



Untersuchung

zur Entwicklung der Anzahl der Sommertage und der Tropennächte in der Freien Hansestadt Bremen von 1971 bis 2100

Auftraggeber: Freie Hansestadt Bremen
Senator für Umwelt, Bau und Verkehr
Ansgaritorstraße 2
28195 Bremen

Wissenschaftliche Bearbeitung: Dipl.-Met. Wolfgang Riecke

Hamburg, 23. April 2013

Dipl.-Met. Wolfgang Riecke
Leiter des Regionalen Klimabüros
Hamburg

Diese Untersuchung ist urheberrechtlich geschützt, außerhalb der mit dem Auftraggeber vertraglich vereinbarten Nutzungsrechte ist seine Vervielfältigung oder Weitergabe an Dritte sowie die Mitteilung seines Inhaltes, auch auszugsweise, nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung des Deutschen Wetterdienstes gestattet.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2	Lage der Stadt Bremen	4
3	Verwendete Unterlagen.....	4
4	Klimatologische Zeitreihe der Lufttemperatur der Wetterwarte Bremen-Flughafen.	6
5	Die städtische Wärmeinsel	7
6	Die Profilmessfahrten am 18. und 19.08.2012	9
7	Entwicklung der Sommertage	13
8	Entwicklung der Tropennächte	15
9	Zukünftige Entwicklung der Sommertage und der Tropennächte bis 2100	16
10	Fazit.....	18
11	Literatur.....	21
12	Tabellenverzeichnis	22
13	Abbildungsverzeichnis	23

1 Einleitung

Das Klima einer Stadt unterscheidet sich merklich von dem des freien ländlichen Umfeldes. (Landsberg, 1981; Kuttler, 2009; Schlünzen et al., 2010). In diesem Zusammenhang ist u.a. die Bildung einer städtischen Wärmeinsel bekannt, die durch die dichte Bebauung und den gegenüber dem Umland geänderten Energieumsatz von Verkehr, Wirtschaft und Haushalten verursacht wird. Im Jahresmittel ergeben sich für deutsche Städte mit etwa 0,5 K bis 2,0 K deutlich höhere Temperaturwerte im Vergleich zur ländlichen Region. Diese Unterschiede Stadt-Land prägen sich insbesondere an wolkenlosen, sonnenreichen und windschwachen Tagen aus. In Einzelfällen sind Temperaturunterschiede von mehr als 8 K möglich. Aber auch innerhalb einer Stadt ergeben sich abhängig von den Bau- und Nutzungsstrukturen unterschiedliche Ausprägungen der städtischen Wärmeinsel (Stewart et al., 2012).

Für die Stadtplanung ist es seit vielen Jahren u.a. auch Ziel diesen Wärmeinseleffekt zu mindern, um für die Bewohner ein lebenswertes, wenig Wärme belastendes Umfeld zu schaffen. Mit der Erwärmung auf Grund des bestehenden Klimawandels wird das allgemeine Temperaturniveau einer Region nochmals angehoben, wobei der relative Temperaturunterschied zwischen Stadt-Umland allerdings keine Änderung erfährt (Schlünzen, 2012; Früh, B., et al., 2011). Insgesamt werden sich also Wärme belastende Wettersituation in Andauer und Ausmaß verstärken und dabei die Situation der städtischen Wärmeinsel weiter verschärfen.

Mit Schreiben vom 29.05.2012 bittet die Freie Hansestadt Bremen, Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr, den Deutschen Wetterdienst im Rahmen des vorbeugenden Katastrophenschutz um Mitarbeit bei der Beurteilung von Wärme belastenden Wetterlagen bzw. deren zukünftige Entwicklung, um in Bezug auf besonders gefährdete Bevölkerungsgruppen gegebenenfalls geeignete Anpassungsstrategien zu entwickeln. Die nachfolgende Bearbeitung erfolgt auf der Grundlage der am 18.12.2011 zwischen dem Bundesland Bremen und dem Deutschen Wetterdienst abgeschlossenen Verwaltungsvereinbarung.

Zunächst wird auf der Grundlage historischer Messwerte die Ist-Situation zu Wärme belastenden Wetterereignissen beschrieben. Als Indikator dienen dazu die Klimakenngrößen „Sommertag“ (Tageshöchsttemperatur ≥ 25 °C) und „Tropennacht“ (Tagestiefsttemperatur ≥ 20 °C). Als weitere Rahmenbedingung wird von windschwachen Strahlungswetterlagen ausgegangen, da sich nur an solchen Tagen entsprechende Temperaturgegensätze zwischen Stadt und Umland aufbauen. Neben einer Abschätzung zu den bestehenden Verhältnissen wird auf der Basis von Klimaprojektionsdaten die Entwicklung bis 2050 bzw. 2100 beschrieben.

Wenn in den nachfolgenden Ausführungen von Wärmebelastung die Rede ist, bezieht sich die Angabe stets auf die Überschreitung eines bestimmten Schwellenwertes der Lufttemperatur (im vorliegenden Fall des Sommertages und der Tropennacht). Diese ist nicht zu verwechseln mit der Wärmebelastung im human-biometeorologischen Verständnis, die auf der Grundlage

von Wärmehaushaltsmodellen des Menschen (VDI, 2008) berechnet werden kann, wodurch der Zusammenhang zwischen Mensch und Atmosphäre objektiv, qualitativ und quantitativ erfasst wird. Dabei sind neben der Lufttemperatur ebenso wie die Windgeschwindigkeit, die Luftfeuchte und die Strahlungsgegebenheiten sowie die Aktivität und Bekleidung des Menschen zu berücksichtigen.

Von der auf dem westlich der Innenstadt bestehenden Verkehrsflughafen Bremen eingerichteten Flugwetterwarte stehen vieljährige Daten zur Beschreibung der historischen Zustandsentwicklung zur Verfügung. Diese Daten sind auf Grund der Stationslage eher einem freien Umland zuzuordnen. Um den städtischen Wärmeinseleffekt herauszuarbeiten, wird auf die Messergebnisse zweier für etwa 2 1/2 Monate (Juli bis September 2012) zusätzlich im Stadtbereich eingerichteter temporärer Klimastationen zurückgegriffen. Zur Auflösung feinerer Stadtstrukturen werden im Sommer 2012 erfolgte Profilmessfahrten durch verschiedene Bremer Stadtteile herangezogen.

2 Lage der Stadt Bremen

Die Stadt Bremen erstreckt sich in der norddeutschen Tiefebene über knapp 40 km entlang der von Südost nach Nordwest fließenden Weser (Abb. 1). Die Wesermündung in die Nordsee ist von der Bremer Innenstadt etwa 70 km nordnordwestwärts entfernt.

Naturräumlich gliedert sich das Stadtgebiet Bremens in zwei Anteile. Der überwiegende Teil von der südöstlichen Stadtgrenze bis zum von Osten her in die Weser mündenden Fluss Lesum einschließlich des Stadtzentrums ist den Wesermarschen zuzuordnen. Innerhalb dieses Naturraumes verläuft etwa entlang der Weser der vielfach sehr schmale Lesum-Achimer Dünen- und Terrassenstreifen, auf dem ein großer Teil der Bremer Besiedlung erfolgte. Dieser Streifen trennt die Hamme-Wümme-Marsch im Norden von der Bremer Wesermarsch im Süden. Die wellige Wesermünder Geest des Elbe-Weser-Dreieckes reicht von Norden her bis an die Lesum und charakterisiert den Stadtteil Bremen-Nord. Die Marschenbereiche weisen Höhen zwischen 1 m und 3 m über NN auf, der Sandstreifen örtlich bis etwas über 10 m über NN und die Wesermünder Geest im Bereich Bremens bis etwa 30 m über NN.

Die am dichtest besiedelten Bereiche Bremens erstrecken sich ausgehend der von einem Stadtgraben und der Weser umschlossenen Innenstadt nordwärts in Richtung Schwachhausen und Findorff, nordwestwärts in Richtung Walle, nach Süden zur Bremer Neustadt und in Richtung Südosten gen Ostertor-/Steintorviertel.

3 Verwendete Unterlagen

Meteorologische Messungen werden in Bremen seit Ende des 18. Jahrhunderts vorgenommen. Bereits während der 40er Jahre des vergangenen Jahrhunderts bestand die hauptamtliche Bremer Wetterstation westlich der Innenstadt im Flughafenbereich. Am

01.06.1978 wurde die Station auf ihren noch heutigen Platz (53°02'47" N, 08°47'58" E) am südlichen Rand des Flugfeldes verlegt. Zuvor lag sie im Bereich des nordöstlichen Vorplatzes der damaligen Flughafengebäude (53°03'11" N, 08°47'22" E). Für die vorliegende Fragestellung werden die täglichen in der Standardmesshöhe von 2 m über Grund (entsprechend WMO-Richtlinien) gemessenen Höchst- und Tiefsttemperaturen in Bezug auf das Erreichen eines Wertes von mindestens 25 °C (Sommertag) bzw. des Überschreitens einer nächtlichen Temperatur von 20 °C (Tropennacht) ausgewertet. Betrachtet werden Daten aus dem Zeitraum 1961 bis 2012. Die Standorte der Station nach 1971 sind in Abbildung 2 dargestellt.

Darüber hinaus wurden von der Mobilen Messeinheit des Deutschen Wetterdienstes für zweieinhalb Monate vom 17. Juli bis 30. September 2012 im Stadtgebiet zusätzlich zwei temporäre Klimastationen errichtet (Abb. 3), die zum einen die städtische Wärmeinsel aufzeichnen sollten und zum anderen nochmals ländliche Umlandgegebenheiten am östlichen Stadtrand. Die „Stadtstation“ (Abb. 4) wurde auf dem Lucie-Flechtmann-Platz westlich der Weser in der „Alten Neustadt“ aufgestellt, die „Umlandstation“ nördlich des Kuhgrabensees am Kuhgrabenweg (Abb. 5). Die Stationen zeichneten die Lufttemperatur und -feuchte in 2 m über Grund sowie den Wind in 2 m und 10 m über Grund auf.

Profilmessfahrten der Mobilen Messeinheit fanden in Bremen am 18. und 19.08.2012 statt. Sie zeigen in Abhängigkeit unterschiedlicher Stadtstrukturen eine feinere räumliche Auflösung der städtischen Temperaturverhältnisse. Es wurden Fahrten am Nachmittag (14:18 Uhr bis 16:39 MESZ), am Abend (20:50 bis 23:11 MESZ) und am frühen Morgen (03:50 bis 05:43 MESZ) durchgeführt. Die Nachmittagsfahrt repräsentiert bei windschwachen Strahlungswetterlagen etwa die Zeit der Tageshöchsttemperatur, die Morgenfahrt die des täglichen Temperaturminimums. Die Fahrten waren jeweils in zwei Abschnitte unterteilt, die beide auf dem Rathausplatz begannen bzw. endeten. Über die Wilhelm-Kaisen-Brücke führte die südliche, ca. 8 km lange Route in die Bremer Neustadt und zurück über die Bürgermeister-Smidt-Brücke wieder in die Innenstadt. Mit 23 km Länge war die Fahrtstrecke nördlich der Weser wesentlich ausgedehnter. Sie berührte das Ostertorviertel, Schwachhausen, wechselte durch den Bürgerpark nach Findorff und verlief dann in Richtung Stadtwaldsee und Universität. Zurück gen Stadtzentrum wurde Walle durchfahren. Die genauen Fahrtstrecken sind der Abbildung 6 bzw. den Tabellen 1a und 1b zu entnehmen. Ausgestattet war das Messfahrzeug (Abb. 7) mit einer Temperatur- und Feuchtesensorik in 0,5 m und 2 m über Grund sowie einem Globalstrahlungsmesser (zeichnet die Sonneneinstrahlung auf).

Als Standardbezugsperiode wird, wenn nicht anders angegeben, der Zeitraum 1971 – 2000 betrachtet, auf den sich auch die zitierten Änderungsdaten aus den Klimaprojektionsrechnungen bis 2100 beziehen.

4 Klimatologische Zeitreihe der Lufttemperatur der Wetterwarte Bremen-Flughafen

Die Region Bremen gehört zum Klimabezirk „Niedersächsisches Flachland“. Damit ist das Klima im Raum Bremen überwiegend von atlantischen Luftmassen beeinflusst, die für einen wechselhaften Witterungsverlauf sorgen. Dabei äußert sich die im Raum Bremen vorherrschende maritime Klimakomponente z. B. in der Dämpfung der jahreszeitlichen Temperaturamplitude. Die Sommer sind vergleichsweise zum Süden Deutschlands kühler und reicher an Niederschlagstagen, die Winter vergleichsweise mild. Es können sich aber auch kontinentale Klimazüge bei anhaltend antizyklonal geprägter Luftzufuhr aus östlichen Richtungen und bei mitteleuropäischen Hochdruckwetterlagen durchsetzen. Dann kommt es im Sommer zu sonnenreichem und warmem Wetter, im Winter vielfach zu Dauerfrost, der je nach Wetterlage mit geringer Bewölkung oder anhaltendem Nebel oder Hochnebel verbunden ist. Der in der norddeutschen Tiefebene vielfach anzutreffende Wind führt darüber hinaus zu einer besseren Durchlüftung der bodennahen Luftschicht, was sich in einer Minderung Wärme belastender Wettersituationen niederschlägt.

Die derzeitige Lage der hauptamtlichen Wetterstation Bremen-Flughafen am südlichen Rand des Flugfeldes repräsentiert mit den angrenzenden Freiflächen Richtung Obervieland und Stuhr ein mehr ländliches Umfeld. Vor der Stationsverlegung im Laufe des Jahres 1978 war das Stationsumfeld mehr von Bebauung und versiegelten Flächen geprägt. Für die weiteren Betrachtungen zur historischen Temperaturentwicklung stellt sich die Frage, ob diese Verlegung zu Inhomogenitäten in der Bremer Messreihe führte. Für einen Vergleich werden die Temperaturwerte der ehemaligen Klimastation Teufelsmoor herangezogen (bzw. Worswede-Hüttenbusch), die von 1965 bis 2003 den Standort etwa 24 km nördlich der Bremer Innenstadt in der Hamme-Niederung nicht wechselte.

Der Verlauf der Jahresmitteltemperaturen der Stationen Bremen und Teufelsmoor zeigt in Abbildung 8 im Vergleich von 1971 bis 2003 vor 1978 eine deutlich ausgeprägtere Temperaturdifferenz als in der Folgezeit. Werden die Jahresmittel der täglichen Minimumtemperatur betrachtet, so fällt dieser Unterschied noch weitaus markanter aus (Abb. 9). Dagegen sind die Gegensätze hinsichtlich der Jahresmittel der täglichen Höchsttemperaturen als eher gering zu bezeichnen (Abb. 10). Die mittleren täglichen Maximumtemperaturen, die meist am Nachmittag auftreten, unterscheiden sich auf Grund der am Tage vorherrschenden besseren Durchmischung der Atmosphäre zwischen Stadt und Umland geringfügiger. Nachts gibt die städtische Bebauung die von ihr tagsüber gespeicherte Wärme durch langwellige Wärmestrahlung langsam nach Außen hin ab. Zudem „schlafen“ die Winde in den Nachtstunden häufig ein und die Stabilität der unteren Atmosphäre nimmt zu, so dass in den frühen Morgenstunden, in denen in der Regel auch die Tagestiefsttemperatur auftritt, die größten Temperaturdifferenzen zwischen Stadt und Umland erreicht werden.

Die Bremer Temperaturmessreihe weist also mit der Verlegung 1978 Inhomogenitäten auf. Diese machen sich insbesondere bei der Betrachtung der Jahresmitteltemperaturen und hinsichtlich der täglichen Tiefsttemperaturen bemerkbar. Hingegen fallen sie in Bezug auf die

Tageshöchsttemperaturen eher gering aus. Insofern wird die Temperaturreihe 1971 – 2000 der Station Bremen für die Betrachtungen im Zusammenhang mit Tageshöchsttemperaturen als für die Untersuchung ausreichend homogen angesehen. Bei der Betrachtung der Tagestiefsttemperaturen wird die homogene Bezugsperiode 1981 – 2010 ausgewählt.

Abbildung 11 zeigt die Jahresmittelwerte der täglichen Maximumtemperatur sowohl für das Gesamtjahr als auch für die Zeit des meteorologischen Sommers (Juni – August). Neben der deutlichen jährlichen Variabilität und den mehrere Jahre überspannenden Schwingungen lässt sich über den Betrachtungszeitraum 1971 bis 2012 bei beiden Graphen eine Zunahme der mittleren jährlichen täglichen Höchsttemperatur entnehmen. Sie beträgt sowohl für das Gesamtjahresmittel als auch für das Sommermittel ca. 1 K (Kelvin).

Auch die Kurven der jährlichen Tagesmitteltemperatur (Abb. 12) für das Gesamtjahr und den Sommer lassen eine Zunahme ab 1971 erkennen, wobei die Werte bis 1978 entsprechend den obigen Ausführungen zur Homogenität der Bremer Messreihe zu hoch ausfallen. So dürfte die Zunahme eher noch etwas deutlicher ausfallen.

Aus den Verläufen der jährlichen Tagestiefsttemperatur ist in der Abbildung 13 eine Zunahme ohne Weiteres nicht ablesbar. Erst wenn die Aussagen zur Homogenitätsbetrachtung berücksichtigt werden, ist ebenfalls von einer Zunahme auszugehen.

Es zeigt sich also für die Region Bremen eine Temperaturzunahme seit 1971, die in ihrem Verlauf so gut auch in das Muster der Deutschland weit gemittelten Jahresmitteltemperaturen passt (Abb. 14).

5 Die städtische Wärmeinsel

Die Bremer Messstation auf dem Flughafenfeld ist in ihrer räumlichen Repräsentanz mehr einem ländlichen Standort zuzuordnen. Die vom 17. Juli bis 30. September 2012 vorgenommenen Zusatzmessungen an zwei temporären Klimastationen im Stadtgebiet geben Aufschluss über den städtischen Wärmeinseleffekt in Bremen.

Die mittlere Tageshöchsttemperatur während der gesamten Messkampagne beträgt an der städtischen Station „Lucie-Flechtmann-Platz“ 22,5 °C und liegt damit um 0,9 K über dem Mittelwert der ländlich geprägten Messstation „Kuhgrabenweg“ mit 21,6 °C. In gleicher Größenordnung weist die Messstelle „Flughafen“ zur entsprechenden Zeit 21,8 °C auf. Werden die täglichen Tiefsttemperaturen betrachtet, beträgt das Mittel für die Stadtstation 13,2 °C und für die beide Umlandstationen 10,8 °C. Damit fällt die Differenz zwischen den unterschiedlich geprägten Stationen hinsichtlich der Minimumtemperaturen mit 2,4 K deutlich höher zugunsten des Lucie-Flechtmann-Platzes aus. Auf diesen Umstand wurde bereits an anderer Stelle hingewiesen (Kap. 4).

Bei der ausschließlichen Berücksichtigung von Tagen mit windschwachem Strahlungswetter treten die Temperaturunterschiede zwischen Stadt und Umland noch stärker hervor. Als windschwaches Strahlungswetter wird eine Wetterlage mit einer Windgeschwindigkeit $\leq 3\text{ m/s}$ und einem Gesamtbedeckungsgrad des Himmels mit Wolken ≤ 4 Achteln definiert. Während des Tages wirkt eine geringe Wolkenbedeckung vielfach einer niedrigen Windgeschwindigkeit entgegen, da die hohe Sonneneinstrahlung die turbulente Durchmischung der Atmosphäre mit zunehmenden Windgeschwindigkeiten fördert. Nachts tritt der umgekehrte Fall ein, eine hohe Ausstrahlung stabilisiert die Atmosphäre, die Winde „schlafen“ ein. Daraus ergibt sich abweichend von der Betrachtung der Tiefsttemperatur für die Tageshöchsttemperatur bei strikter Einhaltung obiger Definition keine vernünftige Anzahl auswertbarer Fälle. So werden für die Maximumtemperatur auch noch Tage berücksichtigt, an denen jeweils eine der beiden Schwellenwerte eingehalten wird. Dabei überwiegen deutlich die Fälle mit geringer Wolkenbedeckung.

Unter diesen Randbedingungen steigt das Mittel der Tageshöchsttemperatur für die Messstelle „Lucie-Flechtmann-Platz“ auf $24,7\text{ °C}$ an, ist also im Vergleich zu allen Fällen um $2,2\text{ K}$ höher. Die Differenz zu der Station „Kuhgrabenweg“ nimmt um $0,3\text{ K}$ auf $1,2\text{ K}$ (mittlere Tageshöchsttemperatur $23,5\text{ °C}$) zu. Für die Station auf dem Flughafengelände wird nun eine mittlere Maximumtemperatur von $23,7\text{ °C}$ ermittelt.

Bezüglich der Tagestiefsttemperaturen ergeben sich für diese spezielle Wetterlagenauswahl Mittelwerte von $13,2\text{ °C}$ (Lucie-Flechtmann-Platz), $10,2\text{ °C}$ (Kuhgrabenweg) und $10,4\text{ °C}$ (Bremen-Flughafen). An den Umland-Stationen sinkt also der Mittelwert um $0,6\text{ K}$ (Kuhgrabenweg) bzw. $0,4\text{ K}$ (Bremen-Flughafen) unter den Wert, der alle Nächte berücksichtigt. Damit nimmt die Differenz zwischen den unterschiedlich geprägten Messstandorten auf $3,0\text{ K}$ bzw. $2,8\text{ K}$ zu.

Als absolut höchste Tageshöchsttemperatur wurde auf dem Lucie-Flechtmann-Platz $36,7\text{ °C}$ registriert, am Kuhgrabenweg $35,7\text{ °C}$ und am Flughafen $35,0\text{ °C}$. Die höchste Differenz der täglichen Höchsttemperaturen zwischen dem Lucie-Flechtmann-Platz und dem Kuhgrabenweg bzw. Flughafen betrug $2,7\text{ K}$ bzw. $2,6\text{ K}$. Die Tagestiefsttemperatur sank während des Messzeitraumes an der Stadtstation bis auf $5,6\text{ °C}$ ab, am Kuhgrabenweg bis auf $3,5\text{ °C}$ und am Flughafen auf $1,6\text{ °C}$. Es ergaben sich maximale Unterschiede in den täglichen Minimumtemperaturen von $6,1\text{ K}$ (Kuhgrabenweg) sowie $4,7\text{ K}$ (Bremen-Flughafen) zur Stadtstation.

Beispielhaft für windschwache Strahlungswetterlagen zeigt die Abbildung 15 Tagesgänge der Lufttemperatur für die drei Stationen „Bremen-Flughafen“, „Kuhgrabenweg“ und „Lucie-Flechtmann-Platz“. Es werden der 18. und 19.08.2012 betrachtet, an denen auch die Profilmessfahrten stattfanden (siehe nachfolgendes Kapitel). Ihre Messzeiten sind in der Abbildung markiert. Die Zeit ist in der Grafik in UTC bezogen auf den 0° Längengrad angegeben (MESZ=UTC + 2 Std).

