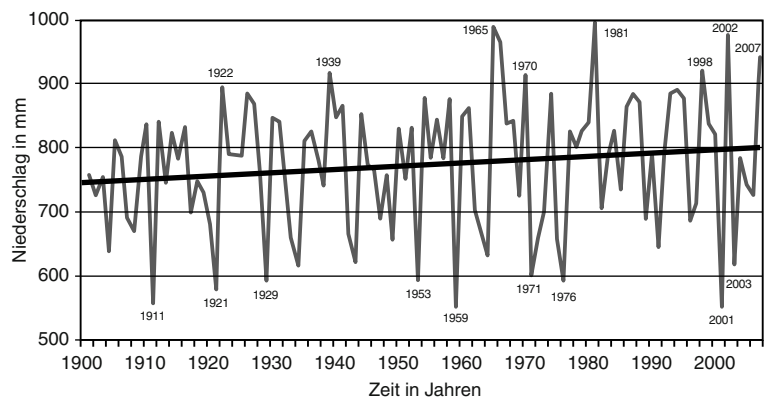


Abb. 2.16 Jahressummen des Gebietsniederschlags für Deutschland im Zeitraum 1901–2007 mit linearem Trend (aus Schönwiese und Janoschitz 2008, Datenquelle: DWD)

Tabelle 2.13 Lineare Trends der Jahressummen des Niederschlags für das Flächenmittel Deutschland in den angegebenen Zeitintervallen, Aufschlüsselung nach Jahreszeiten (aus Schönwiese und Janoschitz 2005)

Klimaelement, Zeitintervall	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
Niederschlag 1901 – 2000	+ 13 %	– 3 %	+ 9 %	+ 19 %	+ 9 %
1951 – 2000	+ 14 %	– 16 %	+ 18 %	+ 19 %	+ 6 %
1961 – 2000	– 9 %	– 8 %	+ 10 %	+ 20 %	+ 3 %
1971 – 2000	+ 13 %	+ 4 %	+ 14 %	+ 34 %	+ 16 %

blematik der Homogenität von Niederschlagszeitreihen ohnehin unzuverlässig.

Getrennte Auswertungen der Dekaden der deutschlandweiten Gebietsmittel des Niederschlags zeigen in den letzten Jahrzehnten wie bei der Lufttemperatur eine Trendverstärkung (siehe Tabelle 2.13). Die jahreszeitliche Betrachtung ergab, dass die winterliche Erwärmung, die sich in den letzten Jahrzehnten drastisch verstärkt hat, mit einem ebenso deutlichen und sich verstärkenden Anstieg der Winterniederschläge verbunden ist: 1901–2000 waren es 19 %, 1971–2000 rund 34 %. Der Frühling, mit Ausnahme des Zeitraums 1961–1990, weist ebenfalls zunehmenden Niederschlag auf, wenn auch moderater als der Winter. Für den sommerlichen Niederschlagsrückgang ist für 1951–2000 ein maximaler Wert von minus 16 % gefunden worden. Dass 1971–2000 eine leichte Zunahme zu beobachten war, kann möglicherweise die Überlagerung von zwei Effekten sein: zwar zunehmende Trockenheit, aber gleichzeitig regional verstärkte Extremniederschlag-Episoden.

Dass das Trendverhalten des Niederschlags nicht nur zeitlich, sondern auch räumlich unterschiedlich ausfällt, zeigt Abb. 2.17. In der Metropolregion Hamburg überwiegt, außer im Sommer, sowohl säkular als auch in jüngerer Zeit (1971–2000) ein leicht zunehmender Trend. Für den Zeitraum 1901–2000 ergibt sich im Frühjahr eine Erhöhung der Niederschlagssumme um etwa 10 %, im Herbst und im Winter um etwa 20 %, während sich im Sommer eine leichte Abnahme um einige Prozent eingestellt hat.

Eine Untersuchung des Trends der Zeitreihe der Jahresniederschlagssummen für die Station Hamburg-Fuhlsbüttel von Schlünzen et al. (2009/b) im Zeitraum 1891 bis 2007 (siehe Abb. 2.18) ergab insgesamt einen positiven Trend von 8 Millimeter pro Dekade, das entspricht pro Jahr etwa 0,1 % der mittleren Summe (Der Trend ist signifikant gemäß Mann-Kendall-

Test mit $\alpha = 0,1$). Obwohl die Auswertung sich auf die „homogenisierte“ Datenreihe der jährlichen Niederschlagssumme stützt, lassen sich Zweifel bezüglich der beschriebenen Datenhomogenität nicht völlig ausräumen.

Da wegen der großen Variabilität der Jahresniederschläge kürzere Zeitspannen keinen signifikanten Trend aufwiesen, stellten Schlünzen et al. (2009/b) die Jahressummen im 30-jährigen gleitenden Mittel dar. Wie bei der Temperatur ließ sich so eine Trendzunahme im Zeitverlauf nachweisen. Es ergab sich für den Zeitraum 1962–1991 ein Trend von 13 mm/Dekade. Die jahreszeitliche Auswertung des Gesamtzeitraums 1906–1992 (Datengrundlage von 1891 bis 2007) für die 30-jährigen gleitenden Mittel (Abb. 2.19) zeigte im Sommer eine geringe Abnahme von einem Millimeter pro Dekade, während die anderen Jahreszeiten einen zunehmenden Trend aufwiesen, der im Herbst mit 3,6 mm/Dekade am größten war. Für den Zeitraum 1948–2007 berechnete sich entsprechend für die Sommermonate eine leicht verstärkte Abnahme von 2,6 Millimetern pro Dekade, während alle anderen Jahreszeiten deutlich nasser wurden. Die Zunahme des positiven Trends in diesem Zeitraum war mit 8,8 Millimetern pro Dekade im Winter am größten. Die gefundenen Ergebnisse entsprechen denen von Schönwiese und Janowitz (2009). Auch für das Flächenmittel von Deutschland ergab sich für alle Jahreszeiten bis auf den Sommer ein positiver Trend. Dieser ist allerdings abweichend in Hamburg im Herbst am größten und nicht im Winter.

Eine wichtige Frage in diesem Zusammenhang ist, ob die Zunahme des Niederschlags auf das häufigere Auftreten von Starkniederschlägen zurückzuführen ist. Während es dafür im Sommer kaum Anhaltspunkte gibt, sprechen im Winter einige Indizien dafür (Rapp und Schönwiese 2003). Das entspricht Feststellungen von Trömel (2005) und Jonas et al. (2005), dass sich

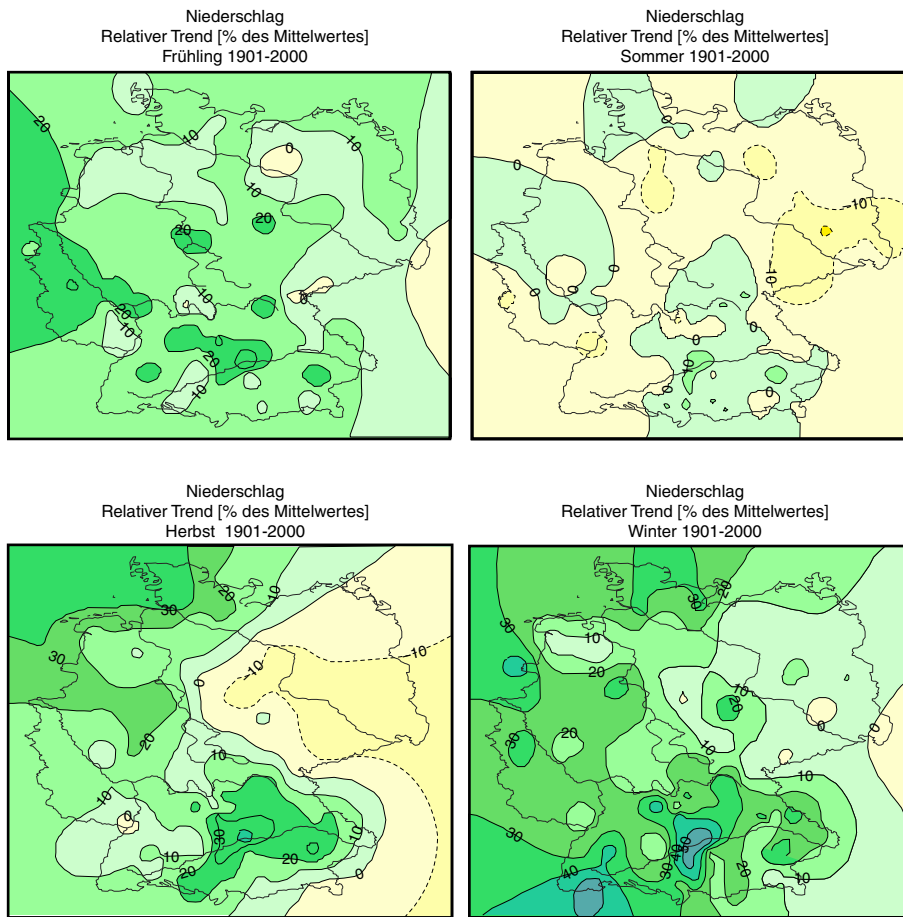


Abb. 2.17 Karten der linearen Niederschlagstrends 1901–2000 in Prozent, alle vier Jahreszeiten (*gelb* Abnahmen, *grün-blau* Zunahmen, aus Schönwiese und Janoschitz 2005)

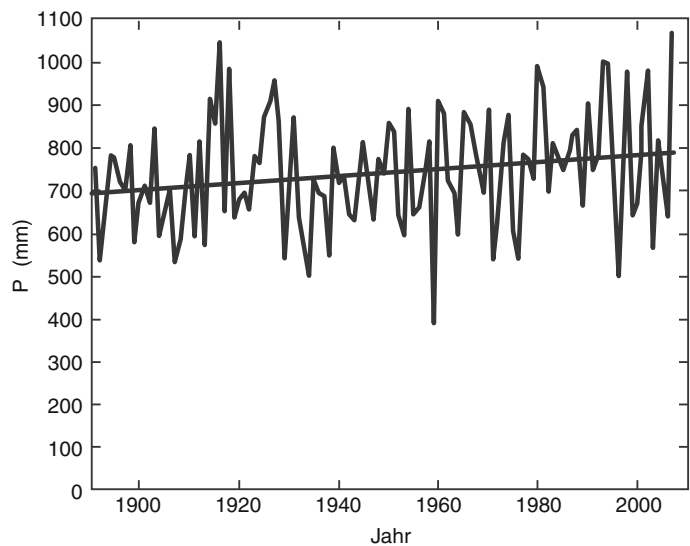


Abb. 2.18 Zeitreihe der Jahresniederschlagssummen von Hamburg-Fuhlsbüttel zwischen 1891 und 2007 (Schlünzen et al. 2009/a)

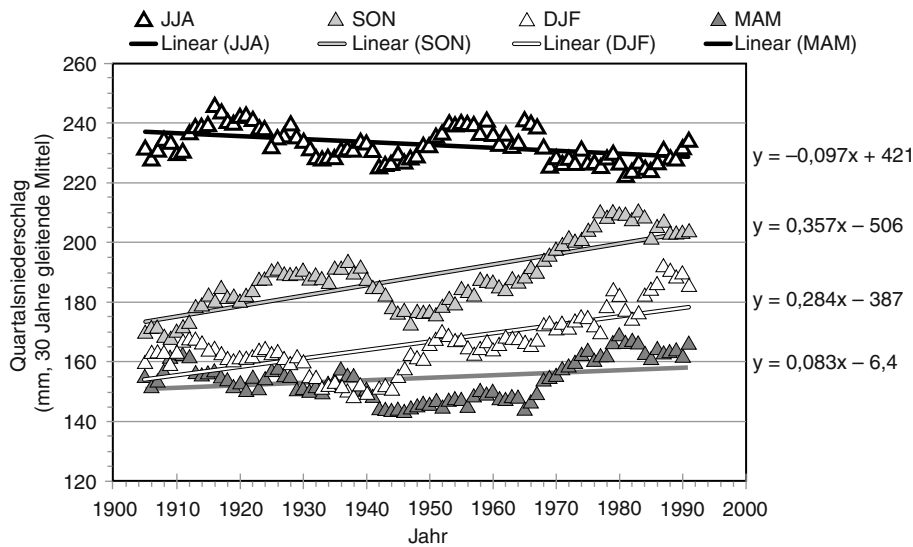


Abb. 2.19 30-jährige gleitende Mittel der Niederschlagssummen für die vier Jahreszeiten von Hamburg-Fuhlsbüttel des Zeitraums 1891 bis 2007 nach Schlünzen et al. (2009/b)

auch die Varianz des Niederschlags erhöht hat, ein Aspekt, der für die Extremwertstatistik von großer Bedeutung ist.

2.2.7 Sonnenscheindauer

Aus der Darstellung der räumlichen Verteilung der jährlichen Sonnenscheindauer (Abb. 2.20) geht eine Bevorzugung der küstennahen Regionen, insbesondere des Ostseebereiches hervor. In diesem Zusammenhang kommen Effekte der tagsüber im Frühjahr und Sommer relativ kühlen Meeresoberfläche zum Tragen. Die Bewölkung wird über Land in den warmen Jahreszeiten vielfach durch Konvektion bei erwärmtem Boden verursacht. Über dem Meer wird die notwendige Temperatur zur Auslösung der Konvektion jedoch nicht oder verzögert erreicht. Die Großstädte Hamburg und Bremen fallen durch eine erhöhte mittlere Sonnenscheindauer auf.

Einen Überblick über die mittleren monatlichen Sonnenscheindauern von sechs Stationen im Bereich der Metropolregion für den Bezugszeitraum 1971–2000 ist in Tabelle 2.14 zu finden. Auch hier treten die sonnenscheinreichen Frühjahrs- und Sommermonate an den Küstenstationen deutlich hervor. Während in den Monaten November bis Februar die Monats-

summen recht einheitlich sind, fallen in der übrigen Zeit markante Unterschiede auf.

Die höchste mittlere monatliche Sonnenscheindauer wird mit 253 Stunden in Boltenhagen im Mai ange-troffen. Auch an den anderen Stationen ist der Mai der Monat mit der größten Sonnenscheindauer. Durchweg wird an allen hier aufgeführten Messstandorten von Mai bis August im Mittel eine Sonnenscheindauer von etwa 200 Stunden und darüber erreicht. Bei stabilen Hochdruckwetterlagen gibt es in dieser Zeit des Jahres immer wieder mehr als 300 Sonnenscheinstunden im Monat. Demgegenüber ist der Monat Dezember der mit der durchschnittlich geringsten Sonnenscheindauer. Für alle Stationen liegt die mittlere Dezembersumme nur zwischen 35 und 39 Stunden. Aber es können in Einzeljahren auch weniger als 10 Stunden Sonne vorkommen. Die mittlere Dezembersonnenscheindauer entspricht etwa 15 % der astronomisch möglichen. (Die astronomisch mögliche Sonnenscheindauer ist die maximal mögliche Dauer des Sonnenscheins zwischen Sonnenauf- und -untergang.) Im Sommer werden dagegen rund 40 % erreicht.

Ein besonderes Phänomen, welches die Region gegenüber dem Umland mit vergleichsweise geringer Bewölkung begünstigt, ist das ‚Skandinavien-Lee‘ (siehe Lefebvre und Rosenhagen 2008). Es stellt sich bei hoch reichender nördlicher Luftströmung auf der Rückseite umfangreicher Tiefdruckgebiete ein und be-

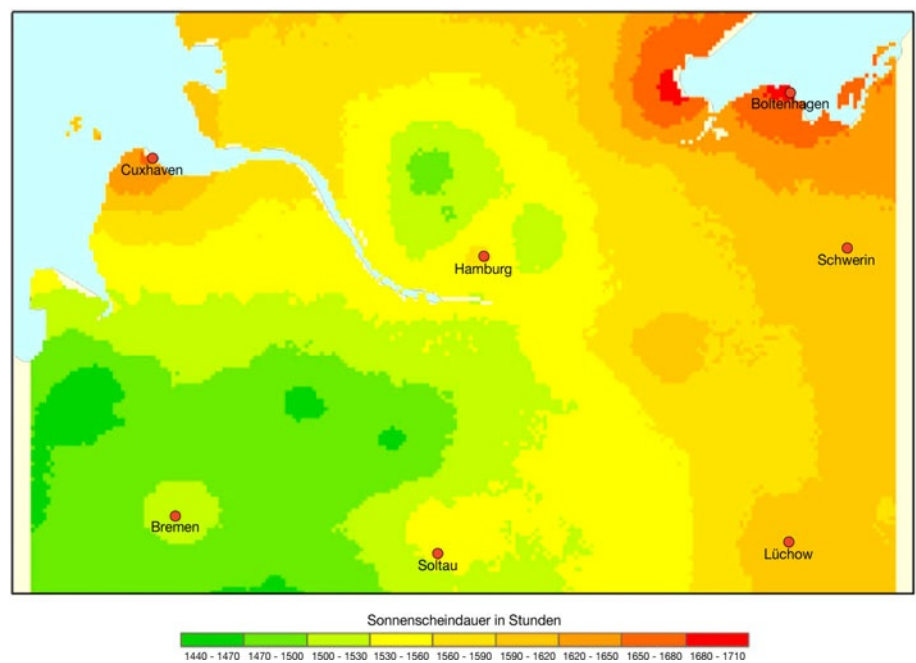


Abb. 2.20 Mittlere jährliche Sonnenscheindauer, Bezugszeitraum 1971–2000 (Lefebvre und Rosenhagen 2008)

Tabelle 2.14 Mittlere Monatssummen der Sonnenscheindauer in Stunden, Bezugszeitraum 1971–2000 (Riecke und Rosenhagen 2010)

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Helgoland	50	79	122	184	250	232	242	232	150	104	56	39	1740
Cuxhaven	51	73	117	176	236	213	227	221	145	108	59	37	1662
Hamburg-Fu.	48	68	107	164	226	207	217	215	139	105	54	36	1585
Lüchow	49	70	111	166	232	214	222	216	143	109	53	38	1624
Schwerin	46	66	111	169	239	212	220	214	145	107	50	35	1616
Boltenhagen	48	67	118	179	253	231	239	228	152	114	57	38	1724

schert der Metropolregion durch das Absinken der Luft und die damit verbundene Abnahme der Luftfeuchte im Lee der skandinavischen Gebirge wolkenarmes und trockenes Wetter (siehe Abb. 2.21).

Ausreichend homogene Datenreihen der Sonnenscheindauer zur Trendbestimmung gibt es bestenfalls seit Ende der 40er Jahre. Schönwiese und Janowitz (2005) erstellten auch Karten des linearen Trends der Sonnenscheindauer für Deutschland, basierend auf den Zeiträumen 1951–2000 und 1971–2000 (Abb. 2.22). Insgesamt zeigen die beobachteten Klimatrends der Sonnenscheindauer in Deutschland – ähnlich wie beim Niederschlag – nicht nur zeitliche, sondern auch

komplizierte räumliche Strukturen, die zudem jahreszeitlich bzw. monatlich sehr unterschiedlich und zeitlich nicht stabil sind (Schönwiese und Janoschitz 2005). Pauschale Aussagen sind deshalb nicht möglich. Vielmehr muss der Umfang der Klimaänderungen je nach Ort, Jahreszeit und Zeitintervall differenziert erfasst werden. Dies belegen die Darstellungen in Abb. 2.22, die den linearen Trend der mittleren jährlichen Sonnenscheindauer in Deutschland zeigen, deutlich. Während in der Metropolregion Hamburg im Bezugszeitraum 1951–2000 nur eine geringe Abnahme der Sonnenscheindauer zu finden ist, ist im Zeitraum 1971–2000 ein verstärkter negativer Trend

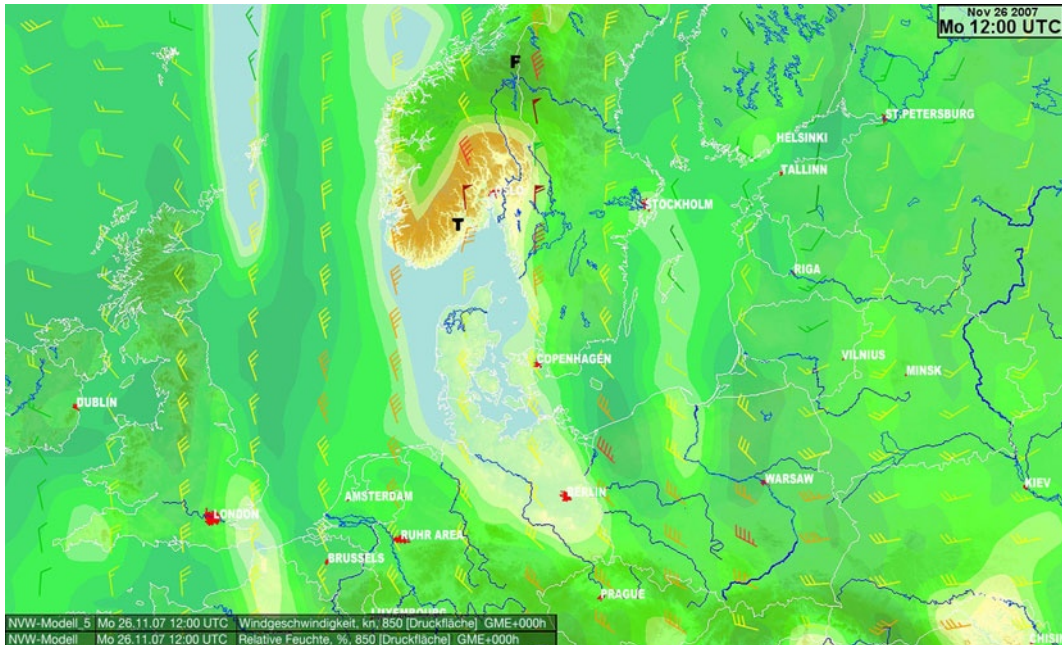


Abb. 2.21 Leeeffekt der Skandinavischen Gebirge am 26.11.2007, Windfahnen (in Dekaknoten) und relative Luftfeuchtigkeit (in Prozent) im 850 hPa-Niveau (Lefebvre und Rosenhagen 2008)

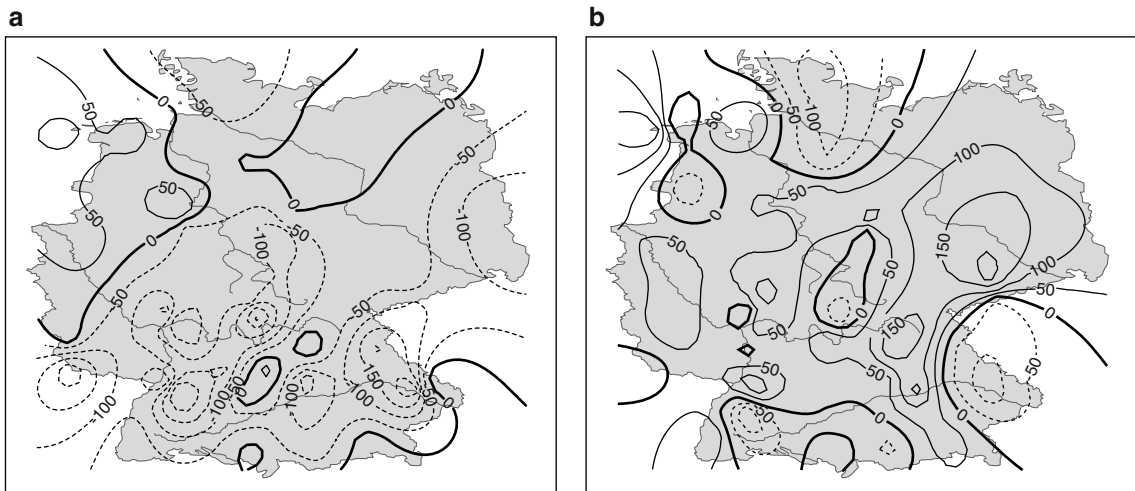


Abb. 2.22 Linearer Trend der Sonnenscheindauer (in Stunden) im Zeitraum 1951–2000 (a) und 1971–2000 (b) nach Schönwiese und Janoschitz (2005)

festzustellen. Lediglich an der niedersächsischen Nordseeküste nahm im jüngeren, kürzeren Zeitraum die Sonnenscheindauer zu. Alle Trends sind jedoch statistisch nicht signifikant.

Auch die Messwerte der Jahressummen der Sonnenscheindauer am Flughafen Hamburg-Fuhlsbüttel im Zeitraum 1951 bis 2007 weisen keinen Trend auf

(Abb. 2.23), was mit den Ergebnissen von Schönwiese und Janowitz (2005) übereinstimmt. Riecke und Rosenhagen (2010) fanden bei der jahreszeitlichen Betrachtung derselben Messreihe für Winter und Frühling eine leichte Zunahme der Sonnenscheindauer, für den Sommer und Herbst dagegen eine geringe Abnahme.

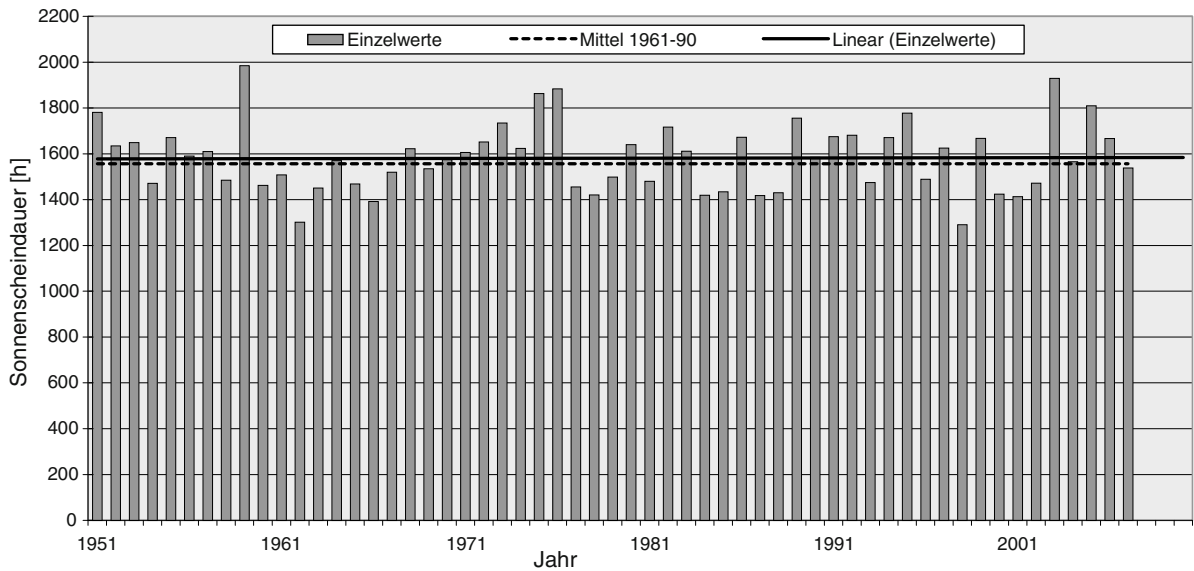


Abb. 2.23 Jahressummen der Sonnenscheindauer an der Station Hamburg-Fuhlsbüttel im Zeitraum 1951 bis 2007 (nach Riecke und Rosenhagen 2010)

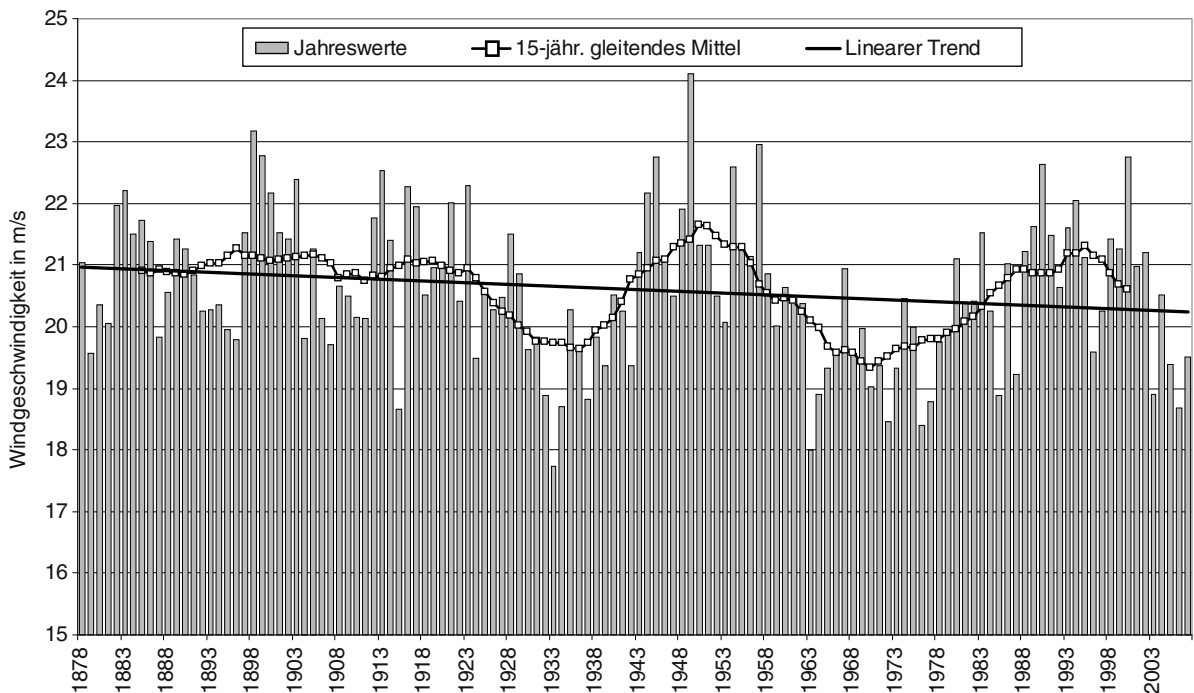


Abb. 2.24 Jahreswerte des 90 %-Perzentils der Geschwindigkeit des geostrophischen Windes für die Deutsche Bucht zwischen 1878 und 2007 (Rosenhagen 2008)

2.2.8 Extremereignisse

Die Definitionen von extremen Wetterereignissen sind uneinheitlich. Oft spricht man in Zusammenhang

mit Einzelereignissen wie z.B. einem Sturm oder Starkniederschlag davon, die relativ selten auftreten, jedoch hohen Schaden anrichten (Schönwiese 2007). Dies lässt sich auch auf eine Jahreszeit, z.B. einen

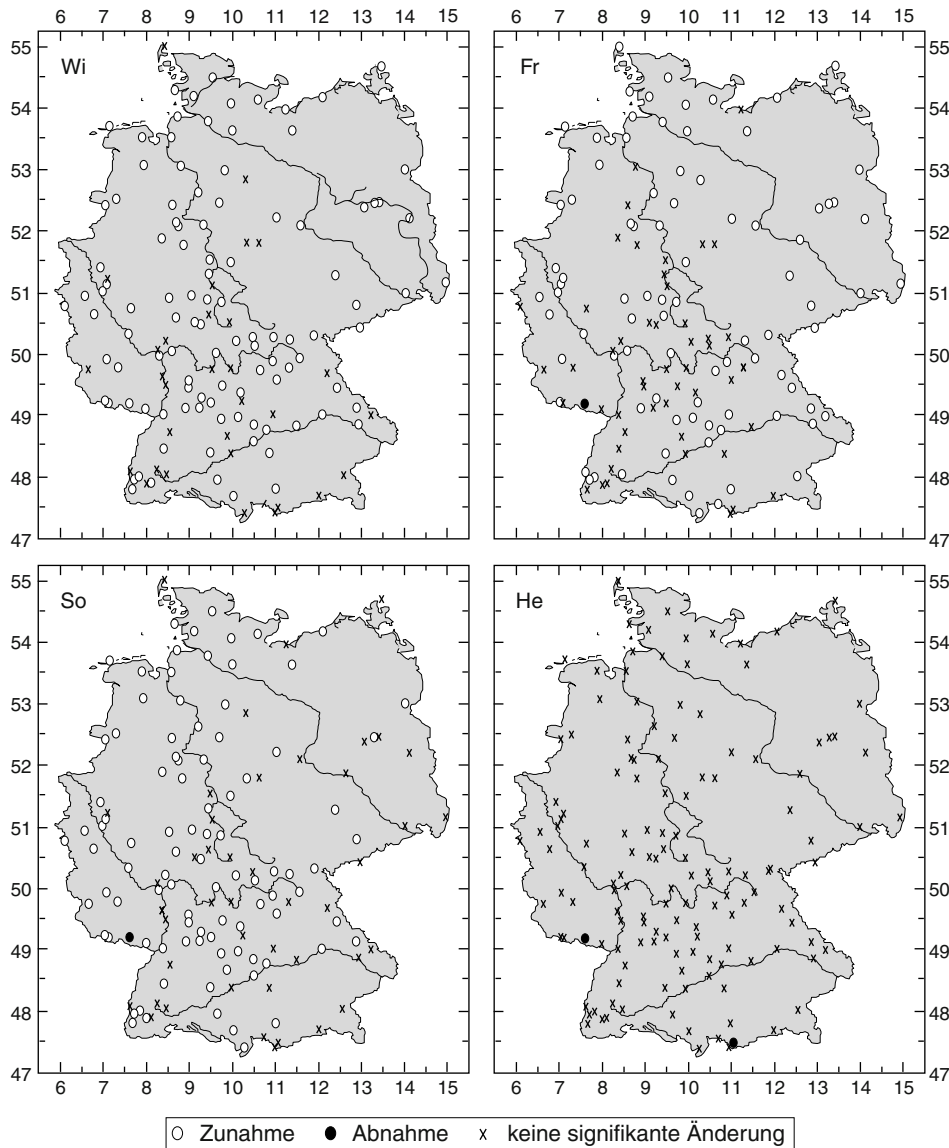


Abb. 2.25 Saisonale Trends 1951–2000 der Überschreitungswahrscheinlichkeit der 90 %-Perzentilschwelle der Temperatur an 141 deutschen Stationen (Jonas et al. 2005)

besonders heißen und trockenen Sommer, oder eine Anzahl von besonderen Jahren ausdehnen. In der statistisch-klimatologischen Betrachtungsweise werden in Häufigkeitsverteilungen der Messwerte von Temperatur, Niederschlag, Wind usw. solche Werte als extrem bezeichnet, die oberhalb bzw. unterhalb bestimmter Schwellen liegen. Gelingt es, die zeitliche Änderung solcher Verteilungen zu erfassen, sind Aussagen darüber möglich, ob Extremwerte häufiger bzw. intensiver werden.

Die Beurteilung des Trendverhaltens der geringen Anzahl von Extremereignissen ist schon wegen ihres räumlich und zeitlich oft sehr uneinheitlichen Auftretens problematischer als die von Mittelwerten (siehe Jonas et al. 2005, Schönwiese et al. 2006, Trömel 2005). Andererseits ist das Interesse an diesen oft folgenreichen Ereignissen besonders groß.

Die statistische Analyse der außertropischen Stürme bezüglich Häufigkeit und Stärke zeigt, anders als vielfach angenommen und in den Medien publiziert,

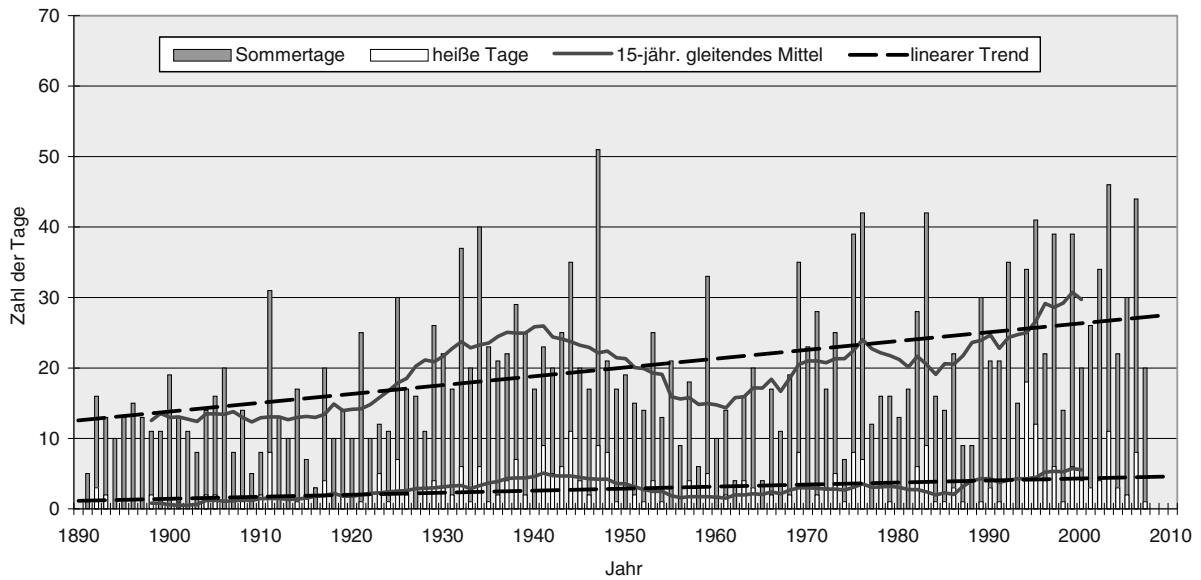


Abb. 2.26 Jährliche Anzahl der Sommertage und der heißen Tage in Hamburg-Fuhlsbüttel im Zeitraum 1891–2007, nach Riecke und Rosenhagen (2010)

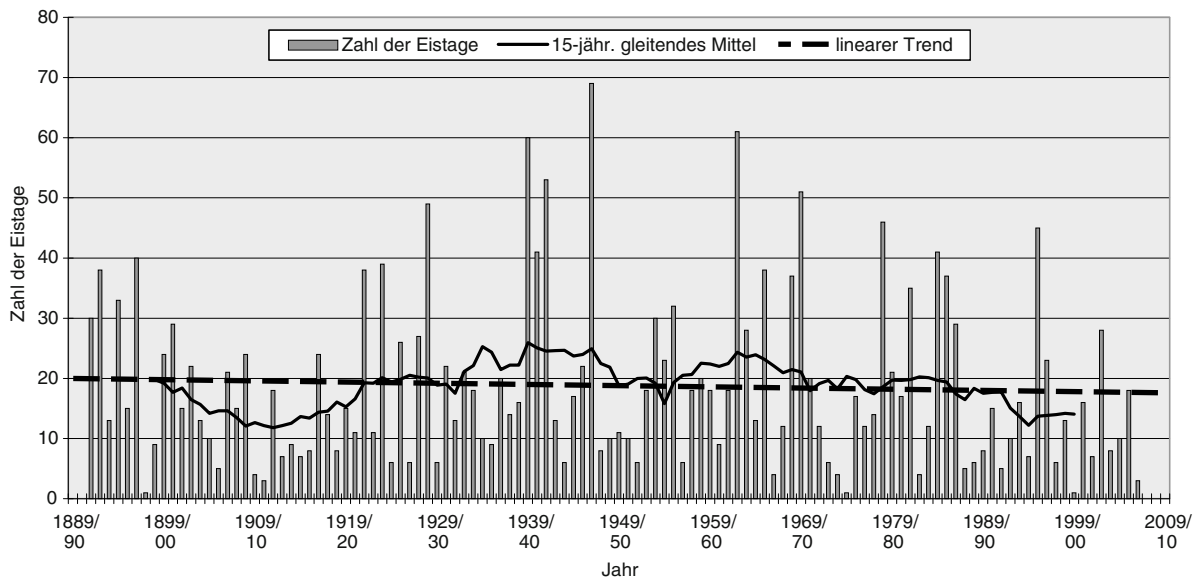


Abb. 2.27 Jährliche Anzahl der Eistage in Hamburg-Fuhlsbüttel im Zeitraum 1891–2007, nach Riecke und Rosenhagen (2010)

insgesamt eher eine leichte Abnahme der hohen Windgeschwindigkeiten (Rosenhagen 2008) (Abb. 2.24). Dieses Ergebnis stimmt mit denen zahlreicher anderer Untersuchungen überein (Alexandersson et al. 2000, Smits et al. 2005, von Storch et al. 1993, Alexandersson et al. 1998, Weisse et al. 2005). Auch der IPCC (Houghton et al. 2001) stellt fest, dass eindeutige und systematische Trends im Auftreten von außertropi-

schen Stürmen, Orkanen u. Ä. im 20. Jahrhundert nicht erkennbar sind.

Eine jahreszeitliche Untersuchung der Überschreitungswahrscheinlichkeiten von Tagesmaxima der Lufttemperatur (dargestellt durch das 90 %-Perzentil der Tageswerte) im Zeitraum 1951 bis 2000 für 141 Stationen in Deutschland (Jonas et al. 2005) ergab auch für die Metropolregion in allen Jahreszeiten mit Ausnah-

me des Herbstes eine signifikante Zunahme höherer Temperaturen (Abb. 2.25). Die Unterschreitungswahrscheinlichkeiten wiesen dagegen außer im Frühjahr, wo sie abnehmen, nur selten signifikante Trends auf.

Klein Tank und Können (2003) untersuchten die täglichen Beobachtungswerte von 100 europäischen Stationen im Zeitraum 1946 bis 1999 hinsichtlich Extremwerten der Temperatur. Für den Gesamtzeitraum ergaben sich gemittelt über alle Stationen keine Asymmetrien in der Verteilung der Temperaturextreme.

Riecke und Rosenhagen (2010) führten eine Auswertung der jährlichen Anzahlen der Sommertage (Temperaturmaximum $>25^{\circ}\text{C}$) und der heißen Tage (Temperaturmaximum $>30^{\circ}\text{C}$) für Hamburg-Fuhlsbüttel im Zeitraum 1891–2007 durch und bestätigten insbesondere bei den Sommertagen einen deutlichen positiven Trend (Abb. 2.27). Die entsprechende Auswertung der Eistage (Temperaturmaximum $<0^{\circ}\text{C}$) wies dagegen einen abnehmenden Trend auf (Abb. 2.28). Die Ergebnisse entsprechen den bei

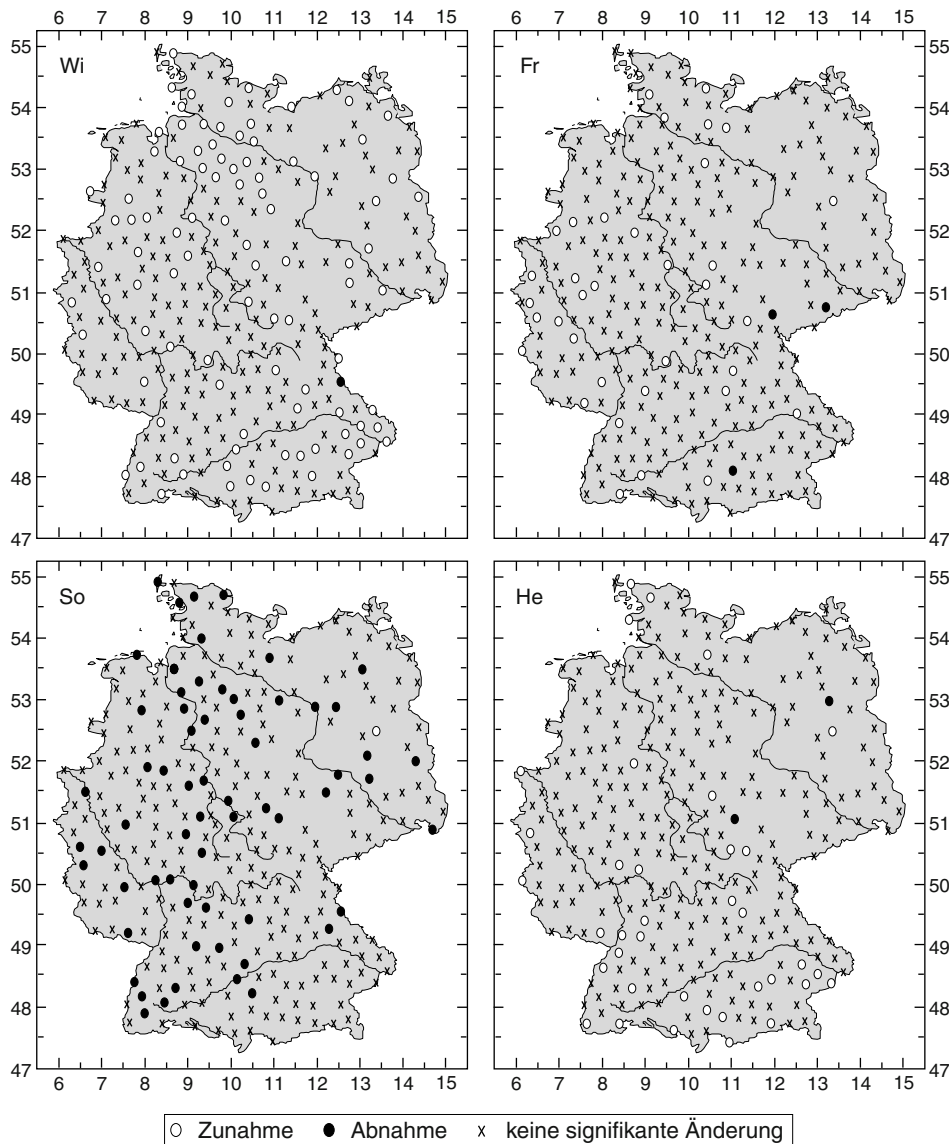


Abb. 2.28 Saisonale Trends 1951–2000 der Überschreitungswahrscheinlichkeit der 90 %-Perzentilschwelle des Niederschlags an 301 deutschen Stationen (Jonas et al. 2005)

Zunahme der Mitteltemperatur bestehenden Erwartungen. Die Auszählung der Kennzahlen ist bis nach Ende des 2. Weltkriegs aufgrund der bereits angesprochenen Unsicherheiten bezüglich der Datenhomogenität jedoch quantitativ unsicher (siehe Abschn. 2.2.1).

Die statistische Bewertung des Trends von extremen Niederschlagsereignissen ist wegen der zeitlich und räumlich großen Variabilität noch schwieriger als die der Temperaturextreme. Jonas et al. (2005) führten entsprechend zur Temperatur (Abb. 2.26) für den Zeitraum 1951 bis 2000 eine Auswertung der täglichen Niederschlagsdaten von 301 Stationen durch (Abb. 2.28) und werteten die Überschreitungswahrscheinlichkeiten der 90 %-Perzentile aus. Sie ergab für die Metropolregion im Winter verbreitet positive, im Sommer eher negative und in den Übergangsjahreszeiten insignifikante Trends.

Riecke und Rosenhagen (2010) untersuchten die Veränderung großer Niederschlagstageshöhen im Zeitraum 1891 bis 2007 an der Station Hamburg-Fuhlsbüttel und fanden für die jährlichen Anzahlen der Tage mit Niederschlägen von 20 mm und mehr eine geringe Zunahme (Abb. 2.29). Auch hier muss auf die Unsicherheit des Ergebnisses aufgrund der unzureichenden Datenhomogenität hingewiesen werden.

Die Untersuchung der starken Niederschläge mit Tagessummen von mehr als 10 mm von Schlünzen

et al. (2009/a) für die 30-jährigen Perioden 1948–1977 und 1978–2007 an neun Stationen im Raum Hamburg ergab für alle Stationen ebenfalls eine zunehmende Tendenz für Tage mit stärkerem Niederschlag.

Klein Tank und Können (2003) untersuchten die täglichen Beobachtungswerte im Zeitraum 1946 bis 1999 von 100 europäischen Stationen auch hinsichtlich Extremwerten des Niederschlags. Für Stationen mit zunehmenden Jahressummen des Niederschlags, und hierzu gehört auch Hamburg, ergab sich ein positiver, allerdings nicht signifikanter Trend der sehr nassen Tage.

Hoffmann (2009), der die Tageswerte des Niederschlags der Hamburger Reihe seit 1890 untersuchte, fand heraus, dass sich die Niederschlagszunahme unterschiedlich auf die Niederschlagsereignisse verteilt. Tage mit schwächeren Niederschlägen sind im Mittel in der Metropolregion etwas seltener geworden (Abnahme um ca. 6 %), wohingegen Niederschlagstage mit mehr als 10 mm um ca. 24 % zugenommen haben. Da sich die Anzahl der Niederschlagstage kaum verändert hat, kann davon ausgegangen werden, dass die Niederschlagszunahme vor allem auf die Zunahme von Tagen mit stärkeren Niederschlägen zurückzuführen ist. Die Trends für die Starkniederschlagsindizes sind jedoch ebenfalls nicht signifikant. Der Schwellenwert für Starkniederschlag und damit für die Berech-

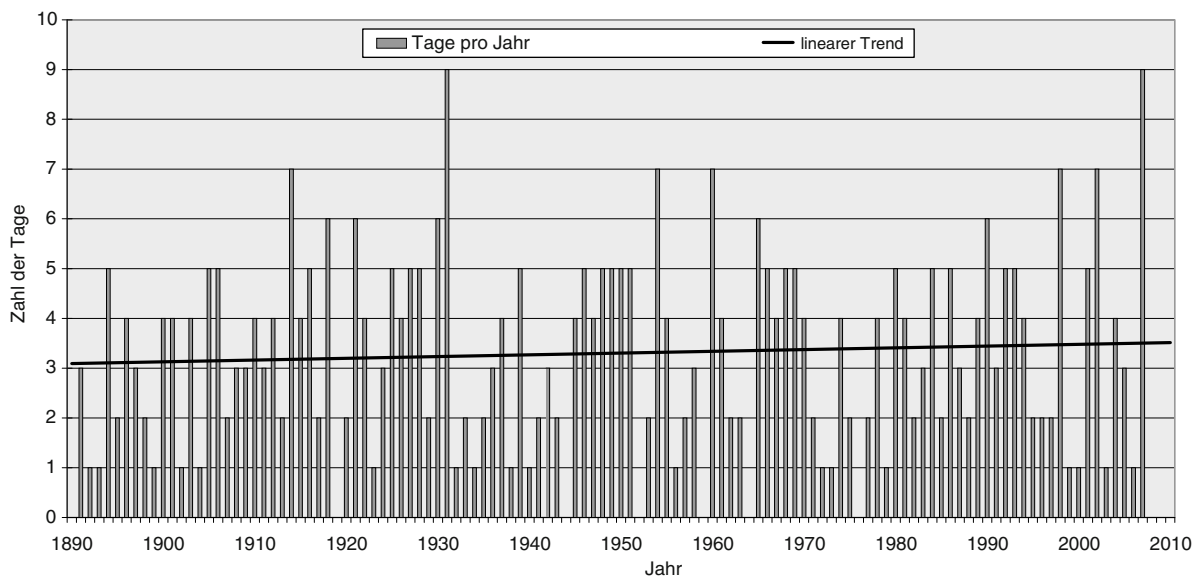


Abb. 2.29 Jährliche Anzahl der Tage mit Niederschlag >20 mm in Hamburg-Fuhlsbüttel im Zeitraum 1891–2007, nach Riecke und Rosenhagen (2010)

nungen der Indizes liegt in Hamburg bei 15,9 mm Niederschlag pro Tag (95 %-Perzentil). Für die Metropolregion liegen sonst keine speziellen Untersuchungsergebnisse zum beobachteten Trend z. B. von Hitze- und Trockenperioden oder Starkniederschlägen vor.

2.3 Das Stadtklima von Hamburg

Während im Abschn. 2.2 das Klima und seine Variabilität innerhalb der Metropolregion beschrieben wurden, konzentriert sich Abschn. 2.3 auf die klimatischen Unterschiede innerhalb der Stadt Hamburg.

Als Stadtklima bezeichnet man das gegenüber dem Umland modifizierte Klima von Städten und Industrieballungsräumen. Verursacht wird es durch die Art und Dichte der Bebauung, das Wärmespeichervermögen der Baustoffe, die Versiegelung des Bodens, das Fehlen der Vegetation, durch einen veränderten Wasserhaushalt und durch die vermehrte Emission von Abgasen, Aerosolen und Abwärme. Wechselseitig bedingt ergeben sich daraus markante Phänomene, wie die Entstehung einer Wärmeinsel, erhöhte Lufttrübung, reduzierte Windgeschwindigkeit und relative Feuchte, vermehrte Niederschläge im Lee der Stadt und verminderte UV-Einstrahlung (Schirmer et al. 1987).

Die Ausprägung der stadtklimatischen Effekte ist abhängig von der speziellen Situation im jeweiligen Ballungszentrum und so quantitativ unterschiedlich. Der „Stadteffekt“ von Hamburg wurde im Gegensatz zu anderen deutschen Städten, wie z. B. Stuttgart oder Freiburg (z. B. Baumüller et al. 1998, Landeshauptstadt Stuttgart, 2008) nur wenig untersucht. Das Gebiet

ist relativ eben, die Stadt ausgesprochen „grün“ und die Meeresnähe sorgt für eine vergleichsweise gute Durchmischung der Luft. Entsprechend gering ist der Umfang der diesbezüglichen Literatur.

Reidat (1971a) führte erste Studien zum Einfluss der Stadt auf die Lufttemperatur auf Grundlage der Messwerte der Stationen St. Pauli und Fuhlsbüttel im Zeitraum 1931 bis 1960 durch (die Lage der Stationen kann Abb. 2.35 entnommen werden, 1 = Fuhlsbüttel, 4 = St. Pauli). Damals betrug die Differenz der Tagesmitteltemperaturen beider Stationen im Januar 0,6 °C und im Juli 1,0 °C. Im Januar ist zwischen 11 und 14 Uhr St. Pauli nur um 0,3 °C wärmer als Fuhlsbüttel. Nach Sonnenuntergang kühlt die Umgebung der Stadt rascher aus, so dass die Temperaturdifferenz bis 23 Uhr auf 0,8 °C anwächst. Im Juli ist die Innenstadt zwischen 7 und 15 Uhr ebenfalls um 0,3 °C wärmer als der Stadtrand im Norden. In den Nachmittagsstunden erfolgt der Temperaturrückgang in der Stadt langsamer als im freien Gelände. Die Differenz beider Stationen steigt bei Sonnenuntergang auf 1 °C an und erreicht kurz vor Mitternacht sogar 2 °C.

Welchen Einfluss die Ventilation innerhalb der Stadt auf den Temperaturunterschied gegenüber dem Umland hat, verdeutlicht ein Vergleich des täglichen Ganges des Temperaturunterschiedes zwischen der Innenstadtstation St. Pauli und der am nördlichen Stadtrand in freiem Gelände gelegenen Station am Flughafen Fuhlsbüttel in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit (siehe Abb. 2.30).

Das nächtliche Maximum der Temperaturdifferenz fällt zusammen mit einem Minimum der Windgeschwindigkeit. Nach Sonnenaufgang nimmt der Wind im Mittel allmählich zu und wächst auf 5 m/s an. Gleichzeitig geht die Temperaturdifferenz Innenstadt-

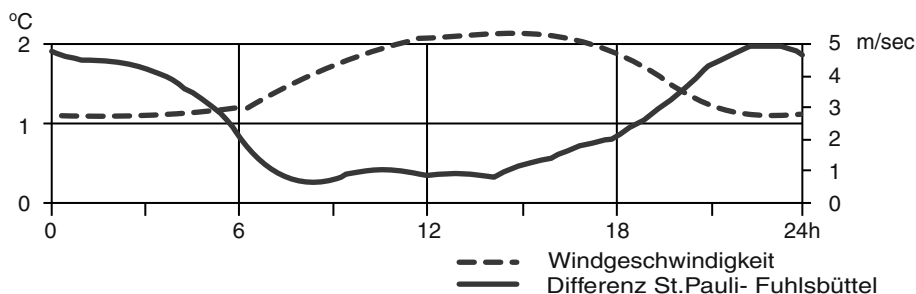
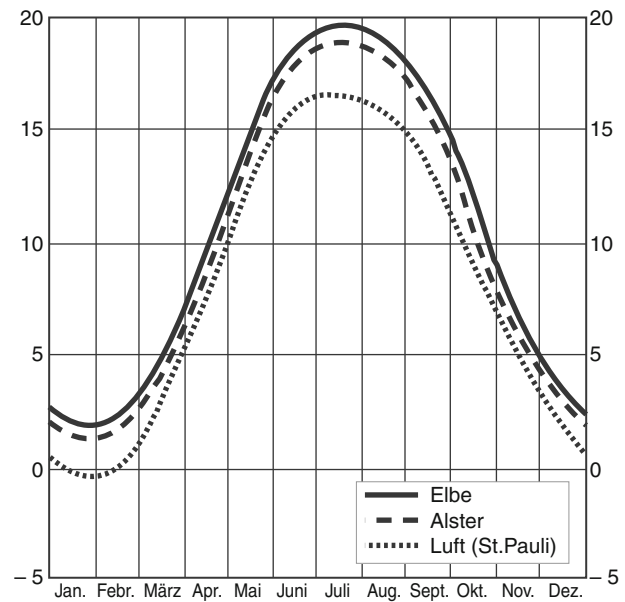


Abb. 2.30 Tagesgang des Temperaturunterschiedes zwischen St. Pauli und Fuhlsbüttel sowie der Windgeschwindigkeit in Fuhlsbüttel im Juli (Reidat 1971a)

Abb. 2.31 Jahresgang der Temperatur von Elbe, Alster und Luft in °C, Bezugszeitraum 1951–1965 (Reidat 1971/a)



Außenbezirk auf 0,5 °C zurück. Sie wächst erst wieder an, wenn in den späten Nachmittagsstunden der Wind abnimmt.

Einen nicht zu vernachlässigenden ausgleichenden Einfluss auf die Temperaturverhältnisse in Hamburg haben die Wasserflächen von Elbe und Alster. Abbildung 2.31 zeigt die Jahresgänge der Wassertemperatur der beiden Flüsse im Vergleich zur Lufttemperatur der Station St. Pauli. Die mittleren Wassertemperaturen liegen ganzjährig über der mittleren Lufttemperatur von St. Pauli. Im Jahresmittel ist die Elbe 2,2 °C und die Alster 1,5 °C wärmer als die Luft. An der Elbe erreicht die Differenz der Mitteltemperaturen von Wasser und Luft im März mit 0,7 °C ihren geringsten Wert. Sie wächst in den Monaten Juni bis September auf 3 °C an. Das gilt jedoch nur für die Tagesmittelwerte. Während die Tagesamplitude der Elbtemperatur im Sommer nur wenige Zehntelgrad beträgt, wächst sie bei der Lufttemperatur im Juli auf 8 °C an.

Schlünzen et al. (2009/a) untersuchten den Wärmeinseleffekt der Stadt Hamburg auf Grundlage von Messwerten aus dem Zeitraum 1988 bis 1997 von sechs innerstädtischen Stationen, die sie mit Werten von Grambek verglichen. (Die Lage der Stationen kann Abb. 2.34 entnommen werden.) Grambek, mit weniger als 500 Einwohnern, liegt in rein ländlicher Umgebung etwa 43 km östlich von Hamburg, weshalb es als von der Stadt unbeeinflusste ländliche Referenzstation verwendet wurde. Mit 1,1 °C ergab sich für die Station

St. Pauli die größte Differenz bei den Jahresmitteltemperaturen (siehe Abb. 2.32). Das entspricht dem Wert von London mit gegenüber Hamburg 4-facher Einwohnerzahl und doppelter Ausdehnung (Watkins et al. 2002). Die Differenzen der übrigen Stationen in weniger dicht bebauten Stadtteilen mit größerem Grünanteil lagen bei 0,5 °C. Die entsprechende Untersuchung der Tagesextreme im Jahresgang ergab für alle Monate für die Minimumtemperatur größere Unterschiede als für

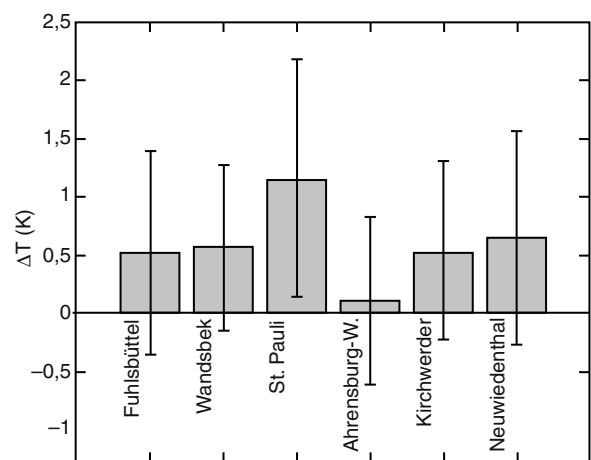


Abb. 2.32 Höhenkorrigierte Differenzen der Jahresmitteltemperaturen zwischen sechs Stationen im Raum Hamburg und der Umlandstation Grambek (Mittel und Standardabweichungen) im Zeitraum 1988–1997 (Schlünzen et al. 2009/a)

Abb. 2.33 Mittlere monatliche höhenkorrigierte Differenzen für das Tagesmaximum der Temperatur zwischen sechs Stationen im Raum Hamburg und der Umlandstation Grambek im Zeitraum 1988–1997 (Schlünzen et al. 2009/a)

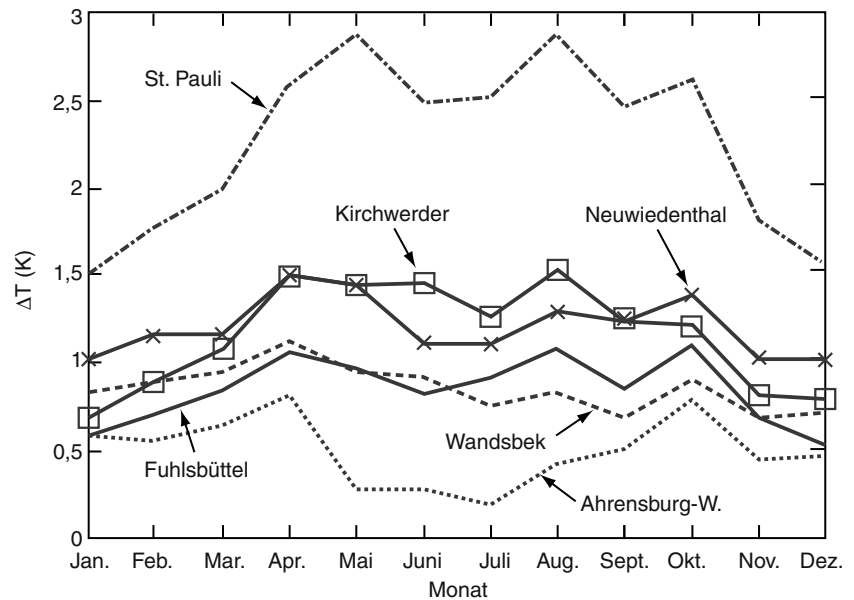
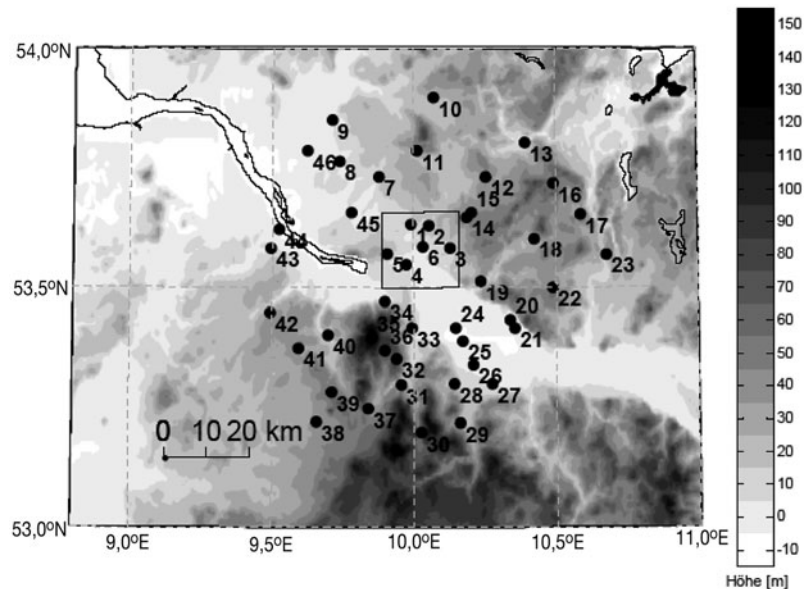


Abb. 2.34 Lage der 46 von Hoffmann (2009) ausgewerteten Stationen des DWD im Raum Hamburg. Das innere Quadrat umschließt die Stationen mit dichter urbaner Bebauung



die Maximumtemperatur. Das entspricht der Theorie der städtischen Wärmeinsel, da am Tage die dicht bebaute Stadt Wärme speichert, die in der Nacht allmählich wieder abgegeben wird. Dieser Effekt weist einen deutlichen Jahresgang auf (siehe Abb. 2.33) und ist zwischen Mai und Oktober mit bis zu 3 °C am größten. Im Winter liegt, wohl als Folge anthropogener Abwärmequellen, die Differenz Stadt-Land der Maximumtemperatur noch bei 0,5 °C, die der Minimumtemperatur sogar bei mehr als 1,5 °C.

Eine Untersuchung des Wärmeinseleffekts in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit ergab wie bei der Arbeit von Reidat einen inversen Zusammenhang: Je geringer die Windgeschwindigkeit, desto größer der Temperaturunterschied Stadt/Umland. Bei Windgeschwindigkeiten über 6 m/s war es an der Station St. Pauli weniger als 0,6 °C wärmer als in Grambek, während bei Schwachwind mit Tagesmitteln der Windgeschwindigkeit von weniger als 1,5 m/s die mittlere Differenz 2,2 °C betrug.

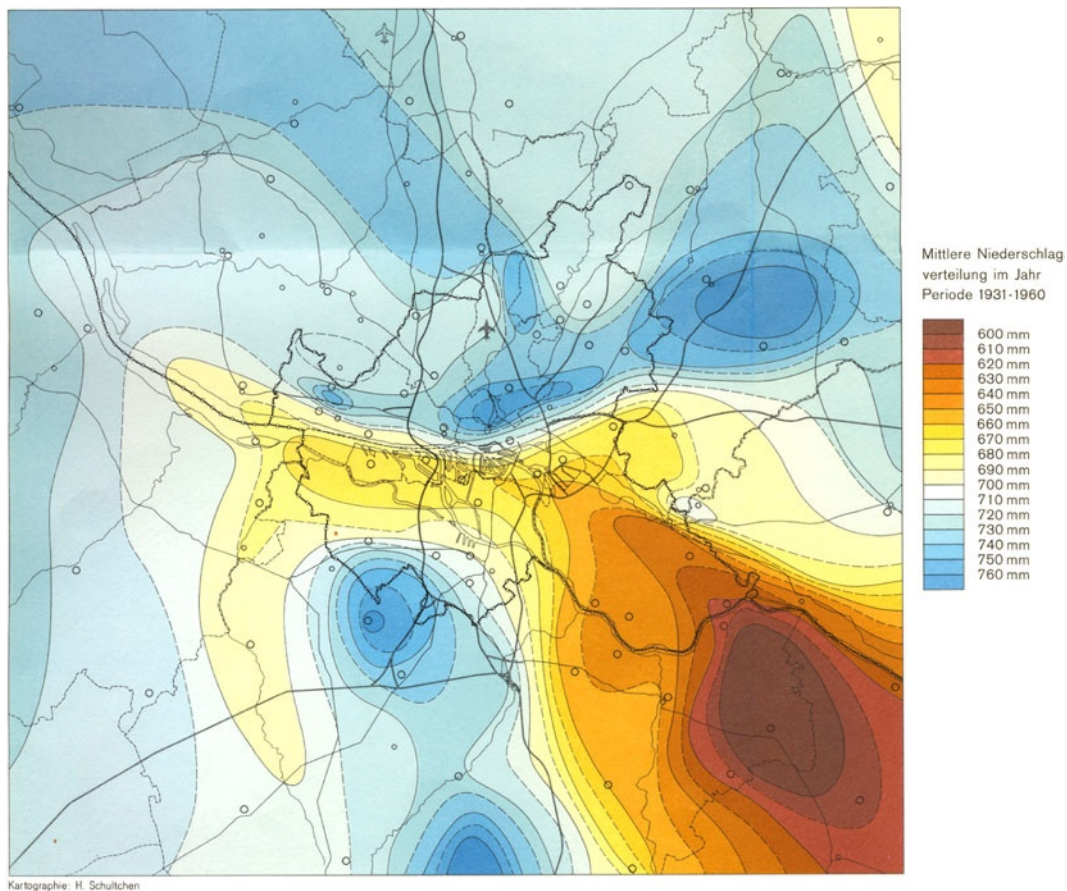


Abb. 2.35 Mittlere jährliche Niederschlagsverteilung im Raum Hamburg im Zeitraum 1931–1960 (Reidat 1971a)

Bei der Niederschlagsverteilung wirken sich die orographischen Verhältnisse sowie der Einfluss der Stadt aus. Reidat (1971a) analysierte auf der Grundlage der Messwerte aller verfügbaren Stationen des Deutschen Wetterdienstes die Niederschlagsverhältnisse im Raum Hamburg für die Bezugsperiode 1931–1960 und fand im Stadtgebiet erhebliche Unterschiede (siehe Abb. 2.36). So befindet sich im Südosten in der Winsener Marsch ein Trockengebiet, von dem sich ein Ausläufer durch das Elbtal bis ins Alte Land erstreckt. Da in Nordwestdeutschland überwiegend bei südwestlichen Luftströmungen Niederschlag fällt, kommt es zu Steigungsregen durch Hebung an den Moränenzügen südlich der Elbe sowie an den Elbhöhen bei Bergedorf und zwischen Altona und Wedel. Im Lee dieser Höhenrücken geht die Niederschlagsmenge zurück. Über der Stadt verstärkt sich der Niederschlag. Es bildet sich hier ein weiteres Niederschlagszen-

trum, das sich seewärts der Hauptwindrichtung nach Nordosten ausweitet.

Reidat (1971b) analysierte ferner auf der Grundlage der Messwerte von 90 Stationen im Raum Hamburg im Zeitraum 1954–1967 den Einfluss der Stadt auf die Niederschlagsverteilung bei starken Regenfällen mit Tagesmengen von 20 mm und mehr (Abb. 2.36). Er fand dabei eine im Vergleich zur mittleren Niederschlagsverteilung deutlich abweichende Verteilung mit einem Häufigkeitsmaximum in dem nördlich der Elbe gelegenen Stadtzentrum sowie in den nordöstlich an die Außenalster angrenzenden Vororten Winterhude und Barmbek. Auch in der Elbniederung, die bei den mittleren Niederschlagshöhen die geringsten Werte aufweist, erreicht die Zahl der Tage mit Starkniederschlägen von mehr als 20 mm noch bis zu 40. Von den insgesamt mehr als 100 Tagen mit Niederschlag von 20 mm und mehr waren 59 Gewittertage. Orographisch



Abb. 2.36 Zahl der Tage mit 20 mm Niederschlag und mehr im Raum Hamburg im Zeitraum 1954–1967 nach Reidat (1971/b)

bedingte Niederschläge treten an den Gewittertagen an den Harburger Bergen, die auf der Niederschlagsjahreskarte ein Niederschlagsmaximum aufweisen, nicht besonders in Erscheinung.

Friesland (1975) untersuchte die Niederschlagsverteilung im Einflussbereich von Hamburg und stellte in Abhängigkeit von der Anströmungsrichtung im Umkreis von 20 km vom Stadtrand leeseitige Niederschlagserhöhungen um 5 % fest. Schlünzen et al. (2009/a) fanden bei südlichen und nördlichen Windrichtungen deutliche städtische Niederschlagseffekte mit maximalen Verstärkungen im Abstand von 30 bis 40 km von der Innenstadt. Im Norden und Südosten der Stadt wurden signifikante Zunahmen von 5 bis 20 % der Tagessummen des Niederschlags festgestellt.

Literatur zur Veränderung des Wärmeinseleffektes oder der Niederschlagsverteilung im Verlauf der letzten Jahrzehnte existiert nicht. Die vorhandene Datenbasis ist für derartige Aussagen auch unzureichend. Innerhalb des Projektes KLIMZUG-Nord

sind hierzu jedoch modellgestützte Untersuchungen geplant.

2.4 Zusammenfassung

Die erste Beschreibung des Klimas von Hamburg auf der Grundlage längerer, allerdings unbekannter Beobachtungsreihen erfolgte 1928 durch Perlewitz. Frühere Veröffentlichungen bezogen sich fast ausschließlich auf Schilderungen besonderer Wetterereignisse wie strenge Winter, schwere Stürme und Schneefälle, oder auf Untersuchungen der Zusammenhänge von Krankheiten und Wetter. Kontinuierliche Wetterbeobachtungsreihen begannen mit Gründung der Norddeutschen Seewarte 1867.

Die ersten Veröffentlichungen zu stadtklimatischen Effekten auf Grundlage einer umfangreichen Datenbasis stammen von Reidat (1953 und 1971). Eine wich-

tige Quelle ist zudem der Bericht des Deutschen Wetterdienstes von Cappel und Kalb, der 1976 erschien. Er beinhaltet eine Vielzahl statistischer Auswertungen des Datenmaterials der Station Hamburg-Fuhlsbüttel, basierend auf dem Zeitraum 1931 bis 1970. Eine überarbeitete, erweiterte Version dieses Berichts, die auch andere Stationen der Metropolregion und Beobachtungsreihen bis zum Jahr 2000 umfasst, wurde von Riecke und Rosenhagen bearbeitet. Die einzige nicht „graue“, peer-reviewte Veröffentlichung zum Klima von Hamburg und seiner Veränderung sowie zu stadtklimatischen Effekten von Schlünzen et al. erschien 2009 (Schlünzen et al. 2009/a).

Das Klima der Metropolregion wird wesentlich durch die Nähe von Nord- und Ostsee geprägt. Entsprechend dominieren maritime Wettereinflüsse, doch setzen sich bei östlichen Winden auch kontinentale Luftmassen durch. Typisch sind relativ milde Winter und meist nur mäßig warme Sommer bei wechselhaftem Wettercharakter. Innerhalb der Metropolregion ist von West nach Ost und von den Küsten zum Binnenland eine fortschreitende Kontinentalität zu beobachten. Sie zeigt sich durch eine Zunahme der Temperaturschwankungen, sowohl im Tagesgang als auch im Jahresgang, und im Mittel abnehmende Niederschlagssummen und Windgeschwindigkeiten.

Das Klima der Stadt Hamburg ist durch die dichte Bebauung, starke Bodenversiegelung, geringere Vegetation und erhöhte Emissionen im Vergleich zum Um-

land modifiziert. Trotz der relativ guten Luftdurchmischung durch die Meeresnähe und einem großen Grün- und Wasserflächenanteil ist der Stadteffekt deutlich ausgeprägt. Der Wärmeinseleffekt, das ist der Temperaturunterschied zwischen Innenstadt und Außenbezirken, beträgt im Jahresmittel mehr als 1 °C. Er ist erwartungsgemäß nachts größer als am Tage und zwischen Mai und Oktober mit mittleren Unterschieden von bis zu 3 °C am größten. Auch die für Großstädte typische Niederschlagserhöhung wurde mit Werten von 5 % bis zu 20 % im Abstand von ca. 30 km im Lee der Innenstadt nachgewiesen.

Die Beobachtungswerte zeigen seit Beginn der Messreihen Ende des 19. Jahrhunderts systematische Veränderungen. Am deutlichsten ist die Änderung bei der Temperatur, deren Jahresmittel seit 1901 etwa um 1 °C zugenommen hat. Dabei hat sich der positive Trend in den letzten drei Jahrzehnten verstärkt. Die Temperaturzunahme war im Sommer am geringsten, im Winter am größten. Der Niederschlag weist im gleichen Zeitraum insgesamt ebenfalls zunehmende Tendenz auf. Die mittlere Zunahme lag bei 8 mm pro Dekade, was etwa 0,1 % der mittleren Jahressumme entspricht. Dabei fand im Sommer sogar eine geringe Abnahme statt, während die anderen Jahreszeiten – vor allem der Herbst – eine Zunahme verzeichneten. Anders als oft behauptet wurde jedoch weder bei der mittleren Windgeschwindigkeit noch bei den Stürmen ein Langzeittrend festgestellt.

Klimabericht für die Metropolregion Hamburg

von Storch, H.; Claussen, M. (Hrsg.)

2011, X, 300 S., Hardcover

ISBN: 978-3-642-16034-9