



Kurzfassung

Untersuchung zum Stadtklima der Landeshauptstadt Hannover

Auftraggeber: Stadt Hannover
Fachbereich Umwelt und Stadtgrün
Arndtstraße 1
30167 Hannover

Wissenschaftliche Bearbeitung: Dipl.-Met. Gabriele Krugmann
Dr. Stefanie Bauditz

Hamburg, 12.08.2022

Dr. Birger Tinz
Leiter Regionales Klimabüro
Hamburg

Dipl.-Met. Gabriele Krugmann
Regionales Klimabüro 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, Motivation	3
2	Untersuchungsgebiet – Lage der Stadt Hannover	3
3	Daten und Methoden	3
4	Klimatologische Zeitreihen an der Wetterstation Hannover.....	5
	Lufttemperatur	5
	Ereignistage der Temperatur	5
	Sommerliche Höchsttemperaturen	6
	Die Andauerzeiten sommerlicher Hitzeperioden	7
5	Die temporären Messstationen in Hannover	8
	Die Temperaturmessungen an den Hannoveraner Stationen im Vergleich.....	10
6	Studie mit dem Stadtklimamodell MUKLIMO_3.....	15
	Das Temperaturfeld.....	16
7	Die Profilmessfahrten	19
	Messfahrten auf zwei Routen	19
8	Die Straßenbahnmessungen	22

1 Einleitung, Motivation

Die Stadtklimatologie hat erheblich an Bedeutung gewonnen, da die klimatischen und lufthygienischen Änderungen in urbaner Umgebung Anpassungsmaßnahmen durch die städtischen Verantwortlichen erfordern. Durch umwelt- und klimagerechte Stadtplanung muss der Wärmeinseleffekt vermindert werden, um für die Bewohner ein lebenswertes, wenig belastendes Umfeld zu schaffen. Mit der zusätzlichen Erwärmung auf Grund des bestehenden Klimawandels wird das allgemeine Temperaturniveau einer Region nochmals angehoben, wobei der relative Temperaturunterschied zwischen Stadt und Umland allerdings keine Änderung erfährt. Insgesamt werden sich also Wärme-belastende Wettersituationen in Andauer und Ausmaß verstärken und dabei die Ausprägung der städtischen Wärmeinsel weiter verschärfen.

Im Rahmen des vorbeugenden Katastrophenschutzes arbeiten das Land Niedersachsen und der Deutsche Wetterdienst auf der Grundlage der Verwaltungsvereinbarung vom 18.01.2013 eng zusammen. Neben dem Katastrophenschutz ist es erforderlich, durch eine gut geplante Katastrophenvorsorge die Auswirkungen extremer Wetterereignisse durch eine Reduzierung der Vulnerabilität gefährdeter Bevölkerungsgruppen und Strukturen im Vorfeld zu mindern. Dieses Vorgehen ist in der „Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ der Bundesregierung bereits dargelegt. Danach ist die Entwicklung einer entsprechenden lokalen Strategie zu den Sektoren der Anpassung notwendig.

Der hier vorliegende Bericht ist eine Kurzfassung des Abschlussberichtes.

2 Untersuchungsgebiet – Lage der Stadt Hannover

Hannover ist die Landeshauptstadt des Bundeslandes Niedersachsen und liegt im Norddeutschen Tiefland. Zwischen der Calenberger und der Braunschweig-Hildesheimer Lössbörde sowie der Hannoverschen Moorgeest im Norden liegt der Verdichtungsraum Hannover im Tal der Leine. Die Stadtfläche umfasst etwa 350 km² und ist stark strukturiert. Das Stadtbild wird geprägt durch einen großen Anteil an Grünflächen, eine große sowie weitere kleinere Wasserflächen und einige Flussläufe. Viele Stadtbereiche sind durch Grüngürtel voneinander getrennt. Hannover liegt im Mittel etwa 55 m über NHN, die höchsten Erhebungen in der Stadt sind der Kronsberg mit 118 m über NHN und der Lindener Berg mit 89 m über NHN.

3 Daten und Methoden

Für die Untersuchung des Stadtklimas in Hannover standen bislang keine geeigneten meteorologischen Daten zur Verfügung. Die Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes Hannover-Langenhagen (WMO 10338) befindet sich auf dem Gelände des Flughafens von Hannover. Die Station liegt am Stadtrand in einer freien und ungestörten Umgebung, wie es die internationalen Vereinbarungen zur Vergleichbarkeit weltweiter meteorologischer Messungen vorgeben. Von dieser Station stehen vieljährige Klimadaten zur Beschreibung der historischen Zustandsentwicklung zur Verfügung. In Kapitel 4 werden die Klimaverhältnisse an der Station Langenhagen ausführlich betrachtet.

Für dieses Stadtklimaprojekt wurden vom Deutschen Wetterdienst, in Abstimmung mit der Stadt Hannover, Fachbereich Umwelt und Stadtgrün, mehrere Standorte ausgewählt, an denen für

die Dauer von dreieinhalb Jahren temporäre Wetterstationen eingerichtet worden sind. Die Ergebnisse der Messungen an den temporären Stationen werden in Kapitel 5 zusammengefasst. Die Lage der Stationen im Stadtgebiet zeigt Abbildung 3.1.

- Mit dem Standort Weidendamm (WD) im Stadtteil Nordstadt ist ein perfekter Platz für eine innerstädtische Wetterstation gefunden worden. Nach dem Ende der Messkampagne für das Stadtklimaprojekt wird vom DWD an diesem Standort eine Stadtklimastation eingerichtet werden. Damit werden in Hannover auch in Zukunft meteorologische Daten für stadtklimatische Fragestellungen zur Verfügung stehen.
- Der Standort Marianne-Baecker-Allee 11 (MB) liegt in einem Gewerbegebiet im Stadtteil Linden-Süd.
- Am Standort Kattenbrookspark (KP) in Kronsberg, im Stadtteil Bemerode, wurde eine Freifläche in einem Park gewählt.
- Die Straßenbahnhaltstelle Kröpcke, nahe Hauptbahnhof, ist ein Knotenpunkt im Straßenbahnnetz mit mehreren unterirdischen Plattformen. In den Ebenen -3 und -5 wurden zwei temporäre Messstationen eingerichtet (K-3, K-5).



Abbildung 3.1: Lage der Messstationen im Stadtgebiet. Temporäre Stationen: WD = Weidendamm, MB = Marianne-Baecker-Allee, KP = Kattenbrookspark, K-3 = Kröpcke, Ebene -3 und Ebene -5. Permanente Stationen: LH = Langenhagen (DWD), HE = Herrenhausen (IMuK).

Karte: Auszug aus den Geobasisdaten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung, © 2022



Das Stadtklima kann prinzipiell auch mit einem Stadtklimamodell untersucht werden. Für das Stadtklimaprojekt Hannover wurde eine Studie mit dem Stadtklimamodell MUKLIMO_3 durchgeführt und ein typischer Sommertag im Juli simuliert. Die Ergebnisse werden in Kapitel 6 vorgestellt.