Wie zu erwarten verlaufen die Tagesgänge der dem ländlichen Umland zuzurechnenden Stationen „Flughafen“ und „Kuhgrabenweg“ in hohem Maße ähnlich, während sich davon der Verlauf der Stadtstation „Lucie-Flechtmann-Platz“ deutlich absetzt. Die tieferen Temperaturen der Kuhgrabenweg-Station am Morgen des 19.08.2012 lassen sich durch leichte Winddrehungen zwischen Südsüdost und Ost erklären. Bei Ostwinden erfolgt die Anströmung der Station über eine ausgedehnte Wiesenfläche mit tieferen Temperaturen als Folge, während sich bei Drehungen auf südöstliche Richtungen noch Einflüsse der erwärmten Stadt bzw. des Kuhgrabensees bemerkbar machen.

Zur Sonnenuntergangszeit bzw. kurz danach wird nach langer nächtlicher Ausstrahlung durchweg die tiefste Temperatur erreicht. Mit zunehmendem Sonnenanstieg erfolgt sowohl an der ländlichen als auch an der städtischen Station eine recht rasche, nahezu parallele Temperaturzunahme. Zur frühen Mittagszeit divergieren dann die Kurven. Der Temperaturanstieg setzt sich an der Stadtstation bis zum Nachmittag auf einem höheren Niveau fort. Während der Phase der Temperaturabnahme bei weiter sinkender Sonne bleibt es an der Umlandstation weiterhin kühler, die Temperaturdifferenz verstärkt sich noch über die Länge der Nacht. Wie bereits erwähnt fallen die Temperaturunterschiede zwischen einem Stadtstandort und einer ländlich geprägten Station hinsichtlich der Maximumtemperatur geringer aus als in Bezug auf die Tiefstwerte.

6 Die Profilmessfahrten am 18. und 19.08.2012

Einen Anhalt über die Wärmeinsel des städtischen Bremens haben die temporären Klimamessungen gegeben. Allerdings beziehen sich diese Ergebnisse streng nur auf den Standort der ermittelnden Station. Gerade innerhalb einer Stadt sind sehr unterschiedliche bauliche Strukturen auf kleinstem Raum anzutreffen, womit stets wechselnde Einflüsse auf die Messungen verbunden sind. Um weitere Informationen auch über die kleinräumige Bremer Temperaturverteilung zu erlangen, wurden am 18. und 19.08.2012 bei windschwacher Strahlungswetterlage zu verschiedenen Tageszeiten Profilmessfahrten durchgeführt.

Am 18.08.2012 lag der Bremer Raum bei schwachem Luftdruckgradienten im Einflussbereich eines osteuropäischen Hochdruckgebietes. Zwischen diesem und einem umfangreichen Tief über dem östlichen Atlantik mit einer dazugehörigen Störung über den britischen Inseln gelangten sehr warme Luftmassen nach Norddeutschland. Das Hoch verlagerte sich in Folge leicht südostwärts, so dass sich am 19.08.2012 der Störungsausläufer mit seinem Bewölkungsfeld weiter der Weser näherte. Mit 35 °C wurde am 19.08.2012 an der Bremer Wetterstation die höchste Tageshöchsttemperatur im Jahr 2012 gemessen. Am 18. (und auch 20.08.2012) wurden ebenfalls 30°C erreicht bzw. gering überschritten.

In den Abbildungen 16 a bis 18 b werden die Ergebnisse der drei Profilmessfahrten dargestellt, wobei (a) die Nordroute und (b) die Südroute beschreibt. Das obere Diagramm einer Abbildung zeigt den Temperaturverlauf in 2 m über Grund (rot) und 0,5 m über Grund (schwarz). Betrachtet werden im Weiteren nur die zur festen Wetterstation kompatiblen 2-m-

Werte. Bei der nachmittäglichen Fahrt ist als zweites Diagramm die Globalstrahlung aufgenommen, die einen Hinweis darauf gibt, ob das Fahrzeug bei der Messung beschattet wurde (Bebauung, Bewuchs etc.) oder nicht. An den jeweiligen Übergängen können markante Temperatursprüngen auftreten. Unter der Globalstrahlung ist die Summe aus der direkten, Schatten spendenden Sonneneinstrahlung und der diffusen Sonneneinstrahlung zu verstehen. Sonst ist die relative Luftfeuchte in 2 m über Grund angegeben, die allerdings in diesem Rahmen ebenfalls nicht weiter berücksichtigt wird. Das gefahrene Höhenprofil kann dem dritten Diagramm entnommen werden. Darunter sind Entfernungsangaben und markante Punkte entlang der Fahrtroute gesetzt (Marker).

Wie aus den beschriebenen Tagesgängen zu entnehmen ist, ändert sich die Temperatur mit der sich ändernden Tageszeit. Um diesen „natürlichen“ Einfluss für weitere Temperatur vergleichende Stadtbetrachtungen aus den Daten zu eliminieren, wird eine Korrektur der gemessenen Temperaturwerte auf den zeitlichen Mittelpunkt der Fahrt vorgenommen.

Eine andere Ergebnisdarstellung zeigen die Abbildungen 19 bis 21. In diesen Abbildungen sind die korrigierten Lufttemperaturen 2 m über Grund für eine bessere räumliche Zuordnung in einen topografischen Untergrund der Stadt eingeplottet.

Die Nordroute der nachmittäglichen Profilmessfahrt durchfuhr einen normierten Temperaturbereich von 26,9 °C bis 31,2 °C und damit eine Temperaturdifferenz von 4,4 K. Die niedrigsten Temperaturen traten im Bereich des Bürgerparks/Findorffallee und des Wetterungsweges zwischen Hochschulring und Universitätsallee auf, die höchsten im Bereich des westlichen Ostertor und Schwachhausen sowie Findorff, der Universität, von Walle und der Innenstadt. Auf Grund gleichmäßigerer Bebauungsstruktur wies die Südroute einen geringeren Temperaturunterschied von 29,5 °C zu 31,1 °C entsprechend 1,6 K auf. Das allgemeine hohe Temperaturniveau dieser Strecke wird leicht unterbrochen durch die Neustadtwallanlagen, die Weser und den Bewuchs an der Thedinghauser Straße zum Kirchweg hin. Die Fahrten im Einzelnen:

Nordroute

Die Fahrt beginnt auf dem Rathausplatz bei Temperaturen zwischen 29,7 und 30,0 °C (Abb. 19). Auf dem Weg ostwärts ins Ostertorviertel wird im Bereich Goetheplatz/Ostertorsteinweg die 30°-Marke kurzzeitig überschritten. Nach dem Abbiegen in die Straße „Am Dobben“ bis zur Einmündung der Hartwigstraße in den Schwachhauser Ring im Stadtteil Schwachhausen verbleibt die Temperatur weitestgehend oberhalb von 30 °C. Im Abschnitt der Wachmannstraße/beginnende Hartwigstraße werden Temperaturen bis 30,9 °C festgestellt. Entlang des Schwachhauser Ringes in den Bürgerpark nimmt die Temperatur bei zunehmender Schattenwirkung durch Bewuchs und Grünanlagen bis auf 28,0 °C ab. Bevor die Route südwärts in die Findorffallee einbiegt, nimmt die Temperatur nochmals leicht wieder durch mehr Sonne zu. Bürgerpark, Torfkanal und starker Bewuchs lassen die Temperaturen dann deutlich bis auf 27,4 °C absinken. Der Temperatursprung beim Übergang aus der Findorffallee über die Hollerallee wieder in die stark bebaute Fläche fällt äußerst markant aus.

Auf kurzer Distanz steigt die Temperatur auf 30,5 °C an. Der weitere Weg durch Findorff bis zur Querung der Hemmstraße über den Utbremer Ring weist wieder überwiegend Werte oberhalb von 30°C auf. Jenseits des Utbremer Ringes nimmt die Temperatur bei zunehmend aufgelockerter Bebauung und mit Annäherung an unversiegelte Flächen langsam bis auf 29,1 °C ab. Noch geringere Werte werden im Bereich des Wetterungsweges zwischen Stadtwaldsee und Stadtwald angetroffen. Dort gehen die Temperaturen bis auf 26,9 °C zurück und liegen damit noch unter denen der Findorffallee entlang des Bürgerparks. Die Fahrtstrecke entlang und durch das Universitätsgelände lässt die Registrierung auf Werte um 30 °C zunehmen. Der Abstecher in den Kuhgrabenweg bis auf die Höhe der temporären Messstation führt wieder zu einer moderaten Temperaturabsenkung bis auf 28,8 °C. Wieder auf dem Hochschulring in Richtung Bundesstraße 6 kommt es im Abschnitt des Naturschutzgebietes „Am Stadtwaldsee“ (überraschend: verursacht vermutlich durch an die Straße angrenzenden Bewuchs (ohne Schattenwirkung) und aufgeschütteten bewachsenen Wall, wodurch die Straße eine künstliche Muldenlage bei hoher Sonneneinstrahlung und geringer Ventilation einnimmt) zu einer vorübergehenden deutlichen Temperaturzunahme auf 30,6 °C. Im weiteren Straßenverlauf parallel zum Stadtwaldsee und durch vermehrte Straßenbäume sinkt die Temperatur wieder (28,7 °C), um dann auf der Höhe der Müllverbrennungsanlage erneut 30 °C deutlich zu übersteigen (30,6 °C). Der Abschnitt über den Autobahnzubringer Überseestadt, Utbremer Kreisel nach Walle zeigt bis zur Einmündung der Elisabethstraße in die Vegesacker Straße weitestgehend Temperaturen oberhalb von 30 °C. Im Bereich der Waller Heerstraße werden mit 31,2 °C die höchsten Temperaturwerte der gesamten Nordroute aufgezeichnet. In der Wartburgstraße, Landwehrstraße und Doventorsteinweg/Daniel-von-Büren-Straße bis zur Eisenbahnunterführung (Findorfftunnel) liegen die Werte streckenweise knapp unter bzw. knapp über 30 °C. Im Schatten der Unterführung gehen die Werte kurzfristig auf 28,0 °C zurück. Die Findorffstraße zeigt dann wieder die hohen Temperaturen. In der Hollerallee am südlichen Rand des Bürgerparkes werden Werte zwischen 29,3 und 29,6 °C registriert. Auf dem Weg in die Innenstadt zurück zum Rathausplatz überwiegen Temperaturen zwischen 30,1 °C und 30,4 °C, vereinzelt werden 30,7 °C erreicht. Die Schattenwirkung der Eisenbahnbrücke ist erkennbar sowie die leichte Abkühlung bei der Querung der Wallanlagen.

Südroute

Bei Temperaturen von 30,7 °C beginnt die weitere Fahrt am Rathausplatz. Nachfolgend zur Wilhelm-Kaisen-Brücke hin sinken sie etwas. Im Bereich des Teerhofs nimmt sie kurz wieder gering zu, über der Kleinen Weser wieder leicht ab. Mit dem Einbiegen in die Alte Neustadt steigen die Werte deutlich an. Dieses hohe Temperaturniveau zwischen 30,5 °C und 31,1 °C bleibt auf der Route bis auf wenige Stellen bis zur Einmündung der Thedinghauser Straße in den Kirchweg in der Gartenstadt Süd erhalten. Eine erwähnenswerte Unterbrechung bilden die Neustadtwallanlagen mit einem Temperaturrückgang auf knapp unter 30 °C. Am Beginn der Thedinghausener Straße ist die Bebauung vergleichsweise aufgelockerter und der Bewuchs umfangreicher: Die Temperaturen sinken auf unter 30 °C. Im weiteren Verlauf der Straße steigen die Temperaturen allerdings wieder über diese Marke an. Die weitere Strecke durch die Bremer Neustadt, dann über die Weser bis zur Abzweigung der Bürgermeister-

Smidt-Straße in die Hutfilterstraße weist mit wenigen Unterbrechungen Temperaturen zwischen 30,1 °C und 30,4 °C auf. Markantere Unterbrechungen sind wieder bei der Durchfahrt der Neustadtwallanlagen (29,7 °C – 30,0 °C) sowie bei der Überquerung der Weser (29,3 °C – 29,6 °C) vorzufinden. Auf der Höhe der Westerstraße werden nochmals 30,6 °C erreicht. Von der Hutfilterstraße bis zum Rathausplatz überwiegen Temperaturen zwischen 29,7 °C und 30,0 °C.

Während der abendlichen Profilfahrt wachsen die Temperaturunterschiede auf beiden Routen mit 5,5 K (Nordroute) und 1,9 K (Südroute) nochmals an. Im nördlichen Abschnitt nimmt die Temperatur nun Werte zwischen 22,0 °C und 27,5 °C an bzw. auf der Südstrecke zwischen 25,0 °C und 26,9 °C. Die Fahrten am Morgen finden bei Temperaturen zwischen 17,6 °C und 21,8 °C (Differenz 4,2 K) auf der Nordstrecke und 20,1 °C und 21,4 °C (1,3 K) im südlichen Teil statt. Die Streckenabschnitte mit den extremen Temperaturen bleiben dabei die bereits erwähnten, wobei sich die Abschnitte Walle und Findorff nun etwas stärker hervorheben und die Bereiche Ostertor sowie Schwachhausen etwas moderater zeigen.

Auf diese morgendliche, etwa zur Zeit der täglichen Tiefsttemperatur (Voraussetzung windschwache Strahlungswetterlage, kein Luftmassenwechsel) stattfindenden Fahrt soll wieder näher eingegangen werden.

Nordroute

Die Fahrt startet wieder am Rathausplatz bei einer Temperatur von 20,9 °C (Abb. 21). Aus der Innenstadt hinaus sinkt sie leicht ab und erreicht bei der Durchfahrt der Wallanlagen mit 20,1 °C ein sekundäres Minimum. Durch das Ostertorviertel geht es dann wieder mit etwas höheren Temperaturen zwischen 20,4 °C und 20,7 °C. Auf dem Weg nach Schwachhausen steigen die Werte teils bis 20,8 °C (Wachmannstraße) an. In der Hartwigstraße ist bei auflockernder Bebauung ein Absinken der Temperaturen zu beobachten, das sich über den Schwachhauser Ring in den Bürgerpark fortsetzt. Am Eingang zum Bürgerpark herrscht eine Temperatur von 20,0 °C, die in der Anlage bis auf 19,6 °C zurück geht. Die Findorffallee parallel zum Bürgerpark weist mit 18,6 °C erneut sehr niedrige Temperaturwerte auf. Der Übergang in das bebaute Findorff ist auch morgens markant. Es ist ein Temperaturanstieg bis auf 21,6 °C zu verzeichnen. Im weiteren Verlauf durch diesen Ortsteil liegen die Temperaturen im dichter bebauten Abschnitt bis zur Eickedorfer Straße vielfach zwischen 21,2 °C und 21,5 °C, jenseits der Eickedorfer Straße bis zur Eisenbahnunterführung im Bereich Weidedamm zwischen 20,8 °C und 21,1 °C. Nördlich der Eisenbahnstrecke im angrenzenden Kleingartengebiet sinkt das Thermometer bis auf 19,4 °C ab. Noch geringere Werte werden auf dem Wetterungsweg verzeichnet. Im Bereich des Stadtwaldes registriert die Messsensorik 18,4 °C. Mit Annäherung an das Universitätsgelände nehmen die Temperaturen wieder zu und zeigen auf der Höhe des zentralen Universtätskomplexes 21,2 °C. Auf dem Hochschulring liegen die Werte um 21 °C. Entlang des Kuhgrabenweges zur temporären Messstation ergibt sich jenseits der Autobahntrasse eine rasche Temperaturabsenkung auf unter 18 °C. Wieder auf dem Hochschulring Richtung Bundesstraße 6 wird auf Höhe des Naturschutzgebietes ein kühler Abschnitt (18,3 °C) durchfahren bevor im folgenden Streckenteil bei geringer Bebauung

das Temperaturniveau meist knapp oberhalb von 20,0 °C verläuft. Mit dem „Eintauchen“ in den Stadtteil Walle steigen die Temperaturen zunächst auf 20,8 – 21,1 °C, später werden 21,6 °C erreicht. Deutlich niedrigere Temperaturen werden erst wieder in Findorff auf der Fahrt zum Bürgerpark verzeichnet. Auf der Hollerallee am südlichen Rand des Bürgerparkes wird als niedrigster Wert 20,2 °C gemessen. Im Bereich des Hauptbahnhofes steigt das Thermometer wieder an und verbleibt weitestgehend bis zum Rathausplatz auf 20,8 bis 21,1 °C. Die Durchfahrung der Wallanlagen ist mit leicht zurückgehenden Temperaturen deutlich im Streckenverlauf erkennbar.

Südroute

Die südliche Strecke beginnt bei einem Temperaturniveau von 20,8 °C bis 21,1 °C. Zur Weser hin und über die Weser hinweg sinken die Temperaturwerte auf 20,4 °C bis 20,7 °C, direkt über der Weser auf 20,3 °C. Durch die engere Süderstraße sowie jenseits der Neustadtwallanlagen, entlang der Lahnstraße und Kornstraße verbleiben die Temperaturen wieder zwischen 20,8 °C und 21,1 °C. Wiederum deutlich zeigen sich im Streckenverlauf die Wallanlagen mit niedrigeren Temperaturen (20,3 °C). Markant tritt auch der Stadtteil Gartenstadt Süd mit seiner mehr aufgelockerten Bebauung und seinen Grünanlagen hervor. Die Temperaturen gehen dort auf 20,1 °C zurück. In der folgenden dichten Bebauung nehmen die Werte wieder ihr „altes“ Niveau um 21,0 °C an. Auf dem Weg zurück in die Bremer Innenstadt steigen die Temperaturen in der Langemarckstraße und der Bürgermeister Smidt-Straße abschnittsweise nochmals auf 21,2 °C bis 21,5 °C an, im Bereich der Wallanlagen und der Weser sinken sie dagegen kurzzeitig auf 20,6 °C bzw. 20,7 °C ab. In der Obernstraße werden nochmals 21,4 °C angetroffen. Die Fahrt endet bei 20,9 °C an seinem Ausgangspunkt auf dem Rathausplatz.

7 Entwicklung der Sommertage

Für die Beschreibung der Wärmebelastung in Bremen wird als Indikator die Klimakenngröße „Sommertag“ (Tageshöchsttemperatur ≥ 25 °C) herangezogen. Wie bereits in Kapitel 1 erwähnt, ist der Begriff „Wärmebelastung“ dabei nicht im human-biometeorologischen Sinne zu verstehen. Dennoch gibt der „Sommertag“ einen Hinweis auf die Situation von sommerlich belastender Wärme und ihrer zeitlichen Entwicklung in der Stadt Bremen.

Die Abbildung 22 hat die zeitliche Entwicklung der Anzahl der Sommertage für das Gesamtjahr als auch für die meteorologischen Sommermonate Juni bis August seit 1961 bis 2010 der Station Bremen-Flughafen zum Inhalt. In dieser Zeitspanne schwankt die Anzahl der jährlichen Sommertage beträchtlich. Die geringste Anzahl war mit nur 4 Tagen im Jahr 1962 gegeben, dagegen wurden 1976 51 derartige Tage beobachtet. Nur bezogen auf die Sommermonate variierte die Anzahl zwischen 3 (1962) und 46 (1976). Seit 1961 ist eine deutliche Zunahme in der Anzahl der Sommertage in Bremen erkennbar.

In der Tabelle 2 sind die vieljährigen monatlichen und jährlichen Mittelwerte der Sommertage bezogen auf verschiedene 30jährige Bezugsperioden dargestellt. Die Bezugsperiode 1961 –

1990 wurde in die Übersicht mit aufgenommen, da sie weiterhin die international abgestimmte Normalperiode ist. Erste Sommertage können in einzelnen Jahren bereits in den Aprilmonaten vorkommen, doch in der überwiegenden Anzahl der Jahre wird erstmals im Mai die 25 °C-Marke erreicht. Eine Tendenz zu einer zeitlichen Änderung des ersten Auftretens eines Sommertages lässt sich seit 1961 nicht erkennen (Abb. 23). Sommertage können sehr vereinzelt bis in den Oktober vorkommen (seit 1961 bis 2010 ein Fall: 1977). In den Jahren 1961 bis 2010 endeten die Sommertage 22mal im August und 27mal im September. Die Abbildung 23 zeigt eine Tendenz zu einem leicht früheren Ende der Tage mit mindestens 25 °C Höchsttemperatur.

Werden die drei 30jährigen Zeiträume untereinander näher betrachtet, so ist auch hier der Anstieg der mittleren Anzahl der Sommertage klar ablesbar. Betrug die durchschnittliche Jahresanzahl 1961 – 1990 23,4 Tage, lag sie 20 Jahre später um gut 4 Tage höher (27,7 Tage). Ähnliches ist bei der Entwicklung während der Sommermonate zu erkennen, wobei die Zunahme leicht geringer ausfällt (3,7 Tage). Im Frühjahr (April und Mai) kommen durchschnittlich häufiger Sommertage (gut 10 % der Gesamtjahresanzahl) als im Herbst (September und Oktober) vor (um ca. 5 %). Mit 83 bis 84 % entfällt der weitaus überwiegende Anteil der Tage mit einer Tageshöchsttemperatur von $\geq 25^{\circ}\text{C}$ auf den meteorologischen Sommer.

Neben der eigentlichen Anzahl von Sommertagen ist darüber hinaus von Interesse, welche Andauerzeiten sich für Folgen von Sommertagen ergeben. Hierzu gibt die Tabelle 3 Auskunft. Die längste bisherige Andauerzeit ab 1971 betrug 21 Tage. Sie trat vom 23.06. bis 13.07.1976 auf, wobei als höchste Temperatur in diesem Zeitraum 34,6 °C am 27.06. gemessen wurde. Als zweitlängste Wärmeperiode wurden in den Jahr 2003 vom 26.07. bis 13.08. und 2006 vom 15.07. bis 30.07. 16 Sommertage in Folge mit einem Temperaturhöchstwert von 35,8 °C (12.08.2003) bzw. von 36,2 °C (20.07.2006) registriert. Von 1971 bis 2000 teilten sich 771 Sommertage in 288 Ereignisse auf, was einer mittleren Andauerzeit von hintereinander folgenden Sommertagen von 2,7 Tagen entspricht. In der Dekade 1981 – 1990 betrug die mittlere Andauerzeit 2,5 Tage, in der Zeitspanne 2001 – 2010 2,9 Tage. Im statistischen Mittel trat in dem 10jährigen Zeitraum 2001 bis 2010 in jedem Jahr eine Wärmeperiode von mindestens einer Woche auf, von 1981 – 1990 nur alle zwei Jahre.

Diese auf die langjährigen Messungen der Station Bremen-Flughafen beruhenden Angaben beziehen sich wie bereits erwähnt mehr auf ein ländliches Umfeld. Mit Hilfe der temporären Messungen und der Profildfahrten ist eine Abschätzung für Anzahl und Andauer von Sommertagen für die städtische Wärmeinsel möglich. Allerdings kann sie wegen der geringen Anzahl von Messungen (besonders in Bezug auf die Profildfahrten und der Auflösung von unterschiedlichen Stadtstrukturen) nur einen Hinweis über die städtisch modifizierten Verhältnisse geben.

Die Differenzen zwischen den Temperaturen während der nachmittäglichen Profildfahrt und der zeitgleichen Messungen an der Station Bremen-Flughafen betragen je nach Streckenabschnitt

bzw. Umgebungsstruktur zwischen minus 2,3 K und plus 2,2 K. Diese Differenzen wurden zu den täglichen Höchsttemperaturen addiert. Anschließend wurden die bisherigen Auswertungen wiederholt. Darüber hinaus wurde die Gesamtdifferenz in 0,5 K-Schritten verdichtet. Das Ergebnis zeigt Tabelle 4 von minus 2,3 K bis plus 2,2 K. Die Spalte mit der Temperaturdifferenz „null“ entspricht der Auswertung für die Station Bremen-Flughafen. Innerhalb dieser Spannweite liegen ebenso die mittleren Temperaturabweichungen bei Strahlungswetterlagen zwischen Lucie-Flechtmann-Platz und Kuhgrabenweg (1,2 K) bzw. Bremen-Flughafen (1,0 K).

Bei einem städtischen Wärmeinseleffekt von plus 2,2 K erhöht sich die Anzahl der Sommertage (bezogen auf 1971 - 2000) von 771 auf 1292. Damit steigt die mittlere Anzahl jährlicher Sommertage von 25,7 auf 43,1 Tage, was einer Zunahme von etwa 68 % entspricht. Gleichzeitig steigt die Anzahl der warmen Perioden von 288 auf 413, wobei nun die längste 26 Tage zählt. Die mittlere Andauer von aufeinander folgenden Sommertagen nimmt auf 3,1 Tage zu. Begrünung und Schattenlagen führen zu einer markanten Temperaturabsenkung. Ausgehend einer Temperaturdifferenz von minus 2,3 K halbiert sich die Anzahl der Sommertage nahezu von 771 auf 408 Tage. Nun beträgt die mittlere Anzahl für Tage mit Höchsttemperaturen ≥ 25 °C pro Jahr 13,6 Tage und die mittlere Andauerzeit lediglich 2,3 Tage. Folgen von Sommertagen von mindestens einer Woche Dauer kommen bei einer städtischen Erwärmung von 1 K in 30 Jahren 30mal vor, bei einer Temperaturminderung (im Vergleich zur Referenzstation) von 1 K 13mal vor.

Die Abbildungen 24 und 25 helfen die unterschiedlichen Stadtstrukturen entlang der Profifahrtstrecken entsprechend der Tabelle 4 einzuordnen. Sie zeigen für die Nord- und Südroute getrennt die Differenz zwischen den unnormierten Temperaturmessungen der Profifahrt und den gemessenen Temperaturwerten an der Station Bremen-Flughafen. Als Beispiel sei die Findorff-Durchfahrt nach Verlassen des Bürgerpark-Bereiches bis zur Hemmstraße (vor der Eisenbahnbrücke) angeführt. Aus Abbildung 24 ist ein Wärmeinseleffekt von etwas oberhalb von 0,5 K erkennbar, was nach Tabelle 4 eine mittlere Anzahl von Sommertagen pro Jahr von etwa 30 Tagen ergibt. So sind für diesen Bereich etwa 4 bis 5 Sommertage mehr im Vergleich zum ländlichen Umland anzunehmen. Die mittlere Andauer von Sommertagen hintereinander beträgt dann gut 2,7 Tage.

8 Entwicklung der Tropennächte

Für die Regeneration des Menschen ist nach einem Wärme belastenden Tag die Erholungsphase bei nächtlich absinkenden Temperaturen von besonderer Bedeutung. In diesem Zusammenhang wird nachfolgend die Entwicklung so genannter Tropennächte betrachtet. In einer Tropennacht sinken die tiefsten Temperaturen nicht unter 20 °C ab. Entgegen den bisher betrachteten Bezugszeiträumen wird aus den im Kapitel 4 dargelegten Gründen zur Homogenität der Tiefsttemperaturen die Zeitreihe der Station Bremen-Flughafen ab 1981 ausgewertet.

In der Zeitspanne 1981 bis 2010 traten lediglich 2 Tropennächte auf (am 05.08.1994: 20,7 °C; Tageshöchsttemperatur 33,5 °C und am 11.07.2010: 21,5 °C; 32,2 °C). Wird die Schwellentemperatur um 1 K gesenkt, werden also Nächte betrachtet, die nahe an eine Tropennacht heranreichen, erhöht sich die Anzahl der Nächte mit höheren Tiefsttemperaturen auf 9 Fälle. Dabei traten 6 in Juli- und 3 in Augustmonaten auf. An acht Tagen waren diese warmen Nächte auch mit Tageshöchsttemperaturen von über 30 °C (heiße Tage) verbunden. Einmal folgten zwei Nächte mit Tiefstwerten ≥ 19 °C aufeinander. Am 09.08.1992 betrug die Minimumtemperatur 19,2 °C, das Tagesmaximum erreichte 37,6 °C. Setzt man den Schwellenwert nochmals um eine Einheit herab, ergeben sich bereits 53 Fälle (Mai: 1; Juni 4; Juli 32; August: 16). Die Andauerzeit hintereinander liegender derartiger Nächte betrug maximal 4 Nächte. In der Tabelle 5 sind die Ergebnisse sowie Zwischenstufen zusammengefasst.

Aus den Abbildungen 26 und 27 sind die Temperaturdifferenz zwischen der Station Bremen-Flughafen und der morgendlichen Profilmessfahrt in Abhängigkeit der gefahrenen Weglänge (bzw. der Stadtteile) für die Nordroute bzw. die Südroute aufgetragen. Die Abweichungen für beide Strecken von den Stationswerten zusammen betrachtet liegen zwischen plus 2,2 K und minus 2,0 K. Aus den Graphen sind wieder markant die kühleren Bereiche wie z.B. Bürgerpark/Findorffallee oder Wetterungsweg erkennbar. Aber auch andere frischere Abschnitte wie die Wallanlagen von der Innenstadt ins Ostertorviertel oder die Hollerallee auf Höhe des Bürgerparks, die Neustadtwallanlagen oder die Bereiche in der Thedinghauser Straße sind klar zu identifizieren.

Mittels der Tabelle 5 kann abgeschätzt werden, wie hoch derzeit die zusätzliche Anzahl der Tropennächte unter Einfluss des nächtlichen städtischen Wärmeineffektes ist. Für ein ländliches Umfeld ist im vieljährigen Mittel von 0,1 Tropennächten pro Jahr (1 Nacht in 10 Jahren) auszugehen. Wird jetzt eine Temperaturerhöhung in der Stadt von 1 K angesetzt, erhöhen sich die Tropennächte auf 0,3 (siehe dazu Werte in „grgl 19 °C“-Zeile: 19 °C plus 1 K entspricht 20 °C gleich einer Tropennacht). Bei einer Annahme von plus 2,2 K (entspricht höchster positiver Temperaturdifferenz s.o.) sind dann jährlich 2,0 Nächte mit Tiefsttemperaturen nicht unter 20 °C zu erwarten. Der durchfahrene Bereich von Walle weist positive Temperaturdifferenzen zur Station Bremen-Flughafen zwischen 1,5 bis 2,0 K auf. Dies bedeutet 1 bis 2 Tropennächte pro Jahr. Lediglich 0,1 bis 0,3 Nächte sind es in der „durchgrünter“ Thedinghauser Straße.

9 Zukünftige Entwicklung der Sommertage und der Tropennächte bis 2100

Die zukünftig zu erwartenden globalen Klimaänderungen werden in regelmäßigen Sachstandsberichten des Weltklimarates (Intergovernmental Panel of Climate Change IPCC) zusammengefasst. Die Klimaänderungssignale für Zeiträume bis Ende dieses Jahrhunderts werden hierbei durch ein großes Ensemble von Projektionsrechnungen mit verschiedenen gekoppelten globalen Klimamodellen und verschiedenen Emissionsszenarien für klimarelevante Spurenstoffe abgeschätzt. Da diese Simulationsrechnungen eine horizontale

Auflösung in der Größenordnung von 200 km und mehr aufweisen, müssen für regionale Fragestellungen die Ergebnisse auf eine deutlich höhere Auflösung transformiert werden. Dabei werden die globalen Klimaprojektionsrechnungen mit Hilfe dynamischer und statistischer Methoden auf eine regionale Skala mit einer typischen Auflösung von 10 bis 20 km herunter gerechnet. Auf diese Weise erhaltene regionale Klimaprojektionen stehen für Deutschland in verschiedenen Datenbanken allen Interessierten zur Nutzung bereit. Sie erlauben die in Deutschland regional unterschiedlich ausfallenden Klimaänderungen abzuschätzen. Grundlage für alle aufgeführten Aussagen bilden die Ergebnisse der Modellrechnungen nach dem Emissionsszenarium A1B.

Bei den folgenden Betrachtungen zur zukünftigen Entwicklung der Sommertage bzw. der Tropennächte für die Projektionszeiträume 2021 bis 2050 bzw. 2071 bis 2100 bezogen auf den Bezugszeitraum 1971 bis 2000 wurden für den zeitlich nahen Projektionszeitraum die Ergebnisse von 16 regionalen Modelle berücksichtigt, hinsichtlich der späten Zeitspanne 13 Modellergebnisse. In den weiteren Darstellungen werden so genannte Percentile (15. und 85.) betrachtet. Zunächst werden für jeden Berechnungspunkt die Modellergebnisse aufsteigend sortiert. Das 15. Percentil ist der obere Grenzwert der untersten 15 % aller betrachteten Modellsimulationen. Das heißt, 15 % aller Modellergebnisse liegen unterhalb dieses Wertes oder erreichen diesen genau. Die übrigen 85 % der Modellsimulationen zeigen dagegen größere Änderungen. Entsprechend umgekehrt verhält es sich mit dem 85. Percentil. Für diesen Wert zeigen lediglich noch 15 % eine größere Änderung. Dagegen liegen 85 % unterhalb dieses Wertes oder erreichen diesen genau. Zwischen 15. und 85. Percentil entfallen somit 70 % der Modellergebnisse. Diese Vorgehensweise soll eine Betrachtung sinnvoller Änderungsraten gewährleisten, indem nicht mit eher realitätsfernen extremen Änderungsspannen umgegangen werden muss.

Tabelle 6 fasst die entsprechenden Änderungsraten zusammen. Hinsichtlich des Projektionszeitraumes 2021 bis 2050 fallen die Änderung sowohl für die Anzahl der Sommertage als auch der Tropennächte vergleichsweise moderat aus. Nach dem 15. Percentil aller Modellergebnisse ergeben sich keine Veränderungen. Nach dem 85. Percentil ist bei den Sommertagen mit einer Zunahme von insgesamt 11 Tagen im Jahr zu rechnen, wobei 8 Tage auf Juni bis August entfallen. Für die Tropennächte ist demnach ein Anstieg um 3 Nächte pro Jahr zu erwarten, die nur innerhalb der meteorologischen Sommerzeit auftreten.

Ausgehend von den Auswertungen der Bremer Messreihe 1971 – 2000 ergibt sich für das ländlich strukturierte Bremer Umland für den 30jährigen Zeitraum 2021 bis 2050 unter Betrachtung des 85. Percentils eine mittlere jährliche Anzahl an Sommertagen von 36 bis 37 (von Juni bis August: 29 bis 30). Wird der städtische Wärmeineffekt mit einbezogen ergeben sich für eine städtische Erwärmung von 1 K für das Jahr 43 bis 44 Sommertage (siehe auch Tab. 4) bzw. bei einer städtischen Temperaturerhöhung von 2 K 52 bis 53 Sommertage. Für die Tropennächte bedeuten 2 K Temperaturerhöhung insgesamt pro Jahr 4 bis 5 Nächte, die nicht unter 20 °C absinken (siehe auch Tab. 5).

Für den Projektionszeitraum 2071 bis 2100 zeigen sich deutlich ausgeprägtere Änderungsraten, was die 85. Percentilwerte betrifft (die 15. Percentilwerte 2071 – 2100 bleiben hinter den Werten des 85. Percentil 2021-2050 zurück). Demnach wird ein Anstieg im Sommer um 23 Sommertage, über das Jahr um 35 Tage ermittelt. Der Anstieg auf jährliche 60 bis 61 Sommertage für das Umland entspricht 136 %. Zieht man wieder den Stadteffekt mit ein, belaufen sich die Sommertage für 1 K (2 K) Temperaturerhöhung auf 68 bis 69 (76 bis 77) Tage im Jahr. Bezogen auf die 92 Tage der Sommerzeit Juni bis August bedeutet dies, dass an rund 55 % (1 K) bzw. ca. 62 % (2 K) der Tage die Höchsttemperatur von 25 °C erreicht oder überschritten wird (im Vergleich 1971 – 2000: rund 23 %).

Hinsichtlich der Tropennächte werden 11 (Sommermonate) bzw. 13 (Gesamtjahr) zusätzliche Nächte abgeschätzt. Derzeit liegt die Anzahl der Tropennächte bei 0,1 Nächten (1981 – 2010) für freies Umfeld. Für städtische Bereiche mit einer 1 K höheren Nachttemperatur sind insgesamt für 2071 bis 2100 pro Jahr 13 bis 14 und für 2 K Temperaturunterschied 14 bis 15 Nächte anzunehmen.

10 Fazit

Insbesondere bei windschwachen Strahlungswetterlagen bildet sich über den Siedlungsflächen einer Stadt eine so genannte Wärmeinsel aus. Dabei liegen die Temperaturen im Mittel im Vergleich zum freien Umland um 0,5 K bis 2 K höher. In der Regel fällt der Temperaturunterschied über Tag nicht so deutlich aus wie nachts. Die wichtigsten Daten aus der vorliegenden Untersuchung werden nochmals in der Tabelle 7 auf Seite 19 zusammengefasst (siehe auch Abbildung 28 und 29 im Abbildungsteil).

Während der 2 1/2monatigen von Juli bis September 2012 in Bremen durchgeführten Messkampagne mit einer stationären Stadtstation und einer festen, freien Umlandstation ergaben sich für die Tageshöchsttemperaturen in der Stadt im Mittel um etwa 1 K höhere Werte im Vergleich zum Umland. Für die Nacht stieg die Differenz auf gut 2 K nochmals deutlich an.

Die an 2 Tagen (18./19.08.2012) vorgenommenen Profilmessfahrten sollten einen Eindruck über die städtische Variabilität der Temperatur in Abhängigkeit unterschiedlicher Stadtteile vermitteln. Sowohl die am Nachmittag also auch am Morgen durchgefahrene Temperaturdifferenz betrug gut 4 K. Dabei lagen die Messwerte bis gut 2 K über den zeitgleichen Referenzwerten der Station Bremen-Flughafen und ebenso um etwa 2 K unterhalb. Allerdings weist die weitaus größere Anzahl von Messpunkten eine positive Abweichung zur Referenzstation auf.

Die mittlere jährliche Anzahl von Sommertage bezogen auf den Bezugszeitraum 1971 – 2000 beträgt für die Referenzstation Bremen–Flughafen 25,7 Tage. Während dieser 30 Jahre traten insgesamt 771 Sommertage auf, die sich auf 288 Ereignisse mit aufeinanderfolgenden Sommertagen verteilten. Demnach ergibt sich eine mittlere Andauerzeit solcher „Periode“ mit

Tab. 7: Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

Temperatur (in °C bzw. K)	Umland HB-Flughafen	städtischer Wärmeinseleffekt (entsprechend Literaturangaben)
	1971 - 2000 vieljähriges Jahresmittel	9,2	plus 0,5 bis 2,0

Sommertage (in Tagen)	Umland HB-Flughafen	städtischer Wärmeinseleffekt	
		1 K	2 K
1971 - 2000 vieljährige mittlere Anzahl	25,7	33,3	41,3
mittlere Andauer	2,7	3	3
längste Andauer	21	25	26
2021 - 2050 85. Perzentil Zunahme bezogen auf 1971-2000 mittlere Anzahl	11 36,7	11 44,3	11 52,3
2071 - 2100 85. Perzentil Zunahme bezogen auf 1971-2000 mittlere Anzahl	35 60,7	35 68,3	35 76,3

Tropennächte (in Nächten)	Umland HB-Flughafen	städtischer Wärmeinseleffekt	
		1 K	2 K
1981 - 2010 vieljährige mittlere Anzahl	0,1	0,3	1,8
längste Andauer	1	2	4
2021 - 2050 85. Perzentil Zunahme bezogen auf 1971-2000 mittlere Anzahl	3 3,1	3 3,3	3 4,8
2071 - 2100 85. Perzentil Zunahme bezogen auf 1971-2000 mittlere Anzahl	13 13,1	13 13,3	13 14,8

Sommertagen von 2,7 Tagen. Die längste Wärmeperiode nahm 21 Tage ein. Im statistischen Mittel trat in dem 10jährigen Zeitraum 2001 bis 2010 in jedem Jahr eine Wärmeperiode von mindestens einer Woche auf, 1981 bis 1990 waren es nur alle 2 Jahre.

Wird ein städtischer Wärmeinseleffekt von 1 K angesetzt, steigt die mittlere Anzahl der Sommertage auf 33,3 Tage, bei 2 K Temperaturdifferenz sind es 41,3 Tage, was einer Zunahme von knapp 30 % bzw. von gut 60 % entspricht. Die längste Wärmeandauerperiode dürfte nun etwa 25 bis 26 Tage erreichen.

Tropennächte kommen in Norddeutschland im freien Umland bisher gering vor. An der Station Bremen-Flughafen waren es von 1981 – 2010 nur 2 Nächte. In dem Jahrzehnt davor gab es

keine Tropennacht, obwohl in diesem Zeitraum die Bremer Station bis 1978 umbaut war und mehr städtisch besiedelten Umgebungscharakter aufwies. Legt man erneut einen nächtlichen städtischen Wärmeinseleffekt von 1 K bzw. 2 K zugrunde, steigt die Anzahl der Tropennächte in der Stadt auf 0,3 bzw. 1,8 Nächte. Die maximale Andauerzeit von Tropennächten hintereinander kann 2 bis 4 Nächte betragen.

Der Klimawandel hebt das allgemeine Temperaturniveau an, die relative Temperaturdifferenz zwischen Stadt und Umland bleibt dabei erhalten. Nach dem 85. Perzentil von 16 Ensemblemitgliedern an berücksichtigten Klimaprojektionsrechnungen nimmt die Anzahl von Sommertagen bis zum Bezugszeitraum 2021 bis 2050 um 11 Tage, bis zum Bezugszeitraum 2071 bis 2100 um 35 Tage zu. Das freie Umland erreicht damit eine mittlere jährliche Anzahl von 36,7 bzw. 60,7 Sommertagen, also bis zum Ende des Jahrhunderts das 2,4fache des 1971-2000-Standards. Der städtische Wärmeinseleffekt führt dazu, dass die Anzahl der Sommertage entsprechend des 85. Perzentils bis zum Jahrhundertende gut 68 Tage (1 K Temperaturerhöhung) bzw. gut 76 Tage (2 K) annimmt. Im letzten Drittel dieses Jahrhunderts wäre demnach in manchen Stadtteilen das 3fache an Sommertagen im Vergleich zum Umland von 1971 – 2000 möglich.

Die Tropennächte werden bis zur Zeitspanne 2021 bis 2050 nach dem 85. Perzentils von 13 Regionalen Klimamodellen auf im Mittel 3 Nächte pro Jahr ansteigen, bis zum Zeitraum 2071 bis 2100 wird sich die Anzahl nochmals vervierfachen.

Trotz einer im Vergleich zu anderen Gegenden in Deutschland guten Belüftung in der norddeutschen Tiefebene ist der Wärmeinseleffekt in Bremen ausgeprägt. Es zeigt sich darüber hinaus, dass auch der Bremer Raum entsprechend des globalen Temperaturgeschehens im Rahmen des Klimawandels einen Temperaturanstieg zu verzeichnen hat. Beide Effekte führen in den städtischen Siedlungsräumen sowohl tagsüber als auch nachts zu einem markanten Anstieg Wärme belastender Situationen.

Trotz der zunehmenden Anzahl berücksichtigter regionaler Klimamodelle bei der Abschätzung zukünftiger Auswirkungen des Klimawandels bleiben große Unsicherheiten (z.B. Auswertung nur des A1B-Szenarium). Es zeigt sich aber, dass mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit die Wärmebelastung in den Städten deutlich zunehmen wird, so dass Anpassungsmaßnahmen zur Minderung derartiger belastender Situationen deutlich an Wichtigkeit gewinnen.

11 Literatur

Früh, B., Koßmann, M., Roos, M., 2011: Frankfurt am Main im Klimawandel – eine Untersuchung zur städtischen Wärmebelastung, Berichte des Deutschen Wetterdienstes 237, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main 2011

Kuttler, W. 2009: Zum Klima im urbanen Raum, Klimastatusbericht 2008, Deutscher Wetterdienst (Hrsg), Offenbach

Landsberg, H. E., 1981: The urban climate, International Geophysics Series, Volume 28, Academic Press, New York

Schlünzen, K.H., Hoffmann, P., Rosenhagen, G., Riecke, W., 2010: Long-term changes and regional differences in temperature and precipitation in the metropolitan area of Hamburg. Int. J. Climatol., 30

Schlünzen, K.H., 2012: Im Rahmen der 2. Regionalkonferenz des Bundes und der Norddeutschen Küstenländer in Bremerhaven

Stewart, I.D., Oke, T.R., 2012: ‚Local climate zones‘ for urban temperatures studies, Bulletin of the American Meteorological Society, 2012

VDI, 2008: Umweltmeteorologie – Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt und Regionalplanung – Teil I: Klima, Beuth-Verlag, Berlin

12 Tabellenverzeichnis

Tab. 1a:	Wegstrecke der Profilmessfahrten - Nordroute.....	25
Tab. 1b:	Wegstrecke der Profilmessfahrt – Südroute	26
Tab. 2:	Mittlere Anzahl der Sommertage an der Station Bremen-Flughafen für verschiedene Bezugszeiträume	26
Tab. 3:	Häufigkeit der Andauer von Sommertagen in Folge im Zeitraum 1971 bis 2010 an der Station Bremen-Flughafen in verschiedene Jahrzehnte unterteilt.....	27
Tab. 4:	Anzahl und Häufigkeit der Andauer von Sommertagen für verschiedene Temperaturdifferenzen (positiv obere Tab., negativ unten) zwischen Stadt und freiem Umland bezogen auf die 30jährige Bezugsperiode 1971 – 2000 auf der Basis der Station Bremen-Flughafen.....	28
Tab. 5:	Absolute und mittlere Anzahl sowie maximale Andauer von Nächten mit Tiefsttemperaturen \geq verschiedener Schwellenwerte an der Station Bremen- Flughafen bezogen auf den Bezugszeitraum 1981- 2010.....	29
Tab. 6:	Entwicklung der Sommertage und der Tropennächte 2021 bis 2050 und..... 2071 bis 2100 – Änderungsraten gegenüber dem Bezugszeitraum 1971 - 2000..	30
Tab. 7:	Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse	19

13 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Bremen und Umgebung	31
Abb. 2:	Lage der Station Bremen-Flughafen seit 1971	31
Abb. 3:	Standorte der temporären Messstationen in Bremen von Juli bis September 2012	32
Abb. 4:	Stadtstation auf dem Lucie-Flechtmann-Platz	33
Abb. 5:	Umlandstation am Kuhgrabenweg (Blockland)	33
Abb. 6:	Routen der Profilmessfahrten durch Bremen (rot: Nordroute, blau: Südroute). Orange gekennzeichnete Quadrate: Lage der temporären Messstationen (siehe Abb. 3 bis 5). Grüne Kreise: Orientierungspunkte (Marker) entlang der Fahrstrecke	34
Abb. 7:	Profilmessfahrzeug	35
Abb. 8:	Vergleich der Jahresmitteltemperaturen der Stationen Bremen-Flughafen und Teufelsmoor (1978 Jahr der Verlegung der Station Bremen-Flughafen auf dem Flughafengelände)	35
Abb. 9:	Vergleich des Jahresmittels der Tagestiefsttemperaturen der Stationen Bremen-Flughafen und Teufelsmoor (1978 Jahr der Verlegung der Station Bremen-Flughafen auf dem Flughafengelände)	36
Abb. 10:	Vergleich des Jahresmittels der Tageshöchsttemperaturen der Stationen Bremen-Flughafen und Teufelsmoor (1978 Jahr der Verlegung der Station Bremen-Flughafen auf dem Flughafengelände)	36
Abb. 11:	Entwicklung der Jahresmittel der Tageshöchsttemperaturen 1971 bis 2012 bezogen auf das Gesamtjahr und die Sommermonate Juni bis August an der Station Bremen-Flughafen	37
Abb. 12:	Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen und der über die Sommermonate gemittelten Temperaturen 1971 bis 2012 an der Station Bremen-Flughafen	37
Abb. 13:	Entwicklung der Jahresmittel der Tagestiefsttemperaturen 1971 bis 2012 bezogen auf das Gesamtjahr und die Sommermonate Juni bis August an der Station Bremen-Flughafen	38
Abb. 14:	Entwicklung der deutschlandweit gemittelten Jahresmitteltemperatur 1901 bis 2011	38
Abb. 15:	Tagesgang der Temperatur an der Station Bremen-Flughafen (Fl) und den temporären Stationen Lucie-Flechtmann-Platz (LFPI) und Kuhgrabenweg (Ku) am 18. und 19.08.2012.	39
Abb. 16a:	Temperatur- und Globalstrahlungsverlauf während der nachmittäglichen Profilmessfahrt Route Nord	39
Abb. 16b:	Temperatur- und Globalstrahlungsverlauf während der nachmittäglichen Profilmessfahrt Route Süd	40
Abb. 17a:	Temperatur- und Feuchteverlauf während der abendlichen Profilmessfahrt Route Nord	40
Abb. 17b:	Temperatur- und Feuchteverlauf während der abendlichen Profilmessfahrt Route Süd	41
Abb. 18a:	Temperatur- und Feuchteverlauf während der morgendlichen Profilmessfahrt Route Nord	41

Abb. 18b: Temperatur- und Globalstrahlungsverlauf während der morgendlichen Profilmessfahrt Route Süd	42
Abb. 19: Temperaturverlauf während der nachmittäglichen Profilmessfahrt auf der Nord- und Südroute (Temperaturen normiert auf zeitlichen Mittelpunkt der Fahrt)	43
Abb. 20: Temperaturverlauf während der abendlichen Profilmessfahrt auf der Nord- und Südroute (Temperaturen normiert auf zeitlichen Mittelpunkt der Fahrt)	44
Abb. 21: Temperaturverlauf während der morgendlichen Profilmessfahrt auf der Nord- und Südroute (Temperaturen normiert auf zeitlichen Mittelpunkt der Fahrt)	45
Abb. 22: Anzahl der Sommertage bezogen auf das Gesamtjahr und die Sommermonate Juni bis August an der Station Bremen-Flughafen	46
Abb. 23: Jährliche Entwicklung des Auftretens des ersten und letzten Sommertages im Jahr (Basisdaten Bremen-Flughafen)	46
Abb. 24: Temperaturdifferenzen auf der Profilfahrtstrecke zur Station Bremen-Flughafen: Nordroute – nachmittags; Markante Punkte durchnummeriert:	47
Abb. 25: Temperaturdifferenzen auf der Profilfahrtstrecke zur Station Bremen-Flughafen: Südroute – nachmittags; Markante Punkte durchnummeriert:	48
Abb. 26: Temperaturdifferenzen auf der Profilfahrtstrecke zur Station Bremen-Flughafen: Nordroute – morgens; Markante Punkte durchnummeriert:	49
Abb. 27: Temperaturdifferenzen auf der Profilfahrtstrecke zur Station Bremen-Flughafen: Südroute – morgens; Markante Punkte durchnummeriert:	50
Abb. 28: Klimawandelbedingte Veränderung (85. Percentil) der Anzahl der Sommertage im Stadtgebiet Bremen unter Berücksichtigung des städtischen Wärmeinseleffekts (Abbildung durch Dr. Voßeler, Senator für Umwelt, Bau und Verkehr, Bremen)	51
Abb. 29: Klimawandelbedingte Veränderung (85. Percentil) der Anzahl der Tropennächte im Stadtgebiet Bremen unter Berücksichtigung des städtischen Wärmeinseleffekts (Abbildung durch Dr. Voßeler, Senator für Umwelt, Bau und Verkehr, Bremen)	51

Tab. 1a: Wegstrecke der Profilmessfahrten - Nordroute

Projekt: Stadtklima Bremen (2012)	
Profilmessfahrt Bremen-Nordroute	
Marker u. Windmess.	Ortsbezeichnung, Richtungshinweis
Start A	Rathausplatz zw. Dom u. Rathaus
	Richtung SE Am Dom
	halb links in Domsheide
	gerade in Ostertorstr.
B	gerade weiter in Am Wall B → Ampel Am Wall/Ostertorstr.
	gerade in Ostertorsteinweg
	links in Am Dobben
	rechts in Am Dobbernweg
	links in Außer der Schleifmühle
C	rechts unter Eisenbahnbrücke C → Mitte d. Brücke
	gerade in Parkallee
	Kreisverkehr, 2. Ausfahrt
	rechts in Wachmannstr.
	links in Hartwigstr.
D	links in Schwachhauser Ring D → Ampel Schwachhauser Ring/Parkallee

Marker u. Windmess.	Ortsbezeichnung, Richtungshinweis
	gerade in Bürgerpark
E/Wind	E → Sichtachse Meierei/Hotel am Hollersee
F	links in Findorffallee → Ampel Findorffallee/Hollerallee
	rechts in Plantage
	rechts in Herbststr.
	links in Andreestr.
	rechts in Worpesweder Str.
	links in Geibelstr.
G	rechts in Hemmstraße G → Ampel Hemmstraße/Hollerallee
	rechts in Hochschulring
H	rechts in Wetterungsweg → Einfahrt Wetterungsweg
	gerade in Achterstr.
I	links in Universitätsallee Ampel Achterstr./Universitätsallee
	links in Bibliotheksstr.
J	gerade auf Straßenbahntrasse → Übergang Höhe Goethe-Institut

Marker u. Windmess.	Ortsbezeichnung, Richtungshinweis
	gerade in Klagenfurter Str.
	links in Hochschulring
K	rechts in Kuhgrabenweg Kuhgrabenweg/Kleiner Mittelweg
	wenden auf Kuhgrabenweg
	rechts in Hochschulring
L	gerade auf Parallelweg zur B6 Eisenbahnbrücke
	rechts in "Kreisverkehr"
	rechts in Osterfeuerberger Ring
	links in Holsteiner Str.
	rechts in Schleswiger Str.
M	links in Osterfeuerbergstr. → Eisenbahnbrücke
	rechts in Gustavstr.
	links in Waller Heerstr.
	rechts in Elisabethstr.
	links in Vegesacker Str.

Marker u. Windmess.	Ortsbezeichnung, Richtungshinweis
	halb links in Wartburgstr.
	gerade in Landwehrstr.
	gerade in Doventorsteinweg
	links in Daniel-von-Büren-Str.
	rechts in Falkenstr.
	links in Kaufmannsmühlencamp
N	gerade in Findorffstraße N → Mitte Eisenbahntunnel
O	rechts in Hollerallee O → Ampel Hollerallee/Hotel Maritim
P	rechts in Gustav-Dejenen-Allee P → Mitte Eisenbahntunnel
	halb rechts in Hermann-Böse-Straße
	gerade auf Bahnhofplatz
	gerade in Herdentorsteinweg
	halb links in Schlüsselkorb
	rechts in Domshof
Wind Ende	Rathausplatz zw. Dom u. Rathaus

Tab. 1b: Wegstrecke der Profilmessfahrt – Südroute

Projekt: Stadtklima Bremen (2012)		
Profilmessfahrt Bremen-Süd		
Marker und Windmess.	Ortsbezeichnung, Richtungshinweis	Km-Marke
Start A/Wind	Rathausplatz zw. Dom u. Rathaus	0,0
	Richtung NW Am Dom	
	links in Am Markt	
	links weiter in Am Markt	
	halb links in Marktstr.	
	rechts in Balgebrückstr.	
	gerade über Wilhelm-Kaisen-Brücke	
	gerade über Große Weserbrücke	
	gerade in Friedrich-Ebert-Str.	
B	rechts in Osterstr. B → Ampel Ecke Friedrich-Ebert-Str./Osterstr.	
	halb links auf Westerstr.	
	rechts auf Lucie-Flechtmann-Platz (umkreisen)	
	links auf Westerstr. (200m)	
	rechts in Süderstraße (200m)	
C/Wind	gerade in Neustädter Wallanlagen C → Mitte der Wallanlagen	

Marker und Windmess.	Ortsbezeichnung, Richtungshinweis	Km-Marke
	gerade in Delmestr.	
D	links in Lahnstr. → Kreuzung Friedrich-Ebert-Str.	D
	gerade in Kornstr.	
E	rechts in Kirchweg E → Ampel Ecke Kornstr./Kirchweg	
	rechts in Thedinghauser Str.	
	rechts in Meyerstr.	
F	links in Gastfeldstr. F → Kreuzung Gastfeldstr./Friedrich-Ebert-Str.	
	gerade auf Pappelstr.	
G	rechts in Langemarckstr. G → Ampel Höhe Neustädter Wallanlagen	
	gerade Bürgermeister-Smidt-Brücke	
	gerade auf Bürgermeister-Smidt-Str.	
	rechts in Hutfilterstr. (150m)	
	gerade in Obernstr. (450m)	
	gerade Am Dom	
H Ende	Rathausplatz zw. Dom u. Rathaus	

Tab. 2: Mittlere Anzahl der Sommertage an der Station Bremen-Flughafen für verschiedene Bezugszeiträume

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	Sommer
Bezugszeitraum														
1961 - 1990	.	.	.	0,2	2,2	5,7	6,9	6,9	1,5	0,0	.	.	23,4	19,5
1971 - 2000	.	.	.	0,2	2,7	5,0	8,4	8,1	1,2	0,0	.	.	25,7	21,5
1981 - 2010	.	.	.	0,4	2,4	4,7	10,1	8,4	1,7	.	.	.	27,7	23,2

Tab. 3: Häufigkeit der Andauer von Sommertagen in Folge im Zeitraum 1971 bis 2010 an der Station Bremen-Flughafen in verschiedene Jahrzehnte unterteilt

	1971-2010	1971-2000	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010
Andauer Tage	<i>Häufigkeit</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Häufigkeit</i>	<i>Häufigkeit</i>
1	178	128	50	36	42	50
2	73	50	12	20	18	23
3	54	40	13	13	14	14
4	26	21	6	5	10	5
5	25	21	6	6	9	4
6	11	6	2	2	2	5
7	7	7	3	1	3	0
8	8	6	2	2	2	2
9	4	4	1	1	2	0
10	7	3	0	1	2	4
11	1	0	0	0	0	1
12	0	0	0	0	0	0
13	1	0	0	0	0	1
14	1	1	1	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	2	0	0	0	0	2
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	1	1	1	0	0	0

Anzahl der Sommertage:	1091	771	260	219	292	320
Anzahl der Ereignisse	399	288	97	87	104	111
Mittlere Andauer	2,7	2,7	2,7	2,5	2,8	2,9

Tab. 4: Anzahl und Häufigkeit der Andauer von Sommertagen für verschiedene Temperaturdifferenzen (positiv obere Tab., negativ unten) zwischen Stadt und freiem Umland bezogen auf die 30jährige Bezugsperiode 1971 – 2000 auf der Basis der Station Bremen-Flughafen

Temperaturdifferenz zwischen Station Bremen-Flughafen und Temperaturen in Bremer Stadtteilen (nach Profifahrt nachmittags)						
	+2,2	+2,0	+1,5	+1,0°	+0,5	0
Andauer/Tage	Häufigkeit	Häufigkeit	Häufigkeit	Häufigkeit	Häufigkeit	Häufigkeit
1	170	170	159	138	143	128
2	86	80	69	64	54	50
3	49	53	45	46	45	40
4	28	28	36	29	21	21
5	18	22	19	20	20	21
6	19	15	11	10	9	6
7	9	9	7	6	8	7
8	6	5	7	6	7	6
9	6	6	4	5	3	4
10	6	5	4	3	2	3
11	3	5	3	1	1	0
12	2	1	0	0	1	0
13	2	2	3	3	0	0
14	2	1	2	2	2	1
15	0	0	0	0	0	0
16	1	1	1	1	0	0
17	0	0	0	1	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	1	1	1	1	1	0
20	1	1	0	0	0	0
21	0	1	0	0	1	1
22	1	0	0	0	0	0
23	1	1	1	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0
25	1	0	0	1	0	0
26	1	1	1	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0
Anzahl der Sommertage	1292	1240	1102	1000	874	771
Anzahl der Ereignisse	413	408	373	337	318	288
Mittlere Andauer	3,1	3,0	3,0	3,0	2,7	2,7
Mittlere Anzahl v. Sommertagen	43,1	41,3	36,7	33,3	29,1	25,7

	0	-0,5	-1,0	-1,5	-2,0	-2,3
Andauer/Tage	Häufigkeit	Häufigkeit	Häufigkeit	Häufigkeit	Häufigkeit	Häufigkeit
1	128	122	107	95	87	74
2	50	50	53	56	50	47
3	40	40	31	25	24	26
4	21	21	20	16	17	12
5	21	12	11	7	3	4
6	6	6	5	4	5	5
7	7	5	5	6	3	4
8	6	6	5	4	3	1
9	4	3	1	0	0	0
10	3	1	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	1	1	1	1
14	1	1	0	0	0	0
15	0	0	0	0	1	1
16	0	1	1	1	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	1	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0
Anzahl der Sommertage	771	672	584	508	445	408
Anzahl der Ereignisse	288	268	240	215	194	175
Mittlere Andauer	2,7	2,5	2,4	2,4	2,3	2,3
Mittlere Anzahl v. Sommertagen	25,7	22,4	19,5	16,9	14,8	13,6

Tab. 5: Absolute und mittlere Anzahl sowie maximale Andauer von Nächten mit Tiefsttemperaturen \geq verschiedener Schwellenwerte an der Station Bremen-Flughafen bezogen auf den Bezugszeitraum 1981- 2010

	Mai	Juni	Juli	August	gesamt
absolute Anzahl					
grgl 22,0 °C	.	.	.	.	.
grgl 21,5 °C	.	.	1	.	1
grgl 21,0 °C	.	.	1	.	1
grgl 20,5 °C	.	.	1	1	2
grgl 20,0 °C	.	.	1	1	2
grgl 19,5 °C	.	.	3	1	4
grgl 19,0 °C	.	.	6	3	9
grgl 18,5 °C	.	1	17	9	27
grgl 18,0 °C	1	4	32	16	53
grgl 17,8 °C	1	5	37	17	60

mittlere Anzahl					
grgl 22,0 °C	.	.	.	.	.
grgl 21,5 °C	.	.	0,0	.	0,0
grgl 21,0 °C	.	.	0,0	.	0,0
grgl 20,5 °C	.	.	0,0	0,0	0,0
grgl 20,0 °C	.	.	0,0	0,0	0,1
grgl 19,5 °C	.	.	0,1	0,0	0,1
grgl 19,0 °C	.	.	0,2	0,1	0,3
grgl 18,5 °C	.	0,0	0,6	0,3	0,9
grgl 18,0 °C	0,0	0,1	1,1	0,5	1,8
grgl 17,8 °C	0,0	0,2	1,2	0,6	2,0

maximale Andauer					
grgl 22,0 °C	.	.	.	.	.
grgl 21,5 °C	.	.	1	.	1
grgl 21,0 °C	.	.	1	.	1
grgl 20,5 °C	.	.	1	1	1
grgl 20,0 °C	.	.	1	1	1
grgl 19,5 °C	.	.	2	1	2
grgl 19,0 °C	.	.	2	1	2
grgl 18,5 °C	.	1	2	2	2
grgl 18,0 °C	1	1	4	3	4
grgl 17,8 °C	1	1	4	3	4

"grgl" größer gleich

". ." kein Fall aufgetreten

"0,0" mindestens 1 Fall vorgekommen

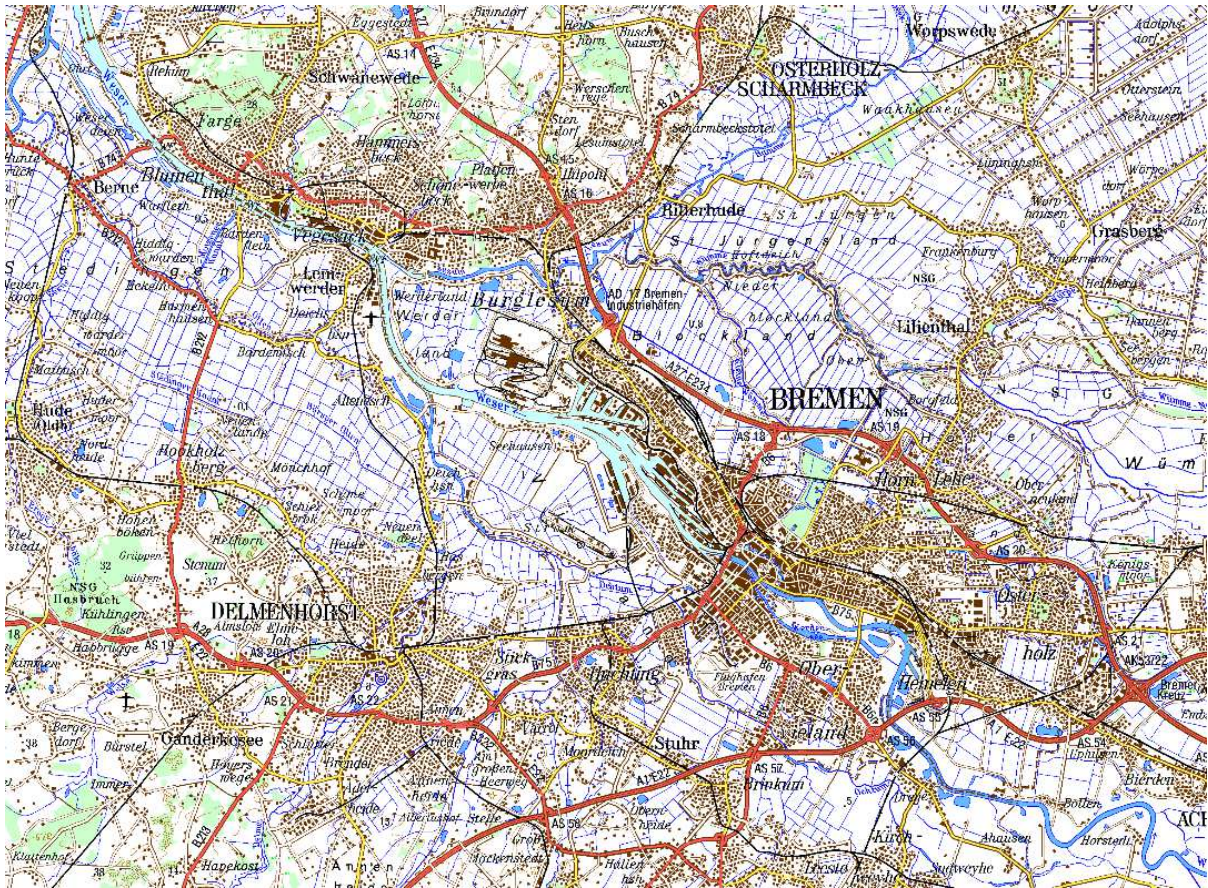
Tab. 6: Entwicklung der Sommertage und der Tropennächte 2021 bis 2050 und 2071 bis 2100 – Änderungsraten gegenüber dem Bezugszeitraum 1971 - 2000

2021 - 2050			
Sommertage	Frühjahr	Sommer	Herbst
15. Perzentil		0	
85. Perzentil	1	8	2

Tropennächte			
	Frühjahr	Sommer	Herbst
15. Perzentil		0	
85. Perzentil	0	3	0

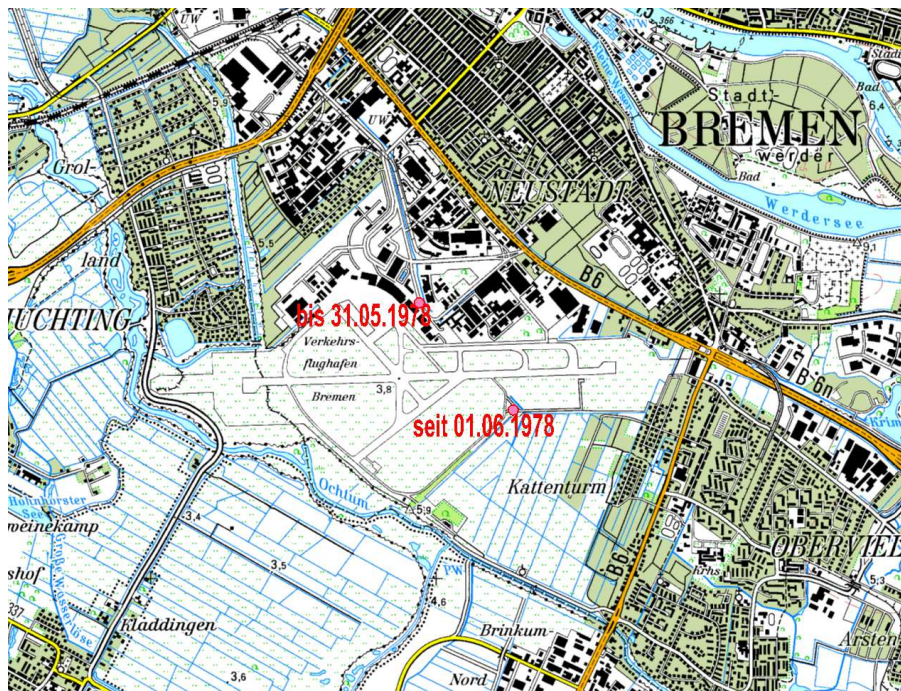
2071 - 2100			
Sommertage	Frühjahr	Sommer	Herbst
15. Perzentil		5	
85. Perzentil	2	23	10

Tropennächte			
	Frühjahr	Sommer	Herbst
15. Perzentil		1	
85. Perzentil	0	11	2



Geobasisinformation © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

Abb. 1: Bremen und Umgebung



Geobasisinformation © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

Abb. 2: Lage der Station Bremen-Flughafen seit 1971

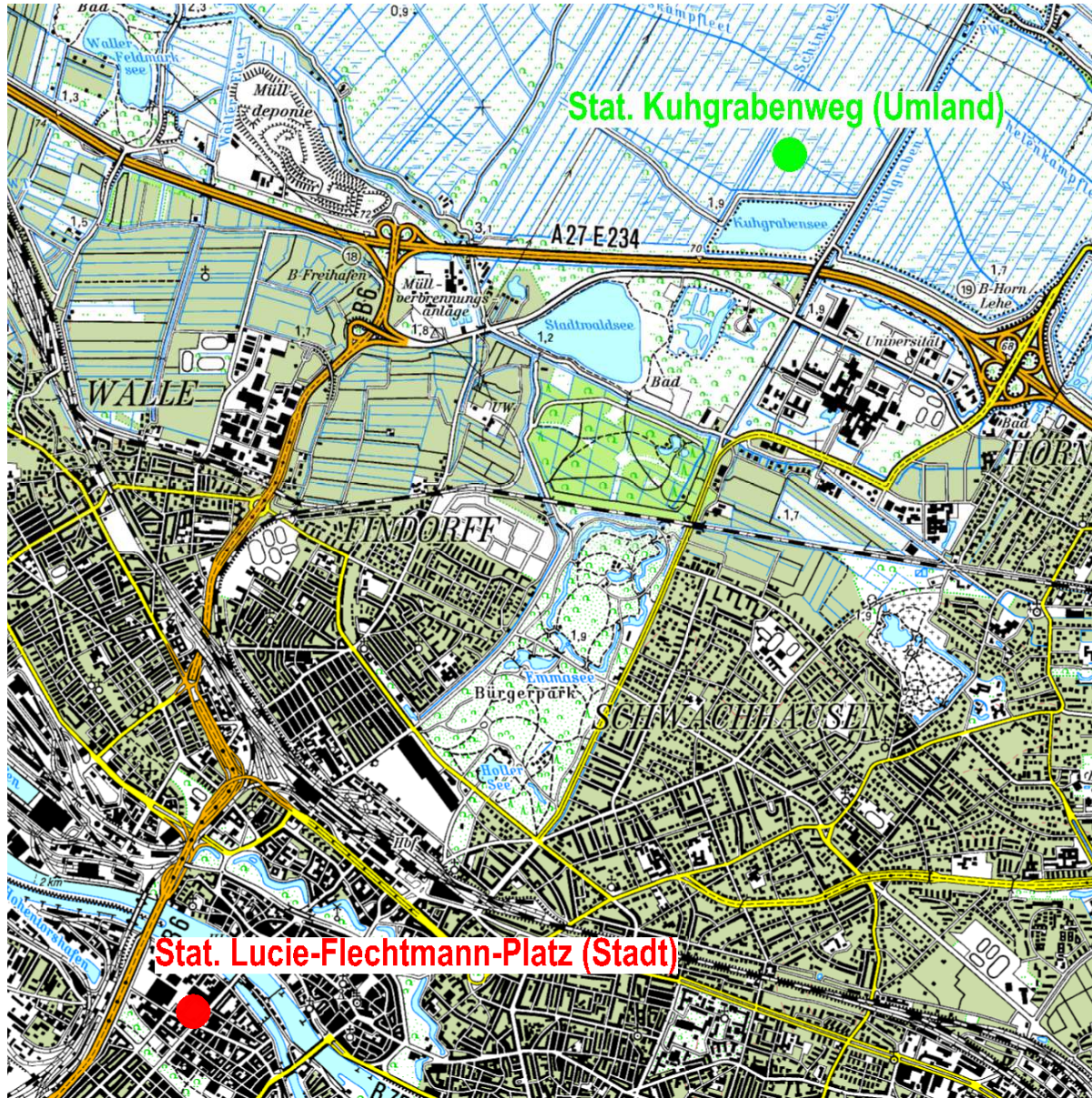


Abb. 3: Standorte der temporären Messstationen in Bremen von Juli bis September 2012



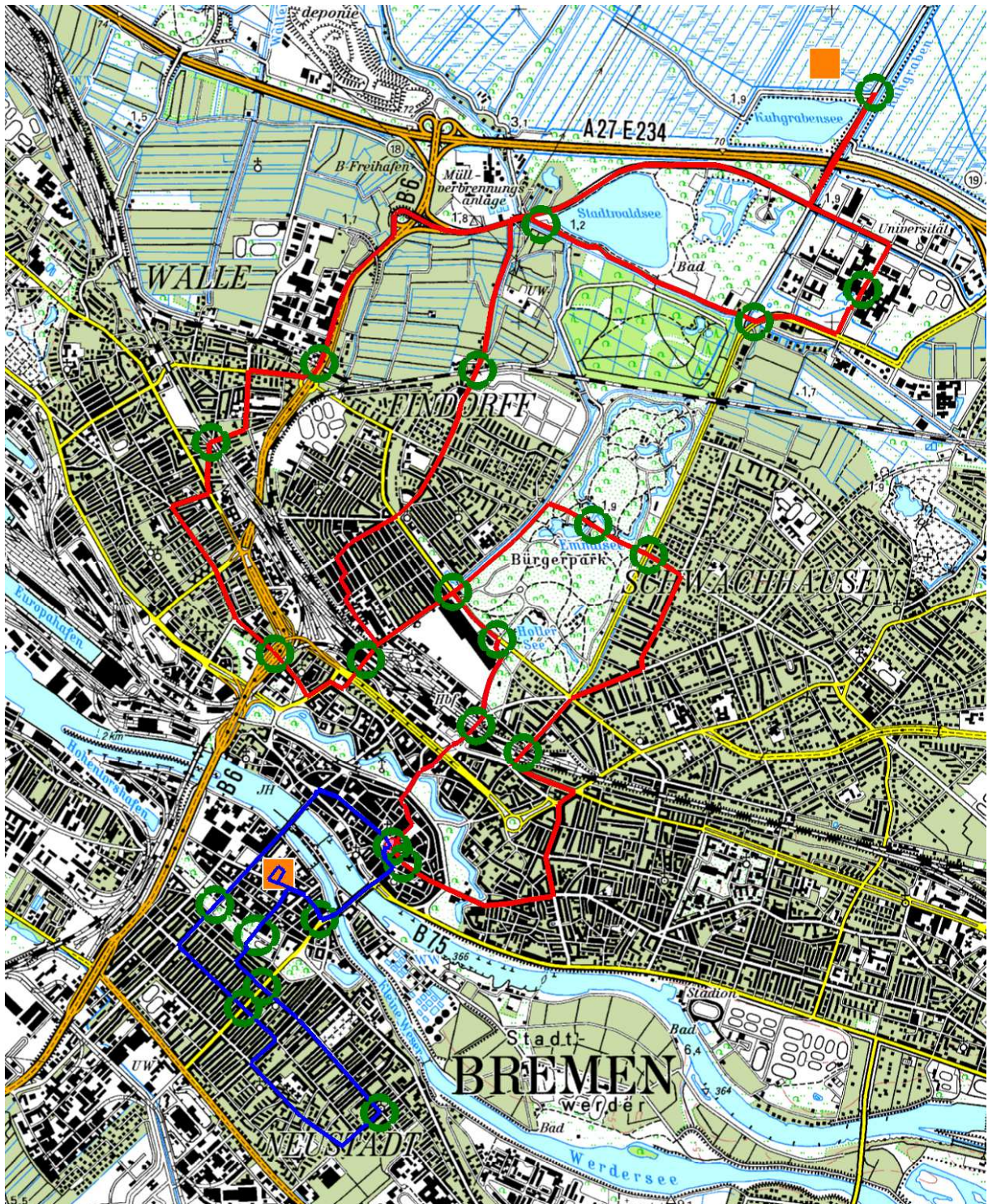
[Foto: DWD]

Abb. 4: Stadtstation auf dem Lucie-Flechtmann-Platz



[Foto: DWD]

Abb. 5: Umlandstation am Kuhgrabenweg (Blockland)



Geobasisinformation © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

Abb. 6: Routen der Profilmessfahrten durch Bremen (rot: Nordroute, blau: Südroute). Orange gekennzeichnete Quadrate: Lage der temporären Messstationen (siehe Abb. 3 bis 5). Grüne Kreise: Orientierungspunkte (Marker) entlang der Fahrstrecke



[Foto: DWD]

Abb. 7: Profilmessfahrzeug

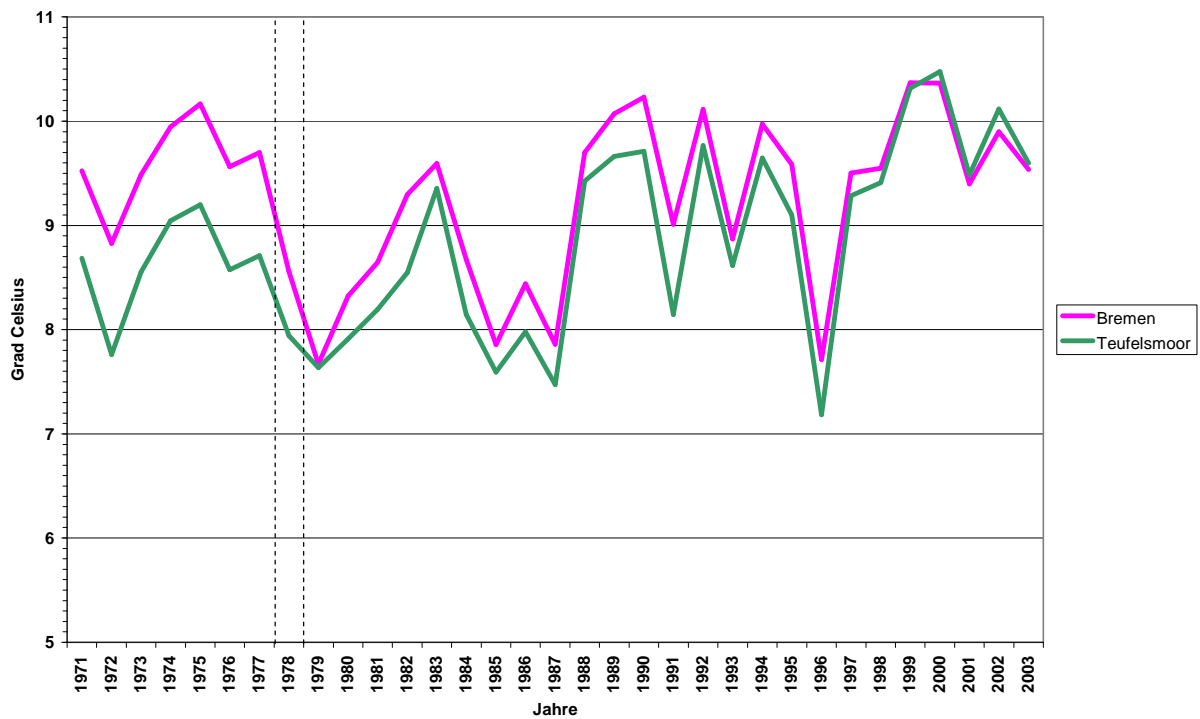


Abb. 8: Vergleich der Jahresmitteltemperaturen der Stationen Bremen-Flughafen und Teufelsmoor (1978 Jahr der Verlegung der Station Bremen-Flughafen auf dem Flughafengelände)

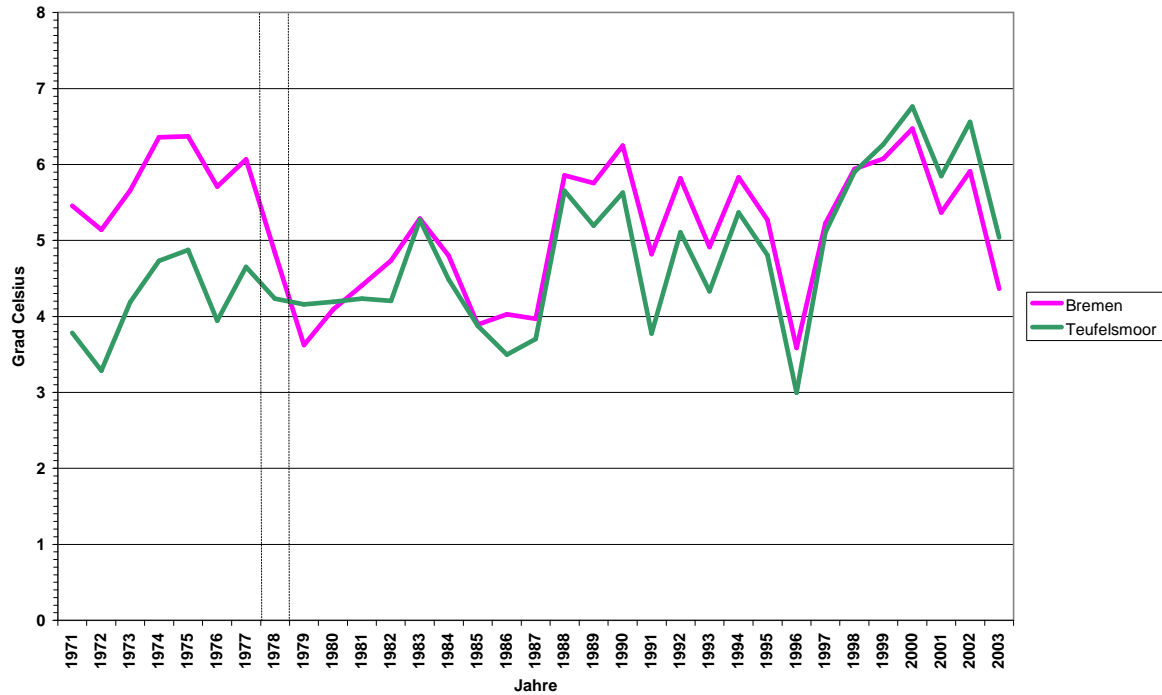


Abb. 9: Vergleich des Jahresmittels der Tagestiefsttemperaturen der Stationen Bremen-Flughafen und Teufelsmoor (1978 Jahr der Verlegung der Station Bremen-Flughafen auf dem Flughafengelände)

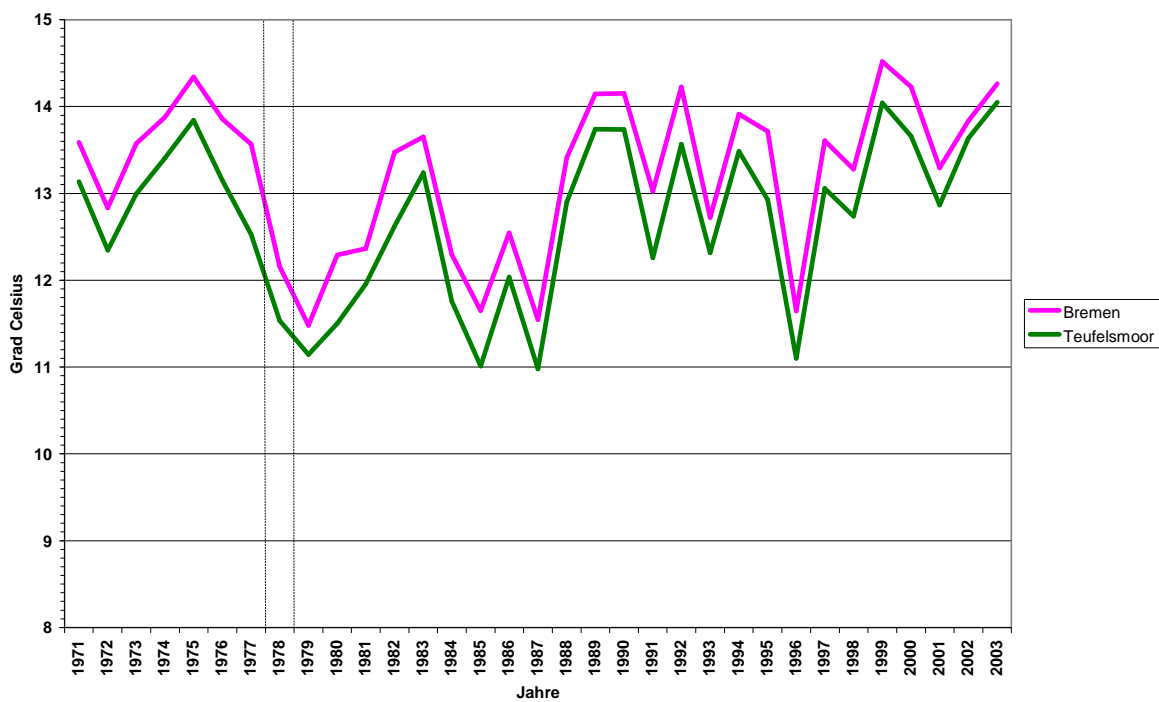


Abb. 10: Vergleich des Jahresmittels der Tageshöchsttemperaturen der Stationen Bremen-Flughafen und Teufelsmoor (1978 Jahr der Verlegung der Station Bremen-Flughafen auf dem Flughafengelände)

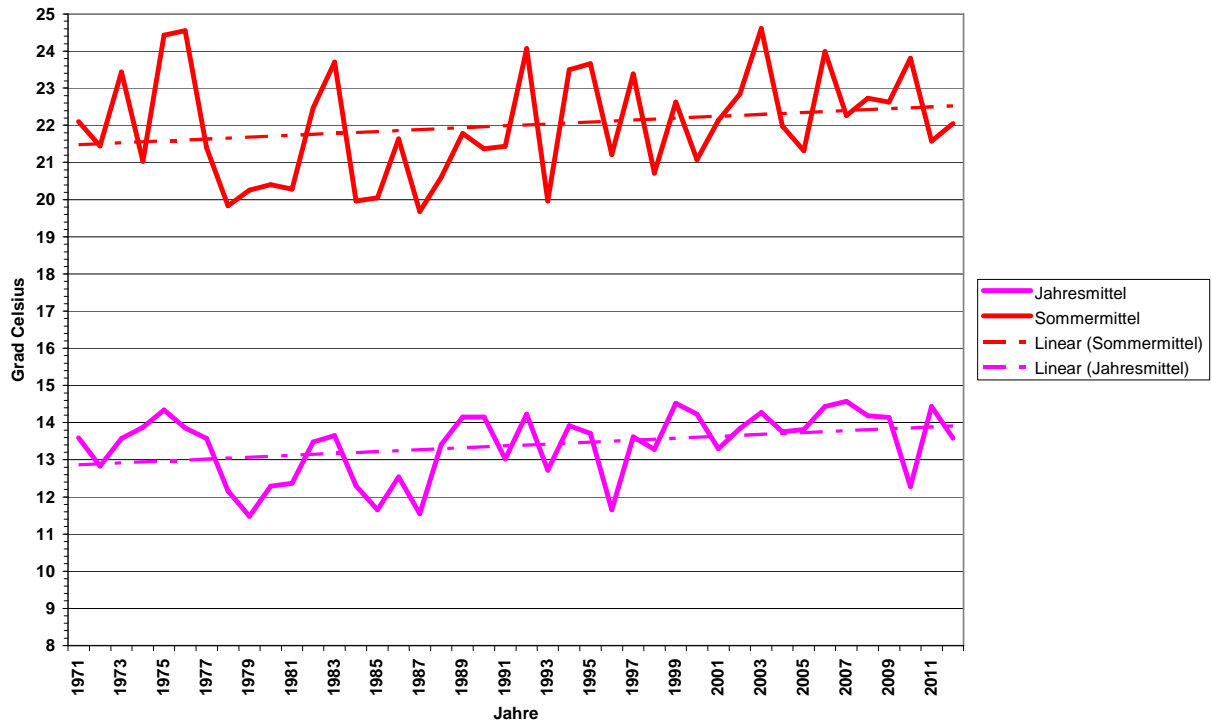


Abb. 11: Entwicklung der Jahresmittel der Tageshöchsttemperaturen 1971 bis 2012 bezogen auf das Gesamtjahr und die Sommermonate Juni bis August an der Station Bremen-Flughafen

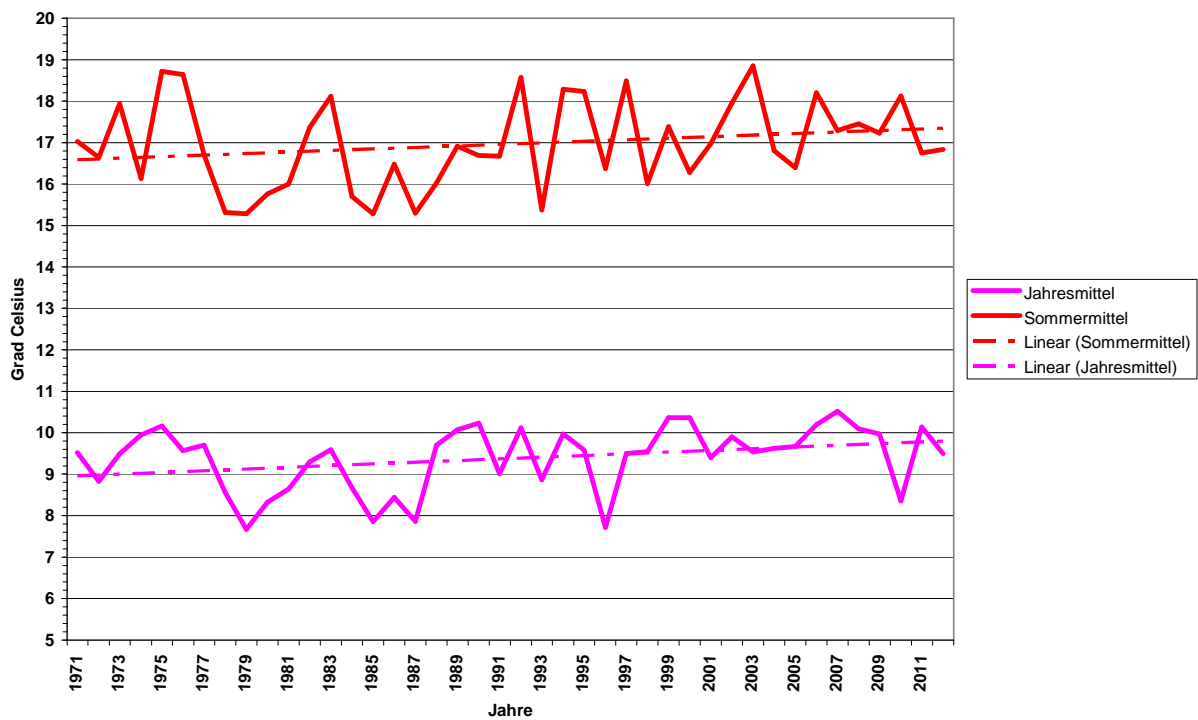


Abb. 12: Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen und der über die Sommermonate gemittelten Temperaturen 1971 bis 2012 an der Station Bremen-Flughafen

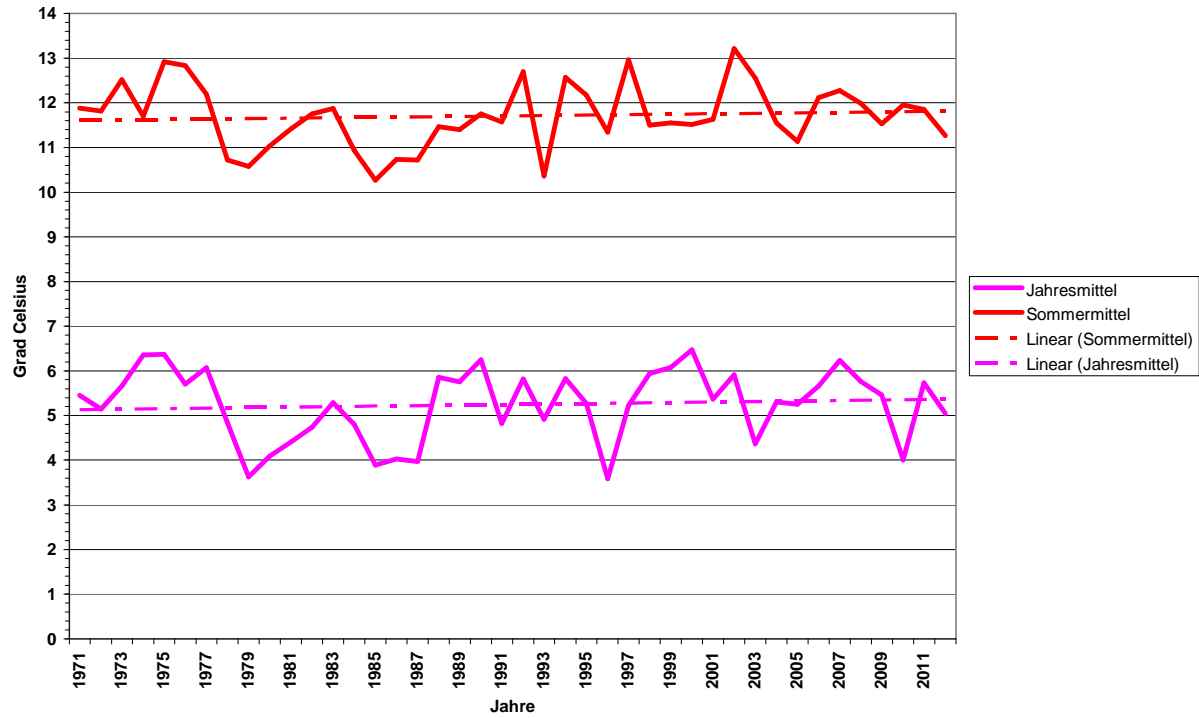


Abb. 13: Entwicklung der Jahresmittel der Tagestiefsttemperaturen 1971 bis 2012 bezogen auf das Gesamtjahr und die Sommermonate Juni bis August an der Station Bremen-Flughafen

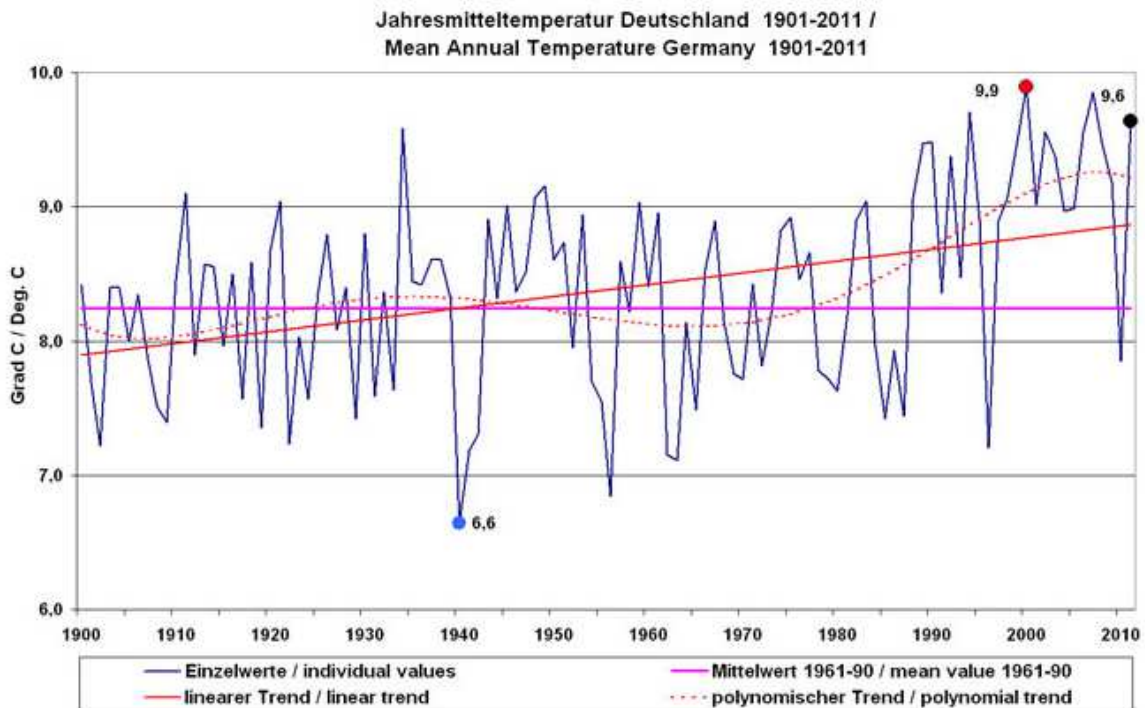


Abb. 14: Entwicklung der deutschlandweit gemittelten Jahresmitteltemperatur 1901 bis 2011

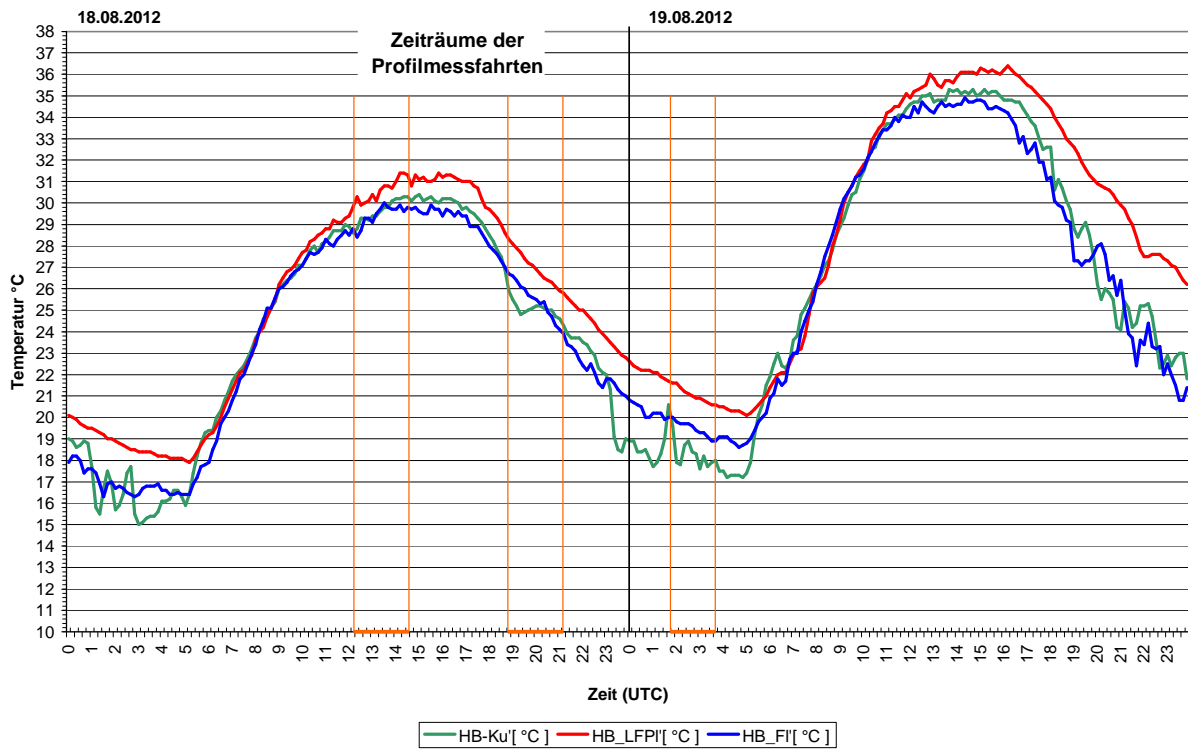
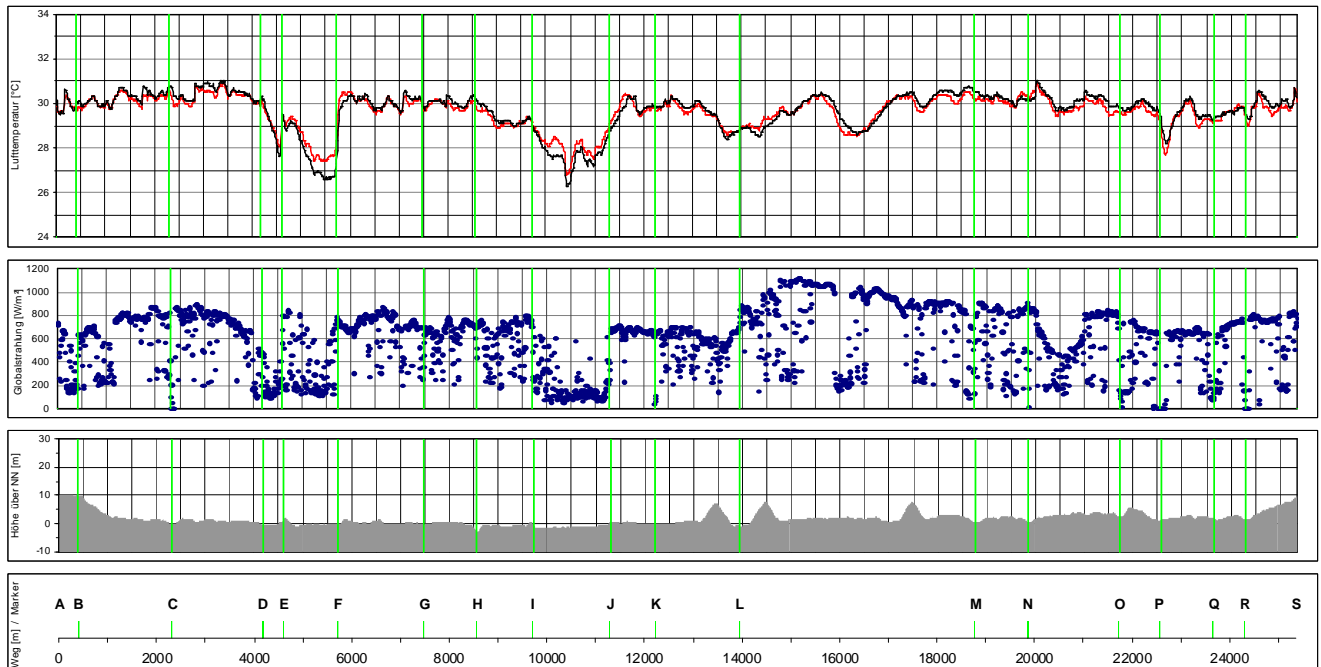


Abb. 15: Tagesgang der Temperatur an der Station Bremen-Flughafen (FI) und den temporären Stationen Lucie-Flechtmann-Platz (LFPI) und Kuhgrabenweg (Ku) am 18. und 19.08.2012.

STADTKLIMAUNTERSUCHUNGEN BREMEN, PROFILMESSFAHRTEN



BEREICH: Bremen Nordroute
AUSWERTUNGSZEITRAUM: 18.08.2012, 12:18 - 13:42 UTC



Marker:
 A (Start): Rathausplatz, B: Am Wall, C: Eisenbahnbrücke, D: Parkallee, E: Bürgerpark (Wind), F: Findorffallee/Hollerallee, G: Hemmstraße/Hollerallee, H: Eisenbahnbrücke, I: Wetterungsweg,
 J: Ampel Universitätsallee, K: Brücke Sparkasse, L: Wendestelle Kuhgraben, M: Eisenbahnbrücke B6, N: Brücke Osterfeuerbergstraße, O: Brücke B6, P: Eisenbahntunnel,
 Q: Ampel Hollersee, R: Eisenbahnbrücke, **S(Ziel):** Rathausplatz (Wind)

— Lufttemperatur 2,0m [°C]
 — Lufttemperatur 0,5m [°C]
 — Globalstrahlung [W/m²]

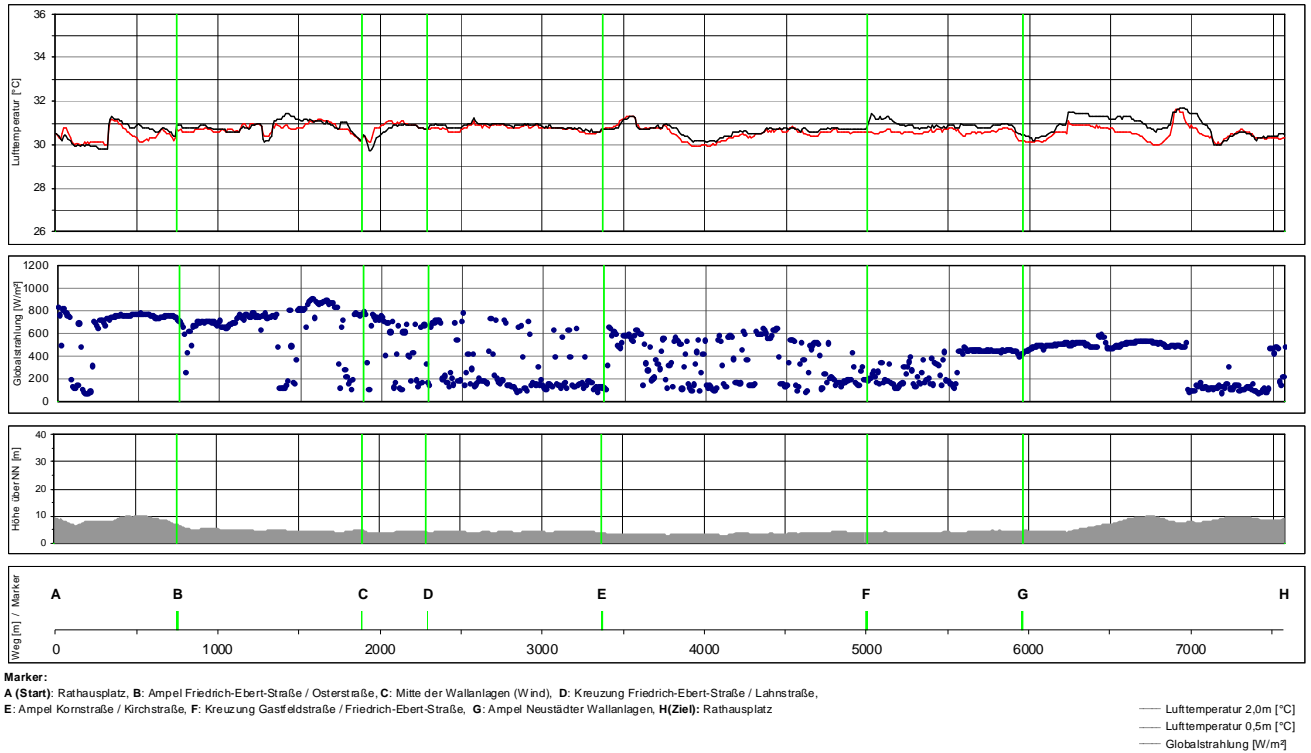
© DWD 08/2012he

Abb. 16a: Temperatur- und Globalstrahlungsverlauf während der nachmittäglichen Profilmessfahrt Route Nord

STADTKLIMAUNTERSUCHUNGEN BREMEN, PROFILMESSFAHRTEN



BEREICH: Bremen Südroute
AUSWERTUNGSZEITRAUM: 18.08.2012, 13:56 - 14:41 UTC



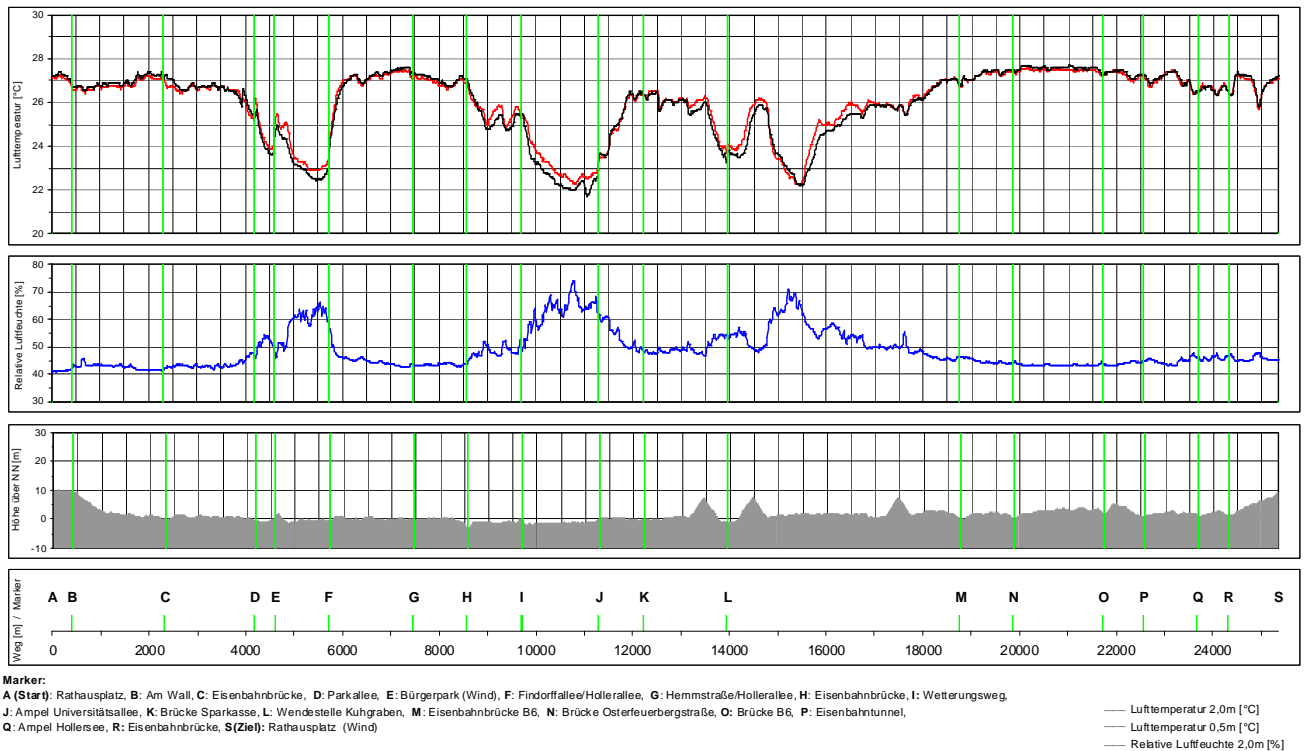
© DWD 08/2012sb

Abb. 16b: Temperatur- und Globalstrahlungsverlauf während der nachmittäglichen Profilmessfahrt Route Süd

STADTKLIMAUNTERSUCHUNGEN BREMEN, PROFILMESSFAHRTEN



BEREICH: Bremen Nordroute
AUSWERTUNGSZEITRAUM: 18.08.2012, 18:49 - 20:15 UTC



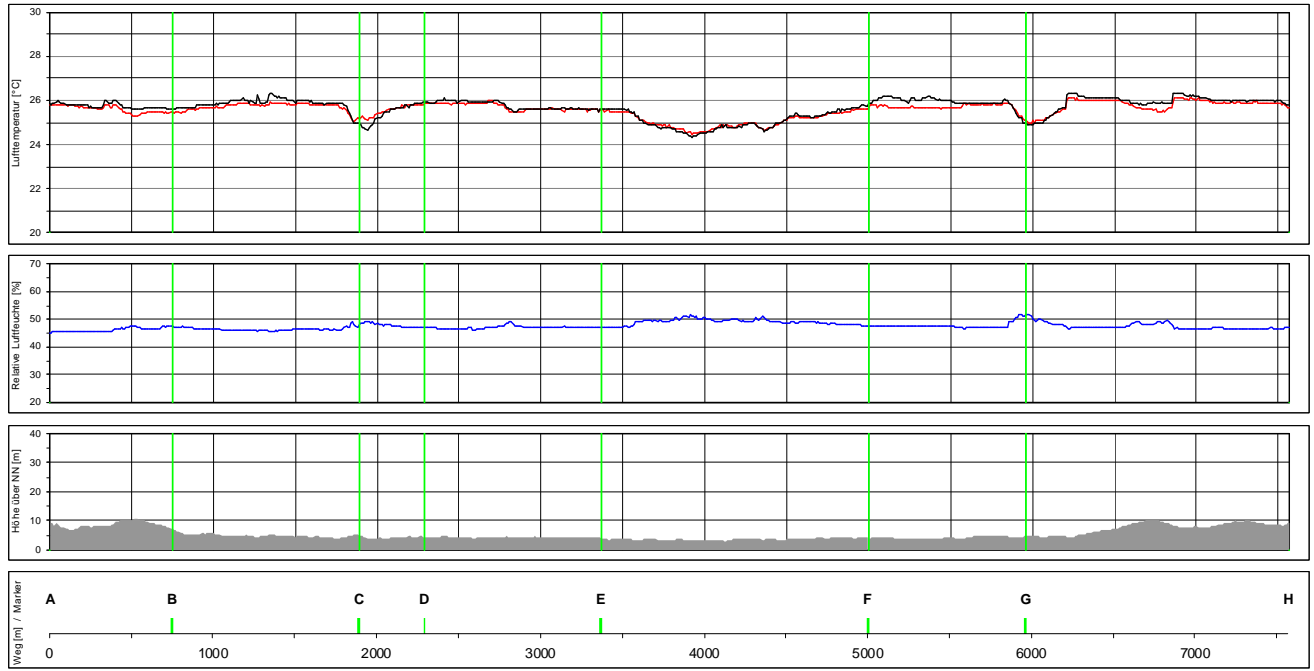
© DWD 08/2012he

Abb. 17a: Temperatur- und Feuchteverlauf während der abendlichen Profilmessfahrt Route Nord

STADTKLIMAUNTERSUCHUNGEN BREMEN, PROFILMESSFAHRTEN



BEREICH: Bremen Südroute
AUSWERTUNGSZEITRAUM: 18.08.2012, 20:35 - 21:13 UTC



Marker:
A (Start): Rathausplatz, **B:** Ampel Friedrich-Ebert-Straße / Osterstraße, **C:** Mitte der Wallanlagen (Wind), **D:** Kreuzung Friedrich-Ebert-Straße / Lahnstraße,
E: Ampel Kornstraße / Kirchstraße, **F:** Kreuzung Gastfeldstraße / Friedrich-Ebert-Straße, **G:** Ampel Neustädter Wallanlagen, **H (Ziel):** Rathausplatz

— Lufttemperatur 2,0m [°C]
 — Lufttemperatur 0,5m [°C]
 — Relative Luftfeuchte 2,0m [%]

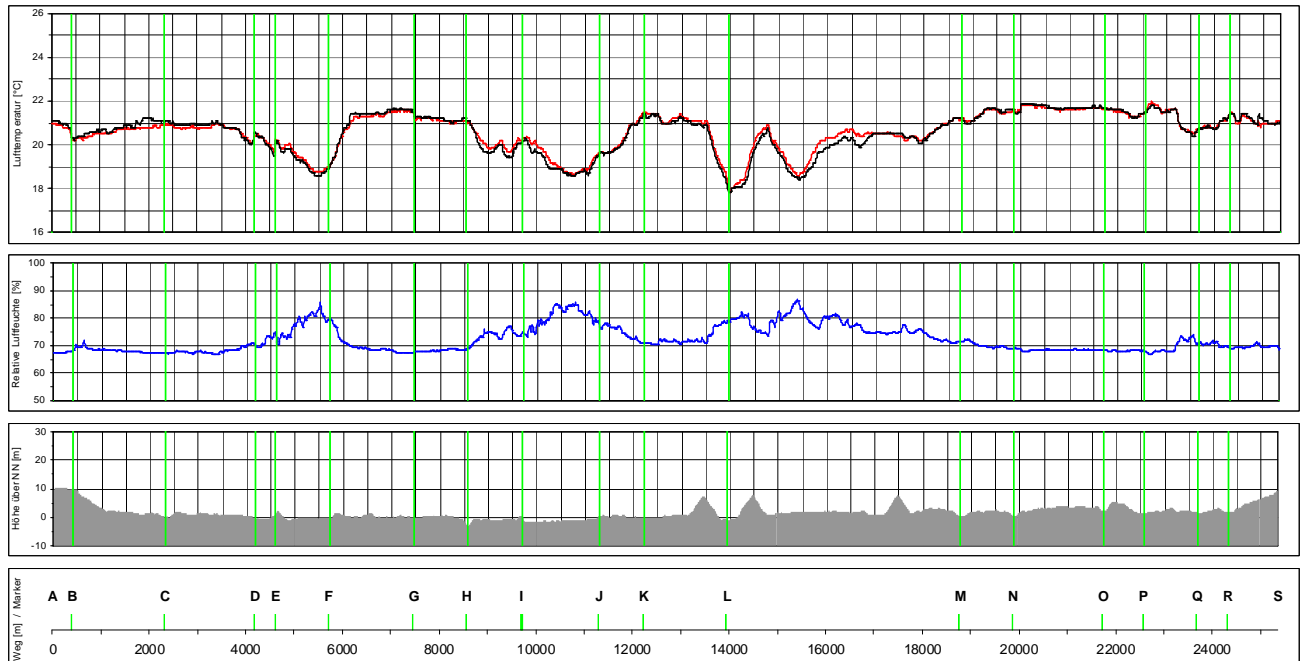
© DWD 08/2012sb

Abb. 17b: Temperatur- und Feuchteverlauf während der abendlichen Profilmessfahrt Route Süd

STADTKLIMAUNTERSUCHUNGEN BREMEN, PROFILMESSFAHRTEN



BEREICH: Bremen Nordroute
AUSWERTUNGSZEITRAUM: 19.08.2012, 01:49 - 02:57 UTC



Marker:
A (Start): Rathausplatz, **B:** Am Wall, **C:** Eisenbahnbrücke, **D:** Parkallee, **E:** Bürgerpark (Wind), **F:** Findorffallee/Hollerallee, **G:** Hemmstraße/Hollerallee, **H:** Eisenbahnbrücke, **I:** Wetterungsweg,
J: Ampel Universitätsallee, **K:** Brücke Sparkasse, **L:** Wendestelle Kuhgraben, **M:** Eisenbahnbrücke B6, **N:** Brücke Osterfeuerbergstraße, **O:** Brücke B6, **P:** Eisenbahntunnel,
Q: Ampel Hollersee, **R:** Eisenbahnbrücke, **S (Ziel):** Rathausplatz (Wind)

— Lufttemperatur 2,0m [°C]
 — Lufttemperatur 0,5m [°C]
 — Relative Luftfeuchte 2,0m [%]

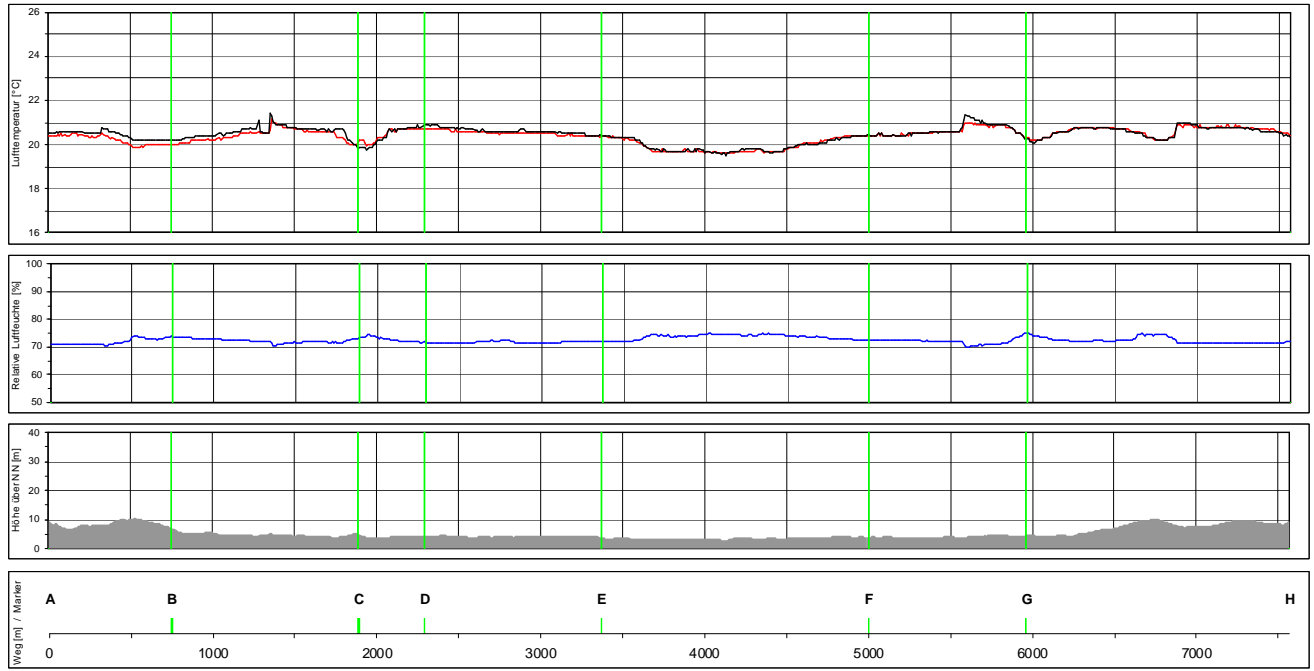
© DWD 08/2012he

Abb. 18a: Temperatur- und Feuchteverlauf während der morgendlichen Profilmessfahrt Route Nord

STADTKLIMAUNTERSUCHUNGEN BREMEN, PROFILMESSFAHRTEN



BEREICH: Bremen Südroute
AUSWERTUNGSZEITRAUM: 19.08.2012, 03:09 - 03:44 UTC



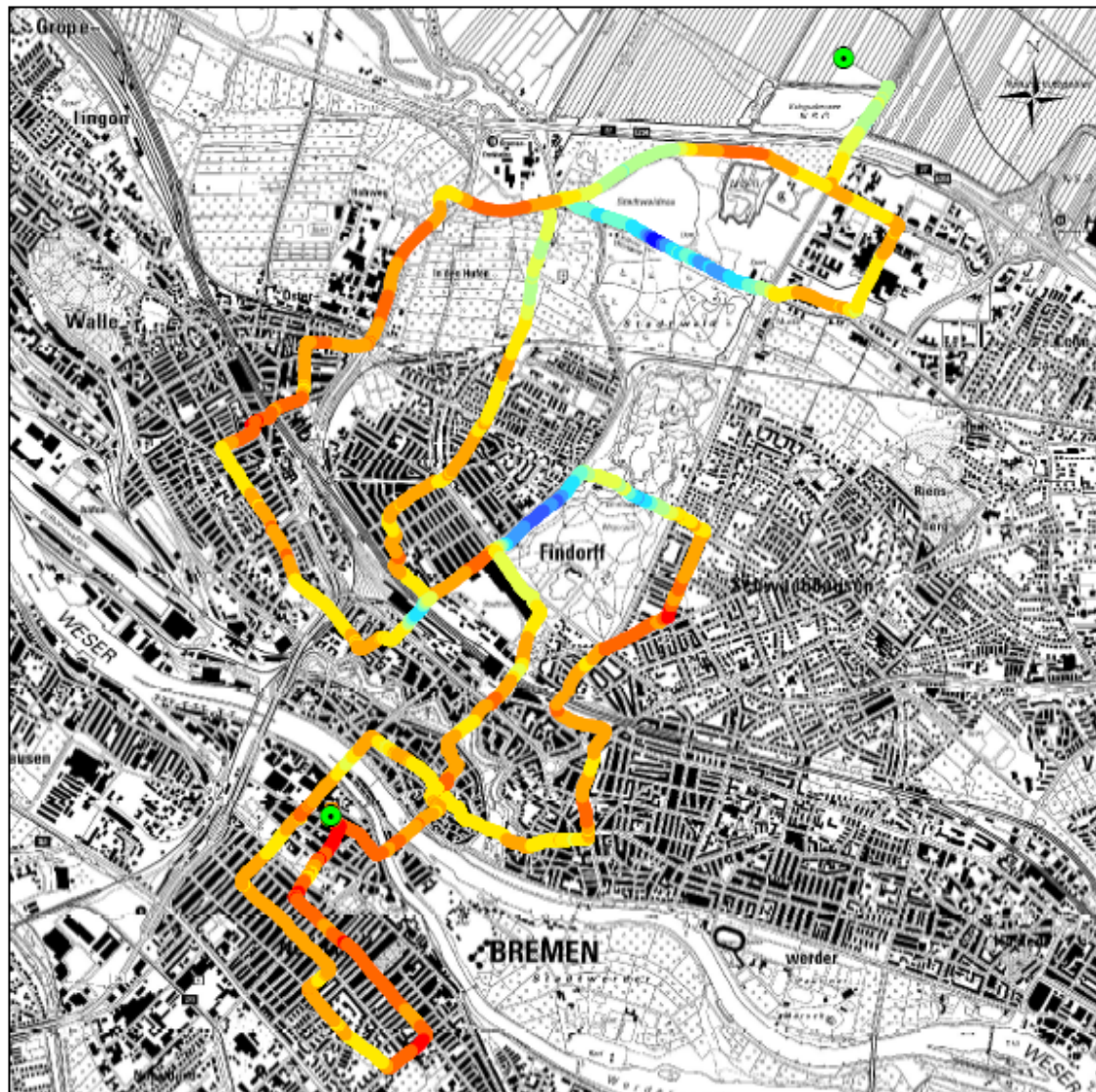
Marker:
A (Start): Rathausplatz, **B:** Ampel Friedrich-Ebert-Straße / Osterstraße, **C:** Mitte der Wallanlagen (Wind), **D:** Kreuzung Friedrich-Ebert-Straße / Lahnstraße,
E: Ampel Kornstraße / Kirchstraße, **F:** Kreuzung Gastfeldstraße / Friedrich-Ebert-Straße, **G:** Ampel Neustädter Wallanlagen, **H(Ziel):** Rathausplatz

— Lufttemperatur 2.0m [°C]
 — Lufttemperatur 0.5m [°C]
 — Relative Luftfeuchte 2.0m [%]

© DWD 08/2012sb

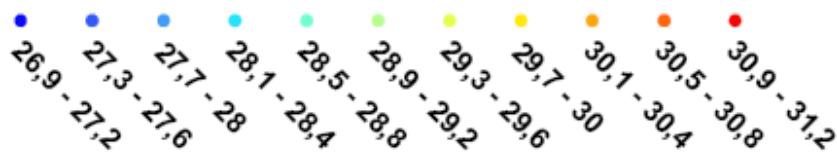
Abb. 18b: Temperatur- und Globalstrahlungsverlauf während der morgendlichen Profilmessfahrt Route Süd

18.08.2012, 12:18 - 14:39 UTC



Geobasisinformation © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

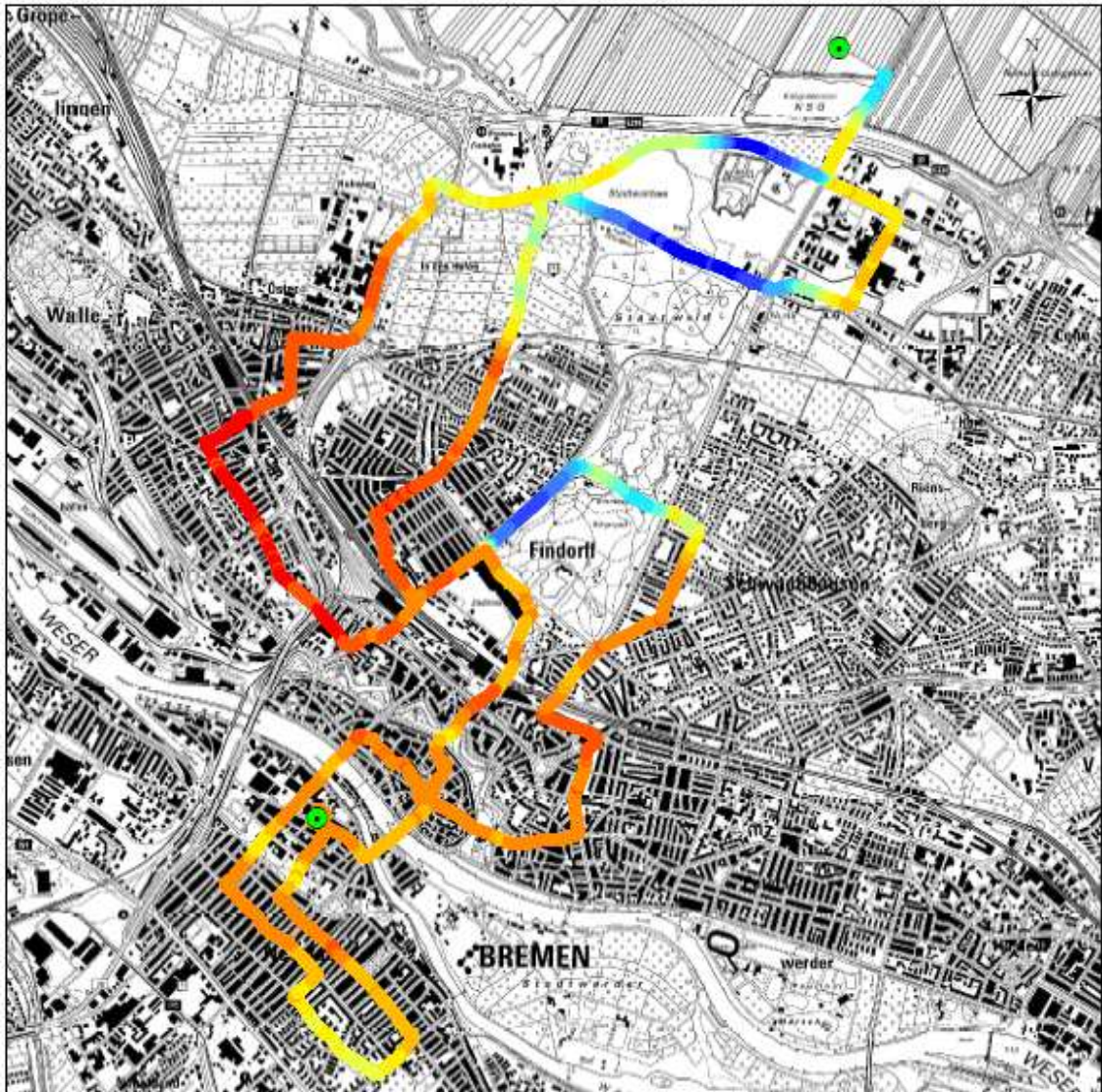
Lufttemperatur in °C



● Temporäre Wetterstationen

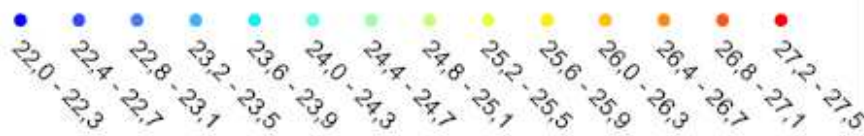
Abb. 19.: Temperaturverlauf während der nachmittäglichen Profilmessfahrt auf der Nord- und Südroute (Temperaturen normiert auf zeitlichen Mittelpunkt der Fahrt)

18.08.2012, 18:50 - 21:11 UTC



Geobasisinformation © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

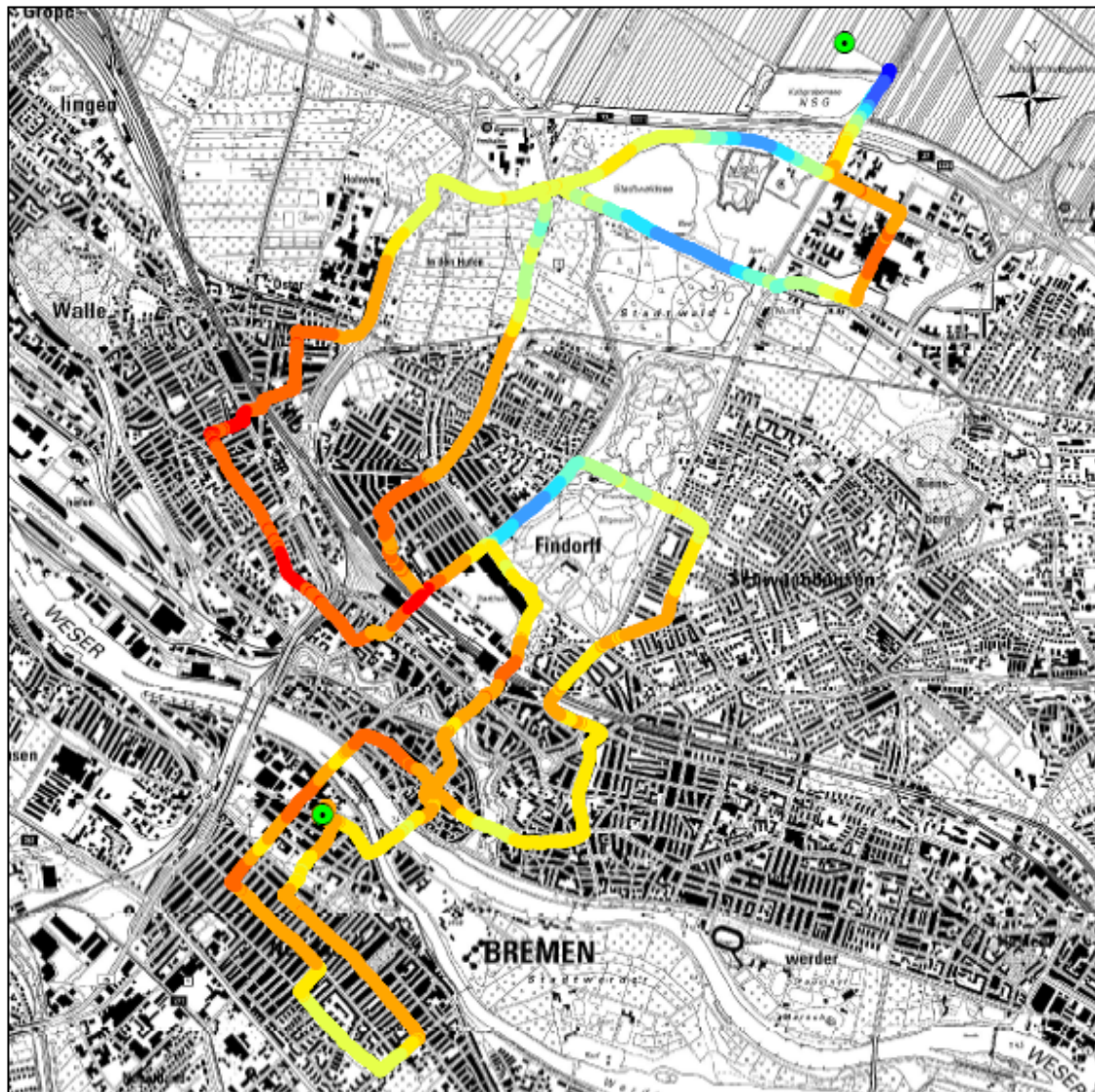
Lufttemperatur in °C



● Temporäre Wetterstationen

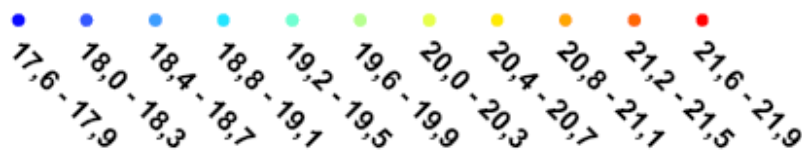
Abb. 20.: Temperaturverlauf während der abendlichen Profilmessfahrt auf der Nord- und Südroute (Temperaturen normiert auf zeitlichen Mittelpunkt der Fahrt)

19.08.2012, 01:50 - 03:43 UTC



Geobasisinformation © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

Lufttemperatur in °C



● Temporäre Wetterstationen

Abb. 21.: Temperaturverlauf während der morgendlichen Profilmessfahrt auf der Nord- und Südroute (Temperaturen normiert auf zeitlichen Mittelpunkt der Fahrt)

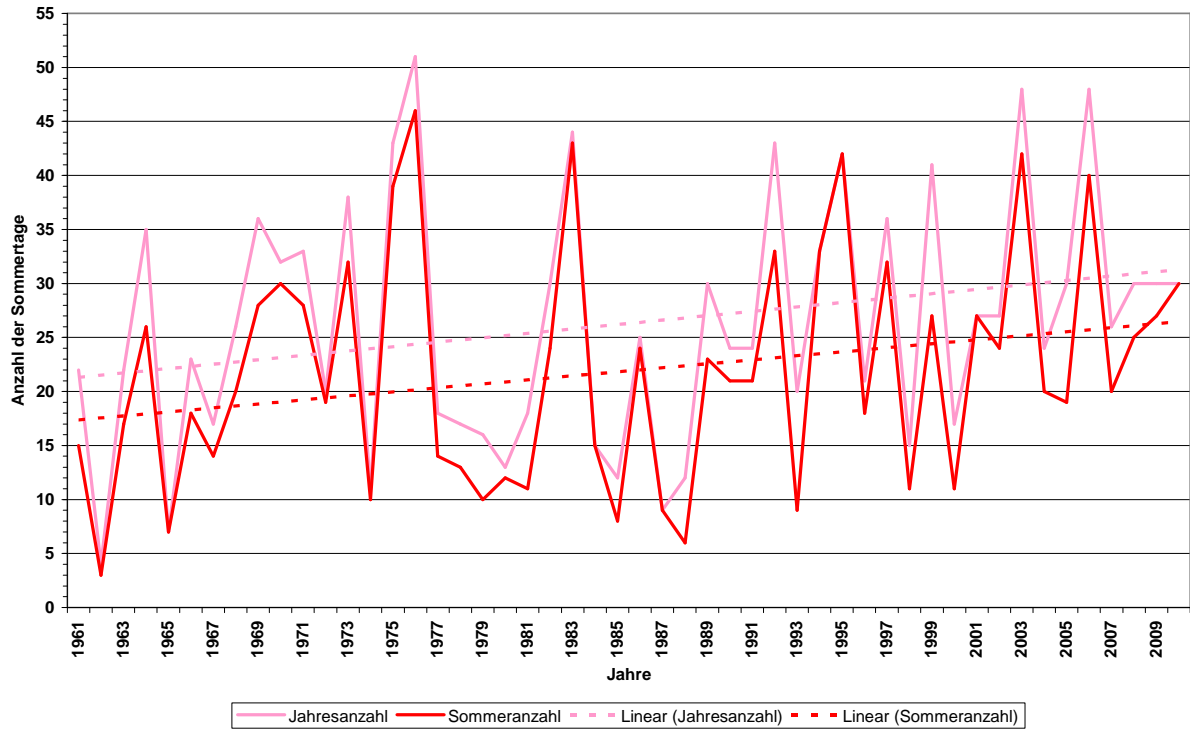


Abb. 22: Anzahl der Sommertage bezogen auf das Gesamtjahr und die Sommermonate Juni bis August an der Station Bremen-Flughafen

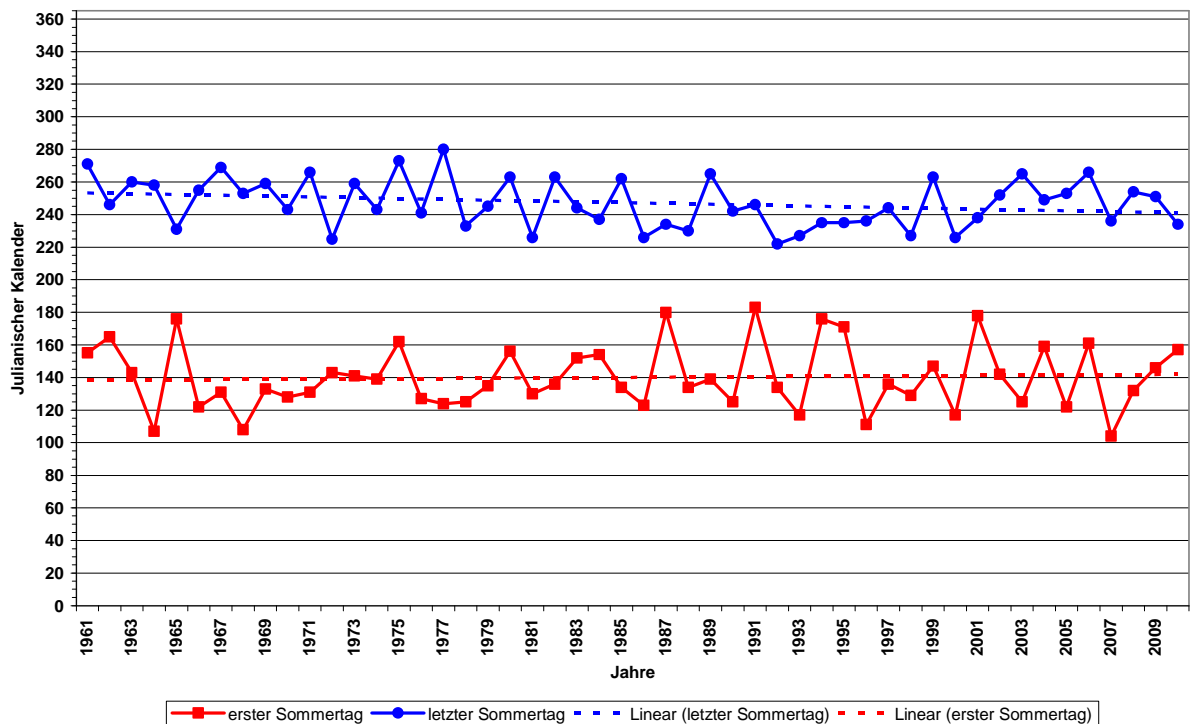


Abb. 23: Jährliche Entwicklung des Auftretens des ersten und letzten Sommertages im Jahr (Basisdaten Bremen-Flughafen)

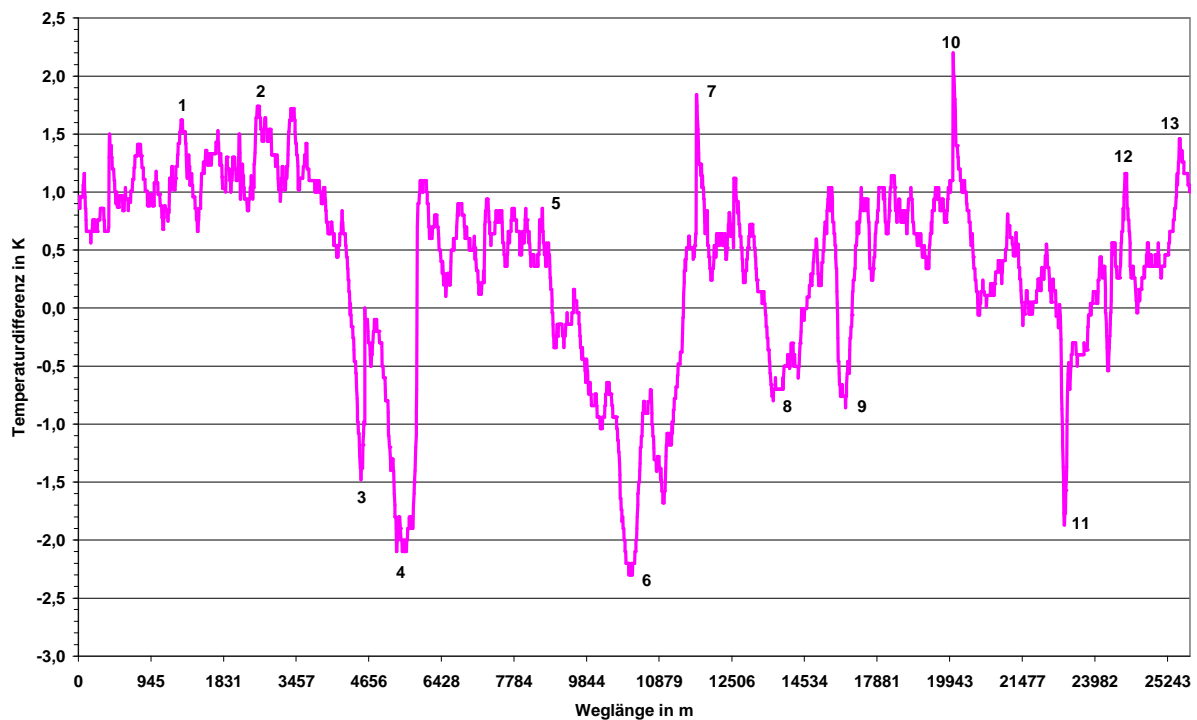


Abb. 24: Temperaturdifferenzen auf der Profifahrtstrecke zur Station Bremen-Flughafen:
Nordroute – nachmittags; Markante Punkte durchnummeriert:

- 1 Am Dobben
- 2 Parkallee
- 3 Bürgerpark
- 4 Findorffallee
- 5 Hemmstraße (vor Eisenbahnbrücke)
- 6 Wetterungsweg
- 7 Universitätsallee
- 8 Kuhgrabenweg
- 9 Hochschulring (Höhe Stadtwaldsee)
- 10 Waller Heerstraße
- 11 Kaufmannsmühlenkamp (Eisenbahntunnel)
- 12 Bahnhofsvorplatz
- 13 Domshof

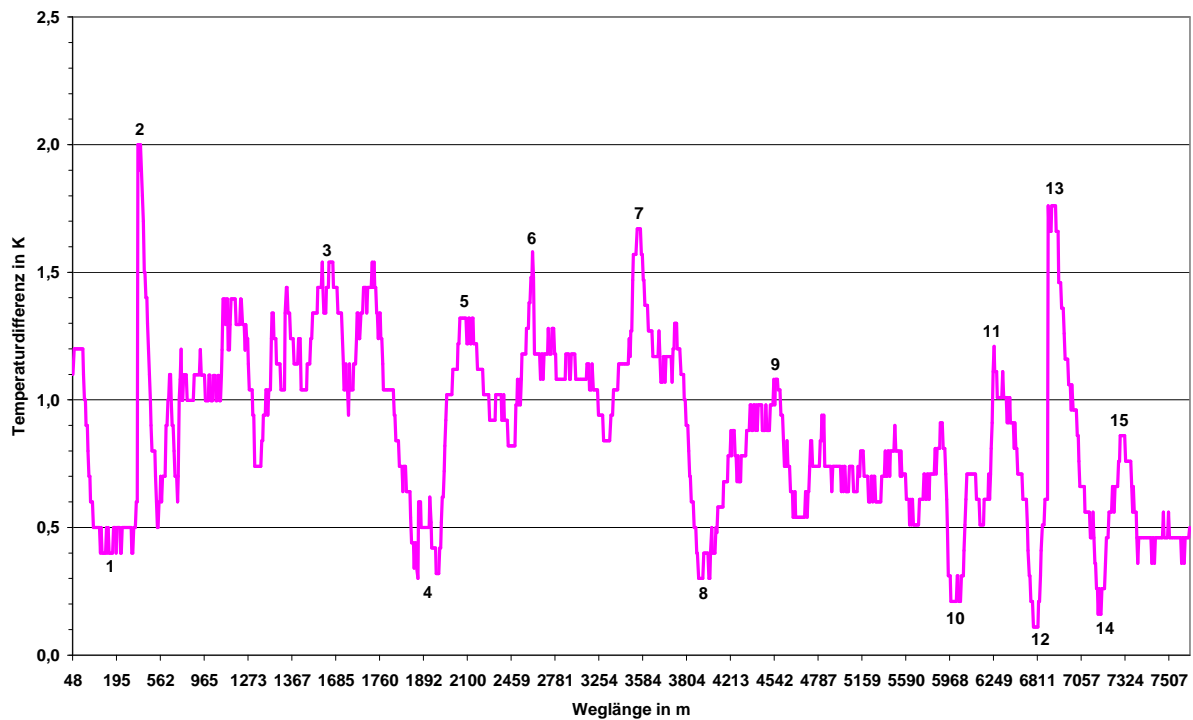


Abb. 25: Temperaturdifferenzen auf der Profifahrtstrecke zur Station Bremen-Flughafen: Südroute – nachmittags; Markante Punkte durchnummeriert:

- 1 Marktstraße (im Schatten)
- 2 Balgebrückstraße (in Sonne)
- 3 Süderstraße
- 4 Neustädter Wallanlagen
- 5 Delmestraße
- 6 Kornstraße
- 7 Kirchweg
- 8 Thedinghauser Straße/Kirchweg
- 9 Thedinghauser Straße
- 10 Langemarckstraße (Neustädter Wallanlagen)
- 11 Langemarckstraße
- 12 Bürgermeister-Smidt-Straße (Weser)
- 13 Bürgermeister-Smidt-Straße/Hutfilterstraße
- 14 Hutfilterstraße/Obernstraße
- 15 Obernstraße

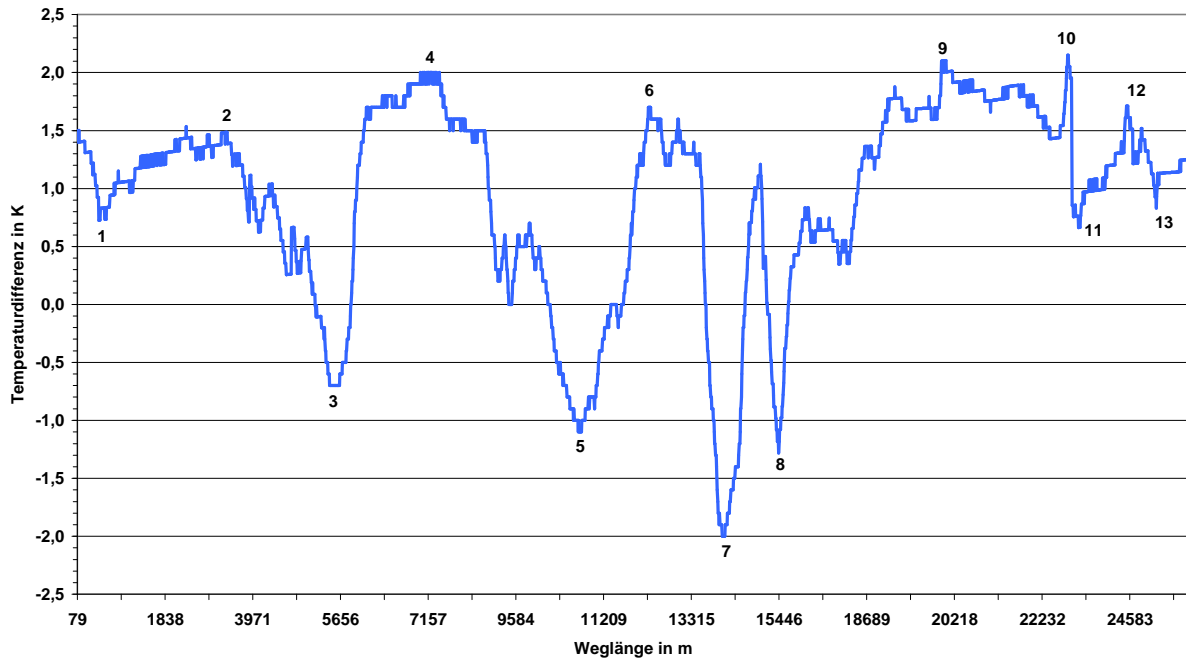


Abb. 26: Temperaturdifferenzen auf der Profifahrtstrecke zur Station Bremen-Flughafen: Nordroute – morgens; Markante Punkte durchnummeriert:

- 1 Am Wall
- 2 Wachmannstraße/Hartwigstraße
- 3 Findorffallee
- 4 Hemmstraße
- 5 Wetterungsweg
- 6 Universität (zentraler Gebäudekomplex)
- 7 Kuhgrabenweg (Wendestelle)
- 8 Hochschulring (Höhe NSG)
- 9 Walle
- 10 Kaufmannsmühlenweg (Eisenbahntunnel)
- 11 Hollerallee (Höhe Bürgerpark)
- 12 Gustav-Dejten-Tunnel/Bahnhofvorplatz
- 13 Herdentor (Wallanlagen)

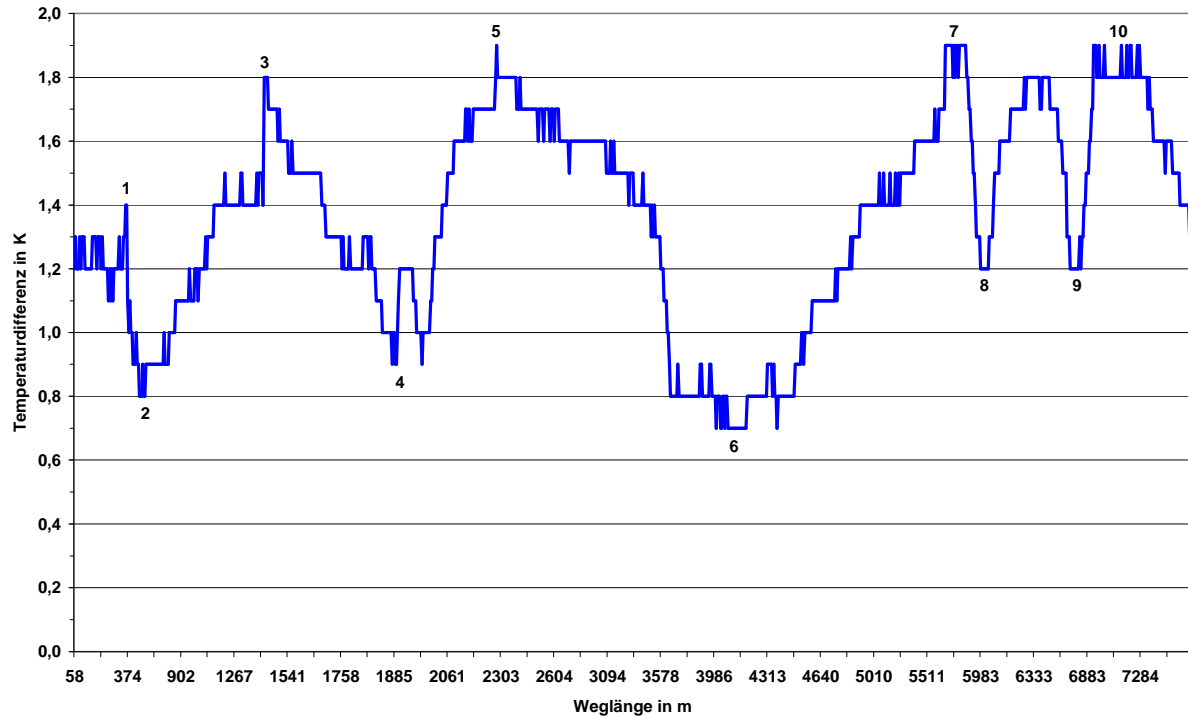


Abb. 27: Temperaturdifferenzen auf der Profifahrtstrecke zur Station Bremen-Flughafen:
Südroute – morgens; Markante Punkte durchnummeriert:

- 1 Balgebrückstraße
- 2 Wilhelm-Kaisen-Brücke (Weser)
- 3 Lucie-Flechtmann-Platz
- 4 Neustädter Wallanlagen
- 5 Lahnstraße
- 6 Thedinghausener Straße
- 7 Pappelstraße
- 8 Langemarckstraße (Neustädter Wallanlagen)
- 9 Bürgermeister-Smidt-Straße (Weser)
- 10 Bürgermeister-Smidt-Brücke/Hufilterstraße

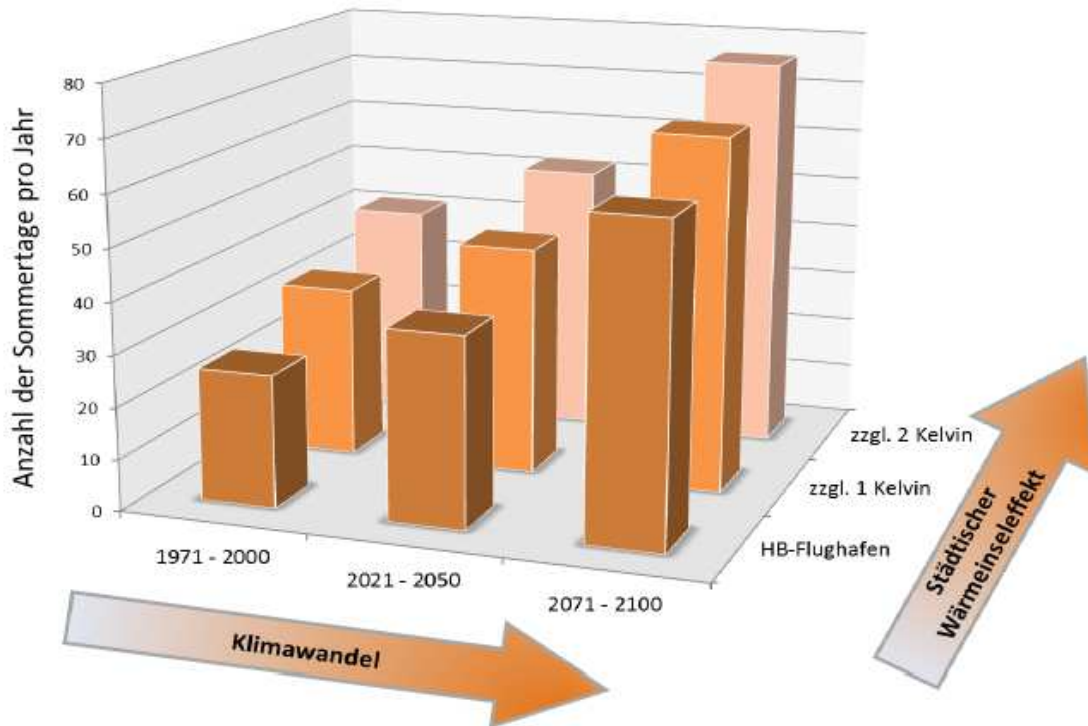


Abb. 28: Klimawandelbedingte Veränderung (85. Perzentil) der Anzahl der Sommertage im Stadtgebiet Bremen unter Berücksichtigung des städtischen Wärmeinseleffekts (Abbildung durch Dr. Voßeler, Senator für Umwelt, Bau und Verkehr, Bremen)

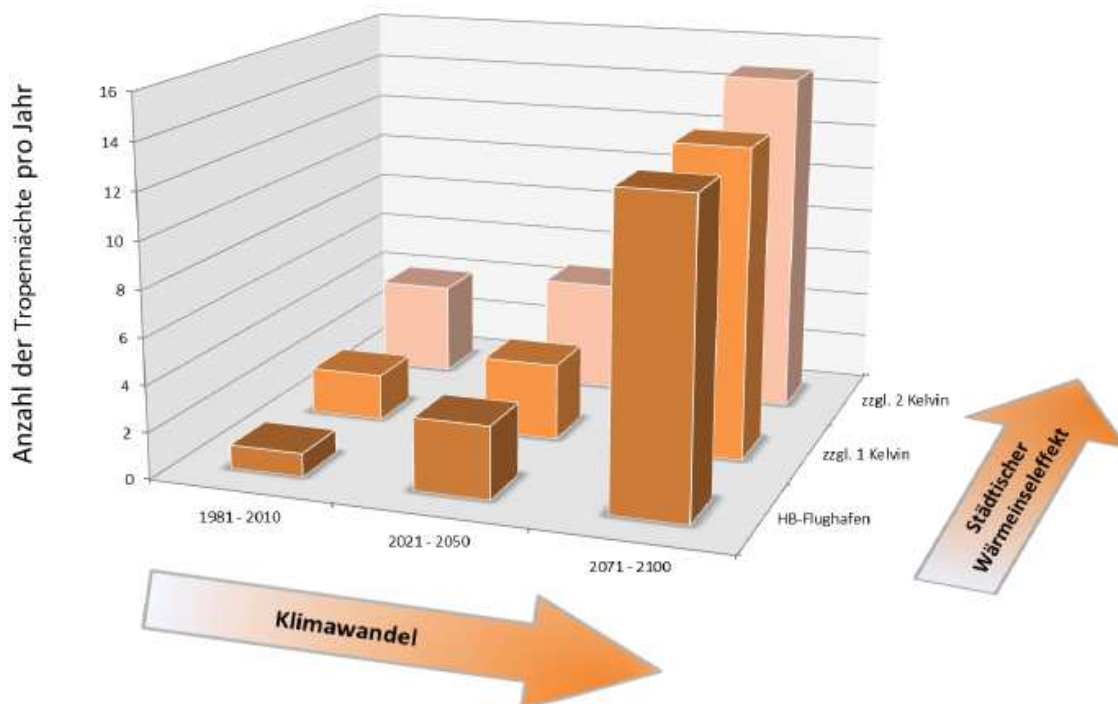


Abb. 29: Klimawandelbedingte Veränderung (85. Perzentil) der Anzahl der Tropennächte im Stadtgebiet Bremen unter Berücksichtigung des städtischen Wärmeinseleffekts (Abbildung durch Dr. Voßeler, Senator für Umwelt, Bau und Verkehr, Bremen)