In Ergänzung zu den stationären Messungen sind in den Jahren 2018, 2019 und 2020 während sommerlicher Hochdrucklagen im Stadtgebiet von Hannover Messfahrten mit einem speziell ausgerüsteten PKW durchgeführt worden, siehe Kapitel 7. Dabei wurden Temperatur und relative Luftfeuchte auf zwei festen Routen und zu verschiedenen Tageszeiten gemessen. Während sommerlicher Wetterlagen kann sich die städtische Wärmeinsel besonders markant ausprägen.

Ein weiterer wichtiger Teilbereich des Stadtklimaprojektes Hannover waren mobile Messungen mit Straßenbahnen. Der große Vorteil von Straßenbahnmessungen ist eine hohe zeitliche und ausgedehnte räumliche Erfassung meteorologischer Daten im städtischen Lebensraum. Dazu wurden drei Straßenbahnwagen mit

Messgeräten (Temperatur, Luftfeuchte) im Außenbereich ausgestattet. In einer der Trams wurden auch Innenraummessungen gemacht. Die Ergebnisse werden in Kapitel 8 dargestellt.

4 Klimatologische Zeitreihen an der Wetterstation Hannover

Von der Wetterstation Hannover liegen langjährige meteorologische Mess- und Beobachtungsdaten in einer sehr guten Qualität seit 1946 vor. In dieser Kurzfassung des Abschlussberichtes wird nur auf die Lufttemperatur eingegangen, mit einem besonderen Fokus auf sommerliche Verhältnisse. Auswertungen für weitere Parameter, wie Niederschlagshöhe, Sonnenscheindauer und Wind, werden ausführlich im Abschlussbericht präsentiert.

Lufttemperatur

Die Jahresmitteltemperaturen in Hannover-Langenhagen weisen von Jahr zu Jahr markante Schwankungen auf. Der Mittelwert im Zeitraum 1946-2020 beträgt 9,3 °C. Das kälteste Jahr war 1956 mit einer Jahresmitteltemperatur von 7,3 °C, das wärmste Jahr 2020 mit 11,3 °C, Die vier wärmsten Jahre sind alle im Zeitraum 2010 bis 2020 zu finden. Insgesamt ist in den hier betrachteten 75 Jahren ein klarer Trend zu höheren Temperaturen zu verzeichnen.

Ereignistage der Temperatur

Aus den kontinuierlich gemessenen Temperaturen können Temperatur-Ereignistage bestimmt werden. Erreicht oder überschreitet an einem Tag die Höchsttemperatur die 25 °C-Marke, wird der Tag als Sommertag gezählt, ab der Schwelle von 30 °C ist es ein Hitzetag. Ausgesprochen warme Nächte, in denen es nicht unter 20 °C abkühlt, werden als Tropennächte bezeichnet. Die Häufigkeit von Sommertagen, Hitzetagen und Tropennächten schwankt von Jahr zu Jahr, der Trend zeigt aber konstant nach oben. Die Tabelle 4.1 gibt für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2020 die mittleren monatlichen Anzahlen für diese Temperatur-Ereignistage an der Station Hannover-Langenhagen an.

Ereignistage	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	Zeitraum
Sommertage (Tagesmaximum ≥ 25 °C)				0,3	2,2	5,7	8,5	7,3	1,8	0,2			26,0	1961-1990
				0,6	3,1	6,8	11,7	10,6	3,0	0,2			36,0	1991-2020
Hitzetage (Tagesmaximum ≥ 30 °C)					0,0	0,6	1,9	1,5	0,0				4,0	1961-1990
					0,1	1,1	3,3	2,9	0,3				7,7	1991-2020
Tropennächte (Nachtminimum ≥ 20 °C)					0,0	0,1	0,0	0,0					0,2	1961-1990
					0,0	0,2	0,5	0,3	0,0				1,1	1991-2020

Tabelle 4.1: Ereignistage der Lufttemperatur pro Monat in Hannover-Langenhagen für die Zeiträume 1961-1990 (grün), und 1991-2020 (lila).

Hinweis: 0,0 = mittlere Anzahl kleiner als 0,05/Monat.

Im vieljährigen Mittel (1991-2020) gab es 36 Sommertage pro Jahr, welche sich vorrangig auf die Monate Juni, Juli und August verteilen, aber auch bereits im April und noch im Oktober vorkommen können. Im Zeitraum 1961-1990 waren es noch 10 Tage weniger. Allgemein ist die Anzahl der Sommertage von Jahr zu Jahr sehr variabel, so war im Juli 2006 mit 27 Sommertagen fast jeder Tag ein Sommertag, hingegen gab es im Juli 2000 nur einen Sommertag. Das

Jahr mit den bisher meisten Sommertagen war mit großem Abstand 2018, hier gab es 78 Sommertage. Das Schlusslicht bildet das Jahr 1962 mit nur 6 Sommertagen.

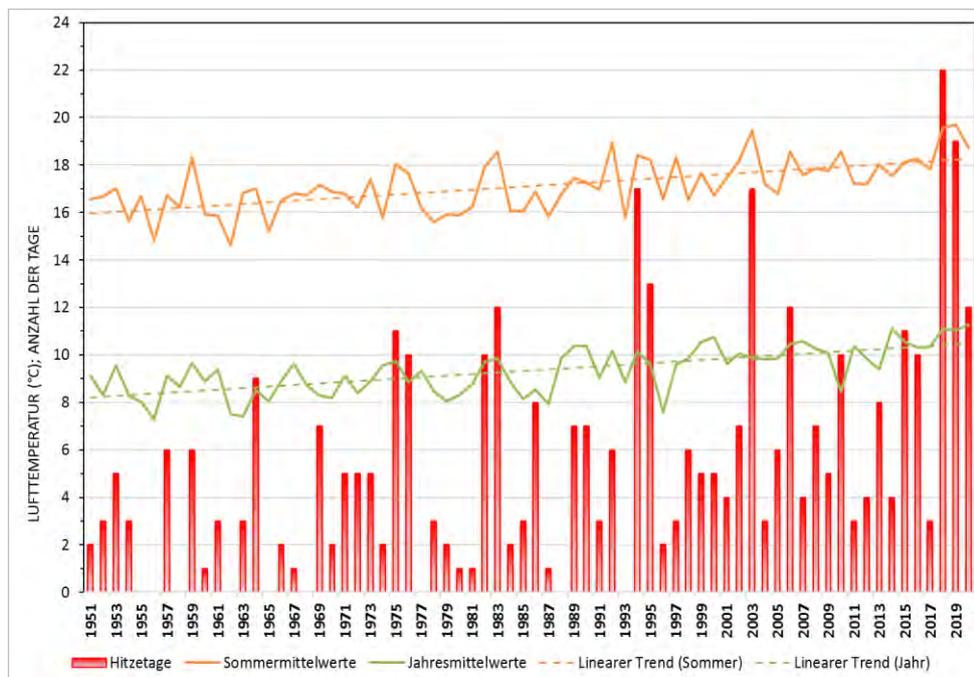
Hitzetage treten wesentlich seltener auf. Sie kamen bisher ausschließlich von Mai bis September vor, mit einem Maximum im Juli. Die mittlere Anzahl hat sich in den vergangenen Jahrzehnten von 4 Tagen (1961-1990) auf rund 8 Tage (1991-2020) verdoppelt. Erwähnenswert sind die Jahre 2003 und 1994 mit jeweils 17 Hitzetagen und das Jahr 2018 mit insgesamt 22 Hitzetagen. In manchen Jahren wurde gar kein Hitzetag registriert.

Die sogenannten Tropennächte (Nachtminimum der Lufttemperatur sinkt nicht unter 20 °C) kamen im Zeitraum 1991-2020 im Mittel einmal pro Jahr vor, insgesamt gab es in diesen 30 Jahren 32 Tropennächte. Damit hat sich die Anzahl der Tropennächte im Vergleich zum Zeitraum 1961-1990 verfünffacht. 2010 ist mit insgesamt 5 Tropennächten das Jahr mit der bisher größten Anzahl.

Sommerliche Höchsttemperaturen

Im Zeitraum Januar 1946 bis Dezember 2020 hat es in Hannover-Langenhagen insgesamt 409 Hitzetage, also Tage mit Höchsttemperaturen von mindestens 30 °C, gegeben; insgesamt 17 Mal erreichten die Höchstwerte sogar 35 °C und mehr. Während der Hitzewelle im Juli 2019 wurden in ganz Deutschland - und auch in Niedersachsen - verbreitet neue Temperaturrekorde erreicht. In Langenhagen stieg die Temperatur am 25.07.2019 bis auf 37,9 °C. Das ist der zweithöchste Wert in der hannoverschen Temperatur-Hitliste. Das absolute Maximum wurde am 21.08.1943 an der damaligen Wetterstation in Vahrenwald gemessen, es beträgt 38,0 °C.

Die Sommermonate in Norddeutschland können zwar sehr unterschiedlich sein, zwischen kühlen und niederschlagsreichen (z.B. 1981 und 2017) und heißen und trockenen Sommern (wie



z.B. 1959 und 2018) ist alles möglich. Insgesamt sind die Sommer aber schon seit geraumer Zeit immer wärmer geworden. Als Marker für die Sommergüte können die Mitteltemperatur des Sommers und auch die Anzahl der Hitzetage genommen werden, siehe Abbildung 4.1.

Abbildung 4.1: Mitteltemperaturen pro Jahr sowie im Sommer (Juni, Juli, August) in Hannover-Langenhagen, jährliche Anzahl der Hitzetage (Tx ≥ 30 °C). Zeitraum: 1951 – 2020.

In Hannover lag im Zeitraum 1951 bis 2020 die jährliche Anzahl der Hitzetage zwischen 0 und 22. Relativ wenige Hitzetage gab es in den 1950er und 60er Jahren. Das hat sich in den vergangenen drei Jahrzehnten merklich geändert: seit 2010 gab es alleine sechs Jahre mit mindestens 10 Hitzetagen. Im Zeitraum 1991-2020 waren es im Mittel jährlich 7,7 Hitzetage.

Die Andauerzeiten sommerlicher Hitzeperioden

Neben der Häufigkeit sehr hoher Temperaturen an einem Ort ist auch die Andauer sommerlicher Hitzeperioden von Interesse. Hitzewellen, die über mehrere Tage anhalten, sind für Menschen, Tiere und Pflanzen besonders belastende Extremereignisse. Für diese Untersuchung wurde aus den täglichen Höchsttemperaturen von Hannover-Langenhagen (Zeitraum 1946 - 2020) die Andauerzeiten des Auftretens bestimmter Höchsttemperaturen bestimmt. Die Tabelle 4.2 gibt die Häufigkeit des Auftretens von Andauerzeiten zwischen 3 und 26 Tagen an. Die Andauerzeiten wurden berechnet für die drei Schwellenwerte 25, 28 bzw. 30 °C, jeweils für den langen Zeitraum 1946-2020 und den aktuellen 30-jährigen Referenzzeitraum 1991-2020. In der Tabelle 4.3 sind die daraus berechneten Wiederkehrzeiten (in Jahren) angegeben. Die bisher längste Andauerzeit mit Tagesmaxima von mindestens 25 °C waren 26 Tage in Folge, aufgetreten im Sommer 2018. Die längste Hitzeperiode mit Höchsttemperaturen von mindestens 28 °C lag bei 16 Tagen, die mit mindestens 30 °C bei 9 Tagen.

Tx	Zeitraum	Andauer (Tage)																		
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20 - 25	≥ 26
≥ 25 °C	1946-2020	108	64	37	29	17	11	9	6	2	5	-	2	-	4	-	-	1	-	1
	1991-2020	46	36	21	11	9	5	4	4	1	2	-	1	-	3	-	-	1	-	1
≥ 28 °C	1946-2020	50	19	14	6	6	2	1	1	1	1	-	1	-	1	-	-	-	-	-
	1991-2020	26	10	6	5	3	2	-	1	1	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-
≥ 30 °C	1946-2020	20	9	5	2	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1991-2020	12	4	4	2	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 4.2: Häufigkeit des Auftretens (Anzahl) mehrtägiger Hitzeperioden für drei Schwellenwerte der Tageshöchsttemperatur Tx (≥ 25 / ≥ 28 / ≥ 30 °C); Bezugszeiträume: 1946-2020; 1991-2020. „-“, kein Ereignis; Blaue Markierung: Beispiel für eine 5-tägige Andauer.

Tx	Zeitraum	Andauer (Tage)																		
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20 - 25	≥ 26
≥ 25 °C	1946-2020	0,7	1,2	2,0	2,6	4,4	6,8	8,3	12,5	37,5	15,0	-	37,5	-	18,8	-	75,0	75,0	-	75,0
	1991-2020	0,7	0,8	1,4	2,7	3,3	6,0	7,5	7,5	30,0	15,0	-	30,0	-	10,0	-	-	30,0	-	30,0
≥ 28 °C	1946-2020	1,5	4,0	5,4	13,0	13,0	38,0	75,0	75,0	75,0	75,0	-	75,0	-	75,0	-	-	-	-	-
	1991-2020	1,2	3,0	5,0	6,0	10,0	15,0	-	30,0	30,0	-	-	30,0	-	30,0	-	-	-	-	-
≥ 30 °C	1946-2020	3,8	8,3	15,0	37,5	75,0	75,0	75,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1991-2020	2,5	7,5	7,5	15,0	30,0	30,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 4.3: Wiederkehrzeiten (Jahre) mehrtägiger Hitzeperioden für drei Schwellenwerte der Tageshöchsttemperatur Tx (≥ 25 / ≥ 28 / ≥ 30 °C); Bezugszeiträume: 1946-2020; 1991-2020. „-“, kein Ereignis; Blaue Markierung: Beispiel für eine 5-tägige Andauer.

Als Beispiel für die Erläuterung der Tabellen wird hier eine 5-tägige Andauerzeit für die drei Höchsttemperatur-Schwellenwerte 25 / 28 / 30 °C gewählt. Dieser Fall ist in den Tabellen blau markiert. Die Häufigkeiten und Wiederkehrzeiten für kürzere und längere Andauern der Hitzeperioden können den Tabellen entnommen werden.

In dem langen Zeitraum 1946 - 2020 kamen Hitzeperioden mit Tageshöchsttemperaturen von mindestens 25 °C (das entspricht dem Kenntag Sommertag) an fünf Folgetagen insgesamt 37 Mal vor, siehe Tabelle 4.2. Diese 37 Ereignisse traten übrigens in nur 31 Jahren auf, da es in einigen Jahren mehrere 5-tägige Hitzeperioden gab. Bezogen auf diesen Zeitraum ereignete

sich damit eine 5-tägige Hitzeperiode im Durchschnitt alle 2,0 Jahre. Werden lediglich die vergangenen 30 Jahre (1991-2020) betrachtet, gab es im Durchschnitt schon alle 1,4 Jahre ein derartiges Ereignis. Eine ununterbrochene Folge von Sommertagen über mehr als zwei Wochen tritt selten auf (6 Mal in 75 Jahren). Die bisher längste Andauerperiode von Tageshöchsttemperaturen ≥ 25 °C betrug 26 Tage, aufgetreten war diese lange Hitzeperiode im Jahr 2018.

Tageshöchsttemperaturen von mindestens 28 °C an fünf Tagen in Folge wurde bisher 14 Mal erfasst. Damit kam eine derartige Hitzewelle im langen Zeitraum alle 5,4 Jahre vor, in den vergangenen 30 Jahren bereits alle 5,0 Jahre. Selten wurden Andauern von mehr als 10 Tagen beobachtet (4 Mal in 75 Jahren). Die längste Hitzeperiode mit $T_x \geq 28$ °C trat im Sommer 2018 auf, sie dauerte 16 Tage.

Wird als Tagesmaximum der Schwellenwert von 30 °C gewählt (das entspricht dem Kenntag Hitzetag), kam eine 5-tägige Andauer seit 1946 nur fünf Mal vor, das entspricht einer Wiederkehrzeit von 17 Jahren. Davon traten alleine vier Ereignisse in den vergangenen 30 Jahren auf (Wiederkehrzeit: 7,5 Jahre). Selten dauerten diese extremen Hitzewellen länger als 5 Tage (5 Mal), maximal waren es bisher 9 Tage (1975).

Die Auswertung verdeutlicht, dass sommerliche Hitzeperioden häufiger geworden sind. Im Zuge des Klimawandels haben die Häufigkeit und die Andauerperioden von Sommertagen und Hitzetagen bereits zugenommen.

5 Die temporären Messstationen in Hannover

Im Mai 2017 wurden im Stadtgebiet von Hannover die temporären Messstationen am Weidendam (WD) in der Nordstadt, in der Marianne-Baecker-Allee (MB) in Linden und im Katzenbrookspark (KP) in Bemerode eingerichtet, an denen die Lufttemperatur, die relative Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Windrichtung sowie an der Station Weidendam die Globalstrahlung gemessen wird. Die meteorologischen Messungen wurden dort in einer Höhe von 2 m über Grund vorgenommen, auch die Windmessungen. Zwei weitere temporäre Stationen wurden in der unterirdischen Straßenbahn-Haltestelle Kröpcke eingerichtet, und zwar in den Ebenen -3 (K-3) und -5 (K-5).

Zum Vergleich werden die Messungen der Wetterstation Hannover-Langenhagen (LH) verwendet. Zusätzlich gehen noch die Daten der Wetterstation Hannover-Herrenhausen (HE), die vom Institut für Meteorologie und Klimatologie (IMUK) der Leibniz Universität Hannover betrieben wird, in den Vergleich ein.

Die Messkampagne begann am 01.06.2017 und endete am 31.12.2020. Es stehen von allen Stationen 10-Minuten-Mittelwerte der meteorologischen Messwerte zur Verfügung, das sind jährlich über 50.000 Datensätze.

Alle Stationen haben zuverlässig gemessen, der Datenausfall liegt für fast alle Parameter bei deutlich unter 1 %. Lediglich die Station Herrenhausen war zeitweise kurz außer Betrieb, aber auch dort beträgt der Datenausfall – je nach Parameter – lediglich zwischen 1 und 5 %.



Abbildung 5.1: Station Weidendamm (WD)

Am Standort der Station Weidendamm wird im Laufe des Jahres 2022 vom Deutschen Wetterdienst eine permanente Stadtklimastation eingerichtet. Dann wird dort u.a. zusätzlich Niederschlag sowie Erdbodentemperaturen in verschiedenen Tiefen gemessen.



Abbildung 5.2: Station Marianne-Baecker-Allee (MB)



Abbildung 5.3: Station Kattenbrookspark (KP)

Die DWD-Wetterstation Hannover-Langenhagen befindet sich auf dem Gelände des Flughafens in einer weitgehend ungestörten Umgebung, siehe Abbildung 5.4. Die Station Herrenhausen liegt auf dem Gelände der Leibniz Universität Hannover an der Herrenhäuser Straße, in unmittelbarer Umgebung gibt es Gebäude und Gewächshäuser, siehe Abbildung 5.5, nicht weit entfernt liegen die Grünanlagen Georgengarten und Herrenhäuser Gärten.



Abbildung 5.4: Messfeld der DWD Wetterstation Hannover-Langenhagen (LH)



Abbildung 5.5: Messstation Herrenhausen (HE), betrieben vom Institut für Meteorologie und Klimatologie der Leibniz Universität Hannover

Die Temperaturmessungen an den Hannoveraner Stationen im Vergleich

Einen Überblick über die klimatischen Verhältnisse an den sieben Stationen zeigt Tabelle 5.1. Für alle Stationen werden die Mitteltemperatur, das mittlere Minimum und Maximum pro Monat und für das Jahr angegeben. Dabei ist zu beachten, dass aufgrund des Messbeginns im Juni 2017 für die Monate Januar bis Mai nur jeweils drei Jahre zur Verfügung stehen, bei den anderen Monaten aber vier Jahre in die Berechnungen eingehen.

An allen Stationen erweist sich der August als wärmster Monat, sowohl beim Maximum, als auch bei der Mitteltemperatur und dem Minimum. Der kälteste Monat bezogen auf das Minimum ist an allen oberirdischen Stationen der Februar, bezogen auf die Mitteltemperatur sind es Januar und Februar, bezogen auf das Maximum ist der Januar. An den beiden Tunnelstationen zeigen alle Parameter im Februar und März die niedrigsten Werte.

Mittleres Tagesmaximum (°C)													
Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
LH	6,2	7,1	9,3	16,9	19,3	24,2	24,5	25,3	20,0	15,5	9,3	6,9	15,6
WD	6,5	7,3	9,7	17,5	19,8	24,6	24,8	25,8	20,3	15,6	9,5	7,2	16,0
MB	6,4	7,5	9,7	17,7	20,1	25,0	25,2	26,2	20,8	16,0	9,6	7,1	16,2
KP	6,2	7,3	9,5	17,3	19,4	24,4	24,9	25,8	20,4	15,7	9,3	7,0	15,9
HE	6,5	7,8	9,9	18,1	20,6	25,4	25,6	26,6	21,2	16,3	9,8	7,2	16,5
K-3	15,9	15,6	15,7	18,8	21,1	24,5	25,4	26,6	24,5	22,0	19,0	16,8	20,6
K-5	13,7	13,4	13,5	17,1	19,6	23,1	23,8	25,1	22,7	20,1	16,6	14,6	18,7
Mittlere Tagesmitteltemperatur (°C)													
LH	3,8	3,6	5,4	11,0	13,5	18,5	18,7	19,6	14,7	11,7	6,6	4,9	11,1
WD	4,4	4,4	6,2	12,3	14,7	19,5	19,8	20,8	15,8	12,5	7,2	5,4	12,1
MB	4,1	4,1	6,0	12,1	14,6	19,5	19,7	20,6	15,5	12,2	6,9	5,1	11,9
KP	3,8	3,8	5,6	11,4	13,8	18,6	19,0	19,8	14,8	11,8	6,5	4,8	11,3
HE	4,2	4,1	5,9	12,1	14,7	19,5	19,7	20,5	15,3	12,2	6,9	5,1	11,8
K-3	15,1	14,6	14,7	17,5	19,7	23,1	24,0	25,3	23,4	21,1	18,2	16,0	19,5
K-5	12,7	12,2	12,2	15,6	18,3	21,7	22,5	23,8	21,5	19,0	15,5	13,7	17,5
Mittleres Tagesminimum (°C)													
LH	1,2	0,1	1,2	4,5	6,9	12,4	12,8	13,7	9,3	8,1	3,7	2,5	6,3
WD	2,2	1,6	2,8	7,0	9,6	14,7	15,0	16,2	11,6	9,6	4,9	3,5	8,3
MB	1,8	1,0	2,2	6,6	9,1	14,3	14,7	15,5	10,8	9,1	4,3	3,1	7,8
KP	1,2	0,6	1,5	5,2	7,5	12,6	13,1	13,9	9,6	8,3	3,6	2,5	6,7
HE	1,8	0,8	2,0	5,9	8,3	13,7	13,9	14,6	10,1	8,7	4,2	2,9	7,3
K-3	13,9	13,4	13,3	16,1	18,3	21,6	22,7	24,0	22,3	20,1	17,0	14,9	18,2
K-5	11,5	10,8	10,8	14,2	16,9	20,3	21,3	22,5	20,3	17,9	14,3	12,5	16,2

Tabelle 5.1: Monats- und Jahresmittelwerte des Tagesmaximums, der Tagesmitteltemperatur und des Tagesminimums an allen Stationen (Zeitraum: 6.2017 – 12.2020)

In der folgenden Abbildung 5.6 sind für jeden Monat des Messzeitraums (Juni 2017 bis Dezember 2020) die Mittelwerte der Minimum- und Maximumtemperaturen der Stationen Langenhagen, Weidendamm, Marianne-Baecker-Allee, Kattenbrookspark und Herrenhausen dargestellt. Die höchsten Monatsmittelwerte der Maximumtemperaturen, die während des Sommerhalbjahres registriert wurden, wies immer die Station Herrenhausen auf. Während des Winterhalbjahres lagen die mittleren Maxima an allen Stationen dicht beieinander. Bei den Minimumtemperaturen tritt deutlich der Unterschied zwischen Stadt und Umland zutage. In jedem Monat zeigte die Station Weidendamm die höchsten Monatsmittelwerte, gefolgt von der Station Marianne-Baecker-Allee. Die niedrigsten Werte wiesen Langenhagen und Kattenbrookspark auf.

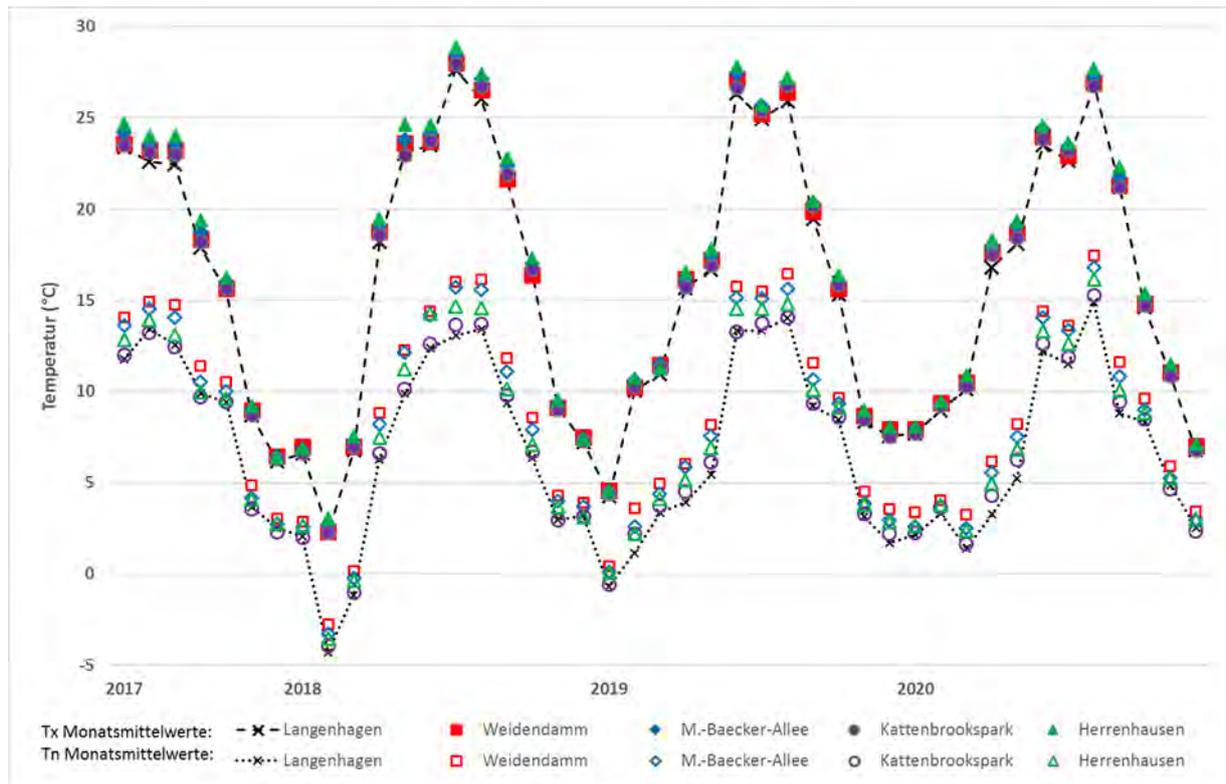


Abbildung 5.6: Zeitreihen der mittleren monatlichen Maximum- (Tx) und Minimumtemperaturen (Tn) an den Stationen im Zeitraum 06.2017 – 12.2020

Werden die einzelnen Tageshöchstwerte betrachtet, zeigten sich im Juli 2019 an allen Stationen die höchsten Maxima mit knapp unter 40 °C. Die höchsten Werte erreichten die Stationen Herrenhausen mit 39,6 °C und Marianne-Baecker-Allee mit 38,9 °C. Knapp darunter lagen Weidendam mit 38,2 °C sowie Langenhagen und Kattenbrookspark mit jeweils 37,9 °C. Während ausgeprägter sommerlicher Hitzeperioden unterscheiden sich die Höchsttemperaturen an innerstädtischen Stationen und dem Umland nur wenig.

Kenntage der Temperatur

Aus den Tageswerten wurden auch die Temperatur-Kenntage für alle Stationen bestimmt, siehe Tabelle 5.2. An allen Stationen wurden im Jahr 2018 die höchsten Anzahlen an Sommertagen (Höchsttemperatur ≥ 25 °C) und Hitzetagen (Höchsttemperatur ≥ 30 °C) registriert. Die Stationen Marianne-Baecker-Allee und Herrenhausen weisen gegenüber den anderen Stationen in allen Jahren jeweils die höchsten Werte auf. Aber auch Frosttage (Tiefsttemperatur < 0 °C) und Eistage (Höchsttemperatur < 0 °C) traten im Jahr 2018 am häufigsten auf, bedingt durch eine anhaltende Kälteperiode im Februar und März.

In dem relativ kühlen und niederschlagsreichen Sommer 2017 gab es an der Station Marianne-Baecker-Allee 29, in Herrenhausen 36, in Langenhagen lediglich 20 Sommertage (bezogen auf das gesamte Jahr 2017 waren es dort 27). In den heißen Sommern 2018 und 2019 waren es in Langenhagen 78 bzw. 51 Sommertage, an der Marianne-Baecker-Allee 88 bzw. 58 Sommertage, in Herrenhausen wurden sogar 101 bzw. 64 Sommertage erreicht. Zur Erinnerung: die mittlere jährliche Anzahl an Sommertagen in Hannover-Langenhagen beträgt 36 Tage (Zeitraum 1991–2020).

Im Sommer 2018 wurden in Langenhagen 22 Hitzetage (Höchsttemperatur $\geq 30\text{ °C}$) registriert, im Mittel sind es 7,7 Tage (Zeitraum 1991 – 2020). In Herrenhausen waren es 32, an der Marianne-Baecker-Allee 30, am Weidendamm 27 und im Kattenbrookspark 28 Hitzetage. Sowohl im Sommer 2018 als auch in 2019 wurden also an den städtischen Stationen bis zu 4-mal mehr Hitzetage registriert, als im Durchschnitt an der Umlandstation Langenhagen zu erwarten sind.

Kenntag	Jahr	Langenhagen	Weidendamm	Marianne-Baecker-Allee	Kattenbrookspark	Herrenhausen	Kröpcke-3	Kröpcke-5
Hitzetag	2017*	2	3	5	2	6	0	0
($T_x \geq 30\text{ °C}$)	2018	22	27	30	28	32	1	0
	2019	19	22	24	20	25	0	0
	2020	12	11	14	12	16	0	0
Sommertag	2017*	20	25	29	23	36	48	1
($T_x \geq 25\text{ °C}$)	2018	78	81	88	79	101	104	54
	2019	51	58	60	57	64	76	40
	2020	40	45	51	45	57	44	20
Tropennacht	2017*	0	2	0	0	0	144	82
($T_n \geq 20\text{ °C}$)	2018	4	13	9	3	10	157	120
	2019	3	11	8	1	6	142	103
	2020	2	12	8	3	6	122	91
Frosttag	2017*	8	4	6	8	7	0	0
($T_n < 0\text{ °C}$)	2018	64	45	50	62	54	0	2
	2019	50	22	27	40	35	0	0
	2020	30	14	19	28	20	0	0
Eistag	2017*	0	0	0	0	0	0	0
($T_x < 0\text{ °C}$)	2018	9	9	9	10	8	0	0
	2019	3	3	3	3	3	0	0
	2020	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 5.2: Jährliche Anzahlen der Kenntage der Lufttemperatur an den Stationen; 2017* = Zeitraum 01.06.-31.12.2017.

Bemerkenswert ist auch die Häufigkeit von Tropennächten in den Sommern 2018 bis 2020. In Tropennächten bleibt es nachts sehr warm, das Minimum fällt nicht unter 20 °C . Durchschnittlich wird in Hannover-Langenhagen nur alle 2 Jahre eine Tropennacht verzeichnet. In diesen warmen Sommern wurden in Langenhagen aber 2 - 4, in Herrenhausen 6 - 10, an der Marianne-Baecker-Allee 8 - 9 und am Weidendamm sogar 11 - 13 Tropennächte registriert, siehe Tabelle 5.2. Dabei verdient der Sommer 2020 besondere Aufmerksamkeit: während der Hitzeperiode vom 05. bis 22. August wurden am Weidendamm alleine 11 der insgesamt 12 Tropennächte registriert, davon 7 in Folge. An den Stationen Marianne-Baecker-Allee gab es 8 (davon 6 in Folge), in Herrenhausen 6, im Kattenbrookspark 3 und in Langenhagen 2 Tropennächte.

Tropennächte sind keine Einzelereignisse, sondern werden in der Regel flankiert von Sommertagen oder Hitzetagen. Auch in Norddeutschland dauern sommerliche Hitzeperioden häufig mehrere Tage, manchmal sogar Wochen an. Durch eine fehlende nächtliche Abkühlung ergibt sich in diesen Zeiten eine besonders große Wärmebelastung. Die Messungen an den Stationen Weidendamm und Marianne-Baecker-Allee zeigen, dass innerstädtisch deutlich mehr Tropennächte, aber auch Sommertage und Hitzetage zu verzeichnen sind als im Umland (Hannover-Langenhagen, Kattenbrookspark) und dass die sehr warmen Perioden länger andauern.

Neben der Häufigkeit des Auftretens hoher Temperaturen spielt also auch die Andauer dieser Perioden eine große Rolle, denn je länger eine Hitzeperiode anhält, desto belastender ist sie für

Mensch und Tier. Tabelle 5.3 zeigt die Andauerzeiten der Hitzetage an den Stationen. In unserem Untersuchungszeitraum, der insgesamt vier Sommer umfasste, gab es drei längere Hitzeperioden: im Juli/August 2018, im Juli/August 2019 und im August 2020. In Langenhagen zeigte die längste Periode 8 Hitzetage in Folge, an den anderen Stationen waren es 12 (WD) bis 14 (MB) Tage. An allen Stationen, außer in Langenhagen, gab es zwei sehr lange Hitzeperioden mit 8 oder mehr Hitzetagen in Folge. Am häufigsten waren allerdings kurze Andauern von 1 bis 2 Tagen.

Hitzetage (Tx ≥ 30 °C)	Anzahl Gesamt	Andauer (Tage)													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	≥ 14
Langenhagen	55	15	5	1	2	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-
Weidendamm	63	17	3	2	2	-	1	-	1	-	-	-	1	-	-
Marianne-Baecker-Allee	73	18	7	1	1	-	2	-	1	-	-	-	-	-	1
Kattenbrookspark	62	15	6	-	2	-	1	-	1	-	-	-	-	1	-
Herrenhausen	79	21	7	2	1	-	2	-	-	1	-	-	-	1	-

Tabelle 5.3: Anzahl der Hitzetage (Tx ≥ 30 °C) an den Stationen und Häufigkeit des Auftretens mehrtägiger Hitzeperioden („ – „ kein Ereignis) im Zeitraum 06.2017-12.2020.

Längere Folgen von Sommertagen (Höchsttemperatur ≥ 25 °C) traten an allen Stationen deutlich häufiger auf und sie hielten auch länger an, siehe Tabelle 5.4. Die längsten Perioden dauerten 26 Tage (WD, LH) bis 28 Tage (HE). Anhaltend hochsommerliche Perioden von 14 Tagen oder mehr gab es in Langenhagen im Untersuchungszeitraum zwei, während der Periode 1991-2020 waren es sechs.

Sommertage (Tx ≥ 25 °C)	Anzahl Gesamt	Andauer (Tage)																										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19-25	26	27	≥ 28					
Langenhagen	189	22	15	4	7	4	1	1	-	-	1	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
Weidendamm	209	23	13	7	10	4	-	1	1	-	1	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	
Marianne-Baecker-Allee	228	18	16	9	9	4	1	1	2	-	1	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
Kattenbrookspark	204	24	13	7	8	4	-	1	-	-	1	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
Herrenhausen	258	25	11	9	8	3	3	2	-	1	1	-	2	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	

Tabelle 5.4: Anzahl der Sommertage (Tx ≥ 25 °C) an den Stationen in Hannover gesamt und Häufigkeit des Auftretens mehrtägiger Hitzeperioden („ – „ kein Ereignis). Zeitraum: 06.2017-12.2020.

Zwei weitere Temperatur-Kenntage, die im Sommer eine große Rolle spielen, sind Sommerabende und Biergartentage. Hier wird die Lufttemperatur zu einer bestimmten Uhrzeit betrachtet. Einen Biergartentag erleben wir, sobald die Temperatur um 20 Uhr (MESZ) noch mindestens 20 °C beträgt. Bleibt es abends noch länger so warm, wird ab 22 Uhr ein Sommerabend daraus.

An den innerstädtischen Stationen Weidendamm und Marianne-Baecker-Allee gab es während der Messkampagne jährlich um die 80 Biergartentage, siehe Tabelle 5.5. Außerdem wurden dort jährlich 50 – 55 Sommerabende registriert, an den Umlandstationen nur knapp über 30. Die Station Herrenhausen muss hier auch als Umlandstation angesehen werden, offensichtlich setzt im Laufe des Abends die Zufuhr von Kaltluft aus den nahegelegenen, ausgedehnten Grünanlagen ein.

Kenntag	Jahr	Langenhagen	Weidendamm	Marianne-Baecker-Allee	Kattenbrooks-park	Herrenhausen
Biergartentag	2017*	44	55	57	44	53
T ≥ 20 °C	2018	100	114	111	103	103
um 20 Uhr	2019	72	82	81	73	78
	2020	53	73	70	60	62
	Mittel	67,3	81,0	79,8	70,0	74,0
Sommerabend	2017*	13	33	29	15	19
T ≥ 20 °C	2018	54	82	80	55	59
um 22 Uhr	2019	36	59	51	39	40
	2020	25	44	40	28	30
	Mittel	32,0	54,5	50,0	34,3	37,0

Tabelle 5.5: Jährliche Anzahlen der Biergartentage und Sommerabende an den Stationen; 2017* = Zeitraum 01.06.-31.12.2017. Datenbasis: Stundenmittelwerte der Temperatur

Wärmeinseleffekt (UHI)

Anhand der stündlichen Temperaturmessungen an den Stationen Langenhagen, Weidendamm, Marianne-Baecker-Allee und Herrenhausen kann für die innerstädtischen Standorte der Wärmeinseleffekt, im Folgenden+ UHI abgekürzt, bestimmt werden. Hier wurden dafür die stündlichen Mittelwerte der in 2-m Höhe gemessenen Temperaturen verwendet. Der Wärmeinseleffekt (UHI) ist hier definiert als Differenz der Temperaturwerte (Stundenmittelwerte) zwischen der jeweiligen Stadtstation und der Umlandstation Langenhagen. Positive Werte des UHI zeigen eine städtische Überwärmung an.

In unserer Messreihe betrug der mittlere UHI am Weidendamm 0,92 K, an den beiden anderen Stationen 0,71 K. Tabelle 5.6 gibt die Häufigkeit des Auftretens der UHI-Werte für verschiedene Klassen an. Am Häufigsten, und zwar in rund dreiviertel aller Fälle (~ Stunden), liegen die UHI-Werte zwischen 0 und 2 K. Hohe Einzelwerte des UHI von 3 K oder höher wurden mit einer Häufigkeit von 6,4 % (WD), 3,1 % (MB) bzw. 0,4 % (HE) registriert, noch höhere Werte deutlich seltener, siehe Tabelle 5.6. Der höchste UHI betrug am Weidendamm 6,3 K, an der Marianne-Baecker-Allee 6,1 K, in Herrenhausen 5,7 K.

Negative UHI-Werte ergeben sich, sobald die Temperatur im Umland höher ist, als in der Stadt. Dieses kommt vor, hohe negative Werte sind aber selten. Während der Messkampagne waren lediglich zwischen 0,20 % (WD) und 0,88 % (HE) der Werte kleiner oder gleich -1,0 K. Der niedrigste UHI betrug am Weidendamm -3,6 K, an der Marianne-Baecker-Allee -4,0 K, in Herrenhausen -6,3 K. Die sehr hohen negativen UHI-Werte waren immer mit lokalen Niederschlägen gekoppelt: ein starker Schauer oder ein Gewitter ereignete sich an einer Stadtstation und führte dort zu einem Temperaturrückgang, an der Umlandstation war es (noch) trocken und warm.

	UHI ≤ - 1,0	0,0 < UHI < 2,0	UHI ≥ 2,0	UHI ≥ 3,0	UHI ≥ 4,0	UHI ≥ 5,0	UHI ≥ 6,0
Weidendamm	0,20	76,15	14,28	6,39	1,64	0,26	0,02
M-Baecker-Allee	0,80	69,54	10,58	3,11	0,39	0,01	0,00
Herrenhausen	0,88	78,49	6,39	0,37	0,05	0,01	0,00

Tabelle 5.6: Häufigkeit des Auftretens (angegeben in %) negativer bzw. positiver UHI-Werte für verschiedene Klassen an den drei Stationen.

Datenbasis: Stundenmittelwerte der Temperatur, Zeitraum: 06.2017-12.2020.

Die Abbildungen 5.7 zeigt die Tagesgänge des UHI an den Stationen Weidendamm und Marianne-Baecker-Allee. Dargestellt sind jeweils die Tagesgänge (Mittelwerte für jede Stunde) des UHI für den gesamten Zeitraum (schwarze gestrichelte Linien) sowie farblich gekennzeichnet für die einzelnen Jahreszeiten (Frühling = März, April, Mai; Sommer = Juni, Juli, August; Herbst = September, Oktober, November; Winter = Dezember, Januar, Februar). Die Stationen Weidendamm und Marianne-Baecker-Allee weisen einen typischen Tagesgang des UHI auf: das Maximum wird während der Nachtstunden beobachtet, das Minimum tagsüber, die Übergänge erfolgen jeweils rasch. Dieses Muster wird sowohl für das Jahr, als auch in den einzelnen Jahreszeiten abgebildet. Die Ausprägung ist allerdings unterschiedlich: Im Frühling und Sommer zeigen sich die höchsten UHI-Werte mit einem ausgeprägten Tagesgang. Im Herbst und Winter sind die Tagesgänge flacher.

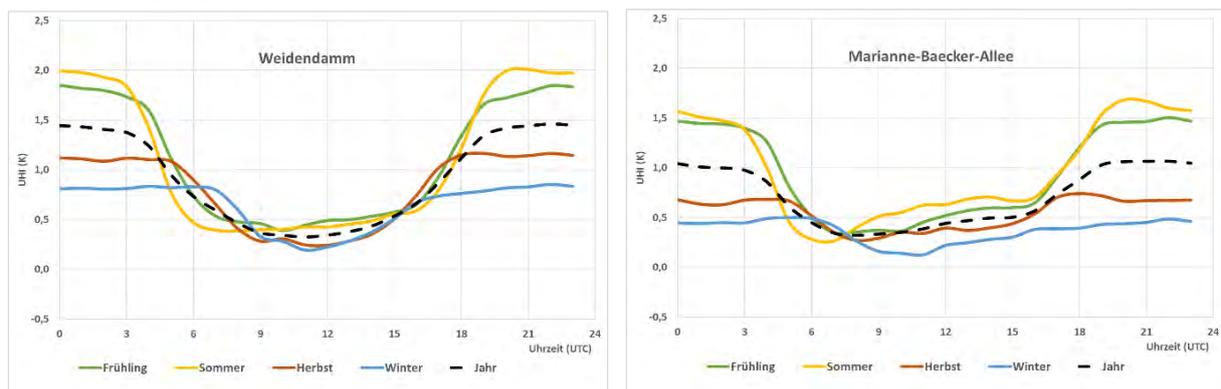


Abbildung 5.7: Tagesgang des UHI in den Jahreszeiten und im Jahr an den Stationen Weidendamm (links) und Marianne-Baecker-Allee (rechts).

Datenbasis: Stundenmittelwerte der Temperatur, Zeitraum: 06.2017-12.2020.

Am Weidendamm wird im Frühling und Sommer zwischen 19 und 03 UTC (das entspricht 21 und 5 Uhr MESZ) das Maximum des UHI bei 1, 7 bis 2,0 K beobachtet, siehe Abb. 5.7, links. Die niedrigsten Werte treten zwischen 06 und 16 UTC (das entspricht 8 und 18 Uhr MESZ) auf und liegen nahe 0,5 K. An der Marianne-Baecker-Allee werden im Frühling und Sommer zwischen 19 und 03 UTC höchste UHI-Werte zwischen 1,4 und 1,7 K erreicht, zwischen 06 und 16 UTC betragen sie 0,3 bis 0,7 K.

6 Studie mit dem Stadtklimamodell MUKLIMO_3

Das Stadtklimamodell MUKLIMO_3 (3-dimensionales mikroskaliges urbanes Klimamodell) des Deutschen Wetterdienstes wurde speziell zur Untersuchung stadtklimatologischer und geländeklimatologischer Fragestellungen entwickelt. Das Modell berechnet basierend auf den Prinzipien der Massenerhaltung, Energieerhaltung und Impulserhaltung auf einem dreidimensionalen

Rechengitter den Tagesgang des Windes, der Temperatur und der Feuchtigkeit in der Atmosphäre und im Erdboden sowie den Tagesgang der solaren und thermischen Strahlung und vieler weiterer relevanter Parameter.

Die räumliche Auflösung des Modells liegt in der Regel zwischen wenigen Metern und wenigen hundert Metern. Die Rechengitterweiten können im Modellgebiet horizontal und vertikal variiert werden, wobei typischerweise in Bodennähe und in dem im Mittelpunkt der Untersuchung stehenden Teil des Modellgebiets die höchste Auflösung gewählt wird. Die für Modellsimulationen benötigten Anfangs- und Randwerte für das Modellgebiet (d.h. auch die für die Region typischen, von der Stadt unbeeinflussten Werte) werden durch eine automatisch zusätzlich ablaufende eindimensionale MUKLIMO_3 Simulation mit einer für das Umland repräsentativen Landnutzung bestimmt. Der mit diesem 1-dimensionalen Modell berechnete Tagesgang repräsentiert gleichzeitig die für die Region typischen und von der Stadt unbeeinflussten Verhältnisse. Da die Modellphysik von MUKLIMO_3 keine Wolken- und Niederschlagsbildung enthält, kann das Modell zwar einen vorgegebenen, konstanten Wolkendeckungsgrad berücksichtigen, aber nur für niederschlagsfreie Situationen eingesetzt werden.

Für die Beschreibung der Struktur der städtischen Bebauung werden folgende statistische Parameter verwendet:

- mittlerer Gebäudegrundflächenanteil, mittlere Gebäudehöhe,
- mittlerer Wandflächenindex und
- mittlerer Versiegelungsanteil der nicht bebauten Fläche zwischen den Gebäuden.

Zur Ableitung der von MUKLIMO_3 benötigten Landnutzungsklassen wurde der Urban Atlas 2012 des Copernicus Land Monitoring Service verwendet, für die benötigten Geländehöhendaten die Daten des BKG (DGM 25).

In dieser Studie ist das Stadtgebiet von Hannover über eine Fläche von 23,2 km x 20,2 km mit einer Auflösung von 100 m simuliert worden, umgebend von einem Gürtel mit größeren Gitterweiten, die rasch von 120 auf 250 m ansteigen. Insgesamt ist hier das Simulationsgebiet 43 km x 40 km groß. Das dreidimensionale Modell rechnet mit 35 vertikalen Schichten. Die untersten 18 Schichten haben einen Abstand von 10 m. Darüber steigt der Abstand langsam bis auf 200 m an. Das 3D-Modellgebiet ist damit 665 m hoch. Das 1D-Modell hat 52 vertikale Schichten und ist 2.650 m hoch. Damit sind es 314x284x35, also insgesamt 3.121.160 Gitterzellen.

Das Temperaturfeld

Die hier beschriebenen, beispielhaften Ergebnisse basieren auf der MUKLIMO_3-Simulation eines idealisierten, heißen und wolkenlosen Sommertages mit einer schwachen großräumigen Anströmung von 0,8 m/s aus Westsüdwest (WSW). Unter diesen Umständen können sich lokale Modifikationen des Wind- und Temperaturfeldes besonders gut ausbilden. Der Sonnenstand entspricht dem eines 27. Juli, die 25-stündige dreidimensionale Simulation startet um 9 MESZ.

Die folgenden Abbildungen zeigen die Lufttemperatur in 5 m über Grund im Bereich Hannover um 16 Uhr und 04 Uhr MESZ. Die Einteilung der 12-teiligen Temperaturskala wurde für jede Stunde jeweils aktuell bestimmt durch das simulierte Minimum und Maximum. Damit entspricht dunkelrot immer der höchsten, dunkelblau der niedrigsten Temperaturklasse, die tatsächlichen Werte sind der jeweiligen Skala zu entnehmen.

Abbildung 6.1 zeigt das simulierte Temperaturfeld um 16 Uhr MESZ. Etwa zu dieser Zeit erreicht die Lufttemperatur verbreitet ihr Tagesmaximum, die simulierten Werte liegen zwischen 30,0 und 36,1 °C. Sehr hohe Temperaturen über 35 °C sind in den inneren Stadtbereichen zu sehen, niedrige Temperaturen um 30 °C zeigen sich über den größeren Gewässern Maschsee und Altwarmbüchener See.

In Gebieten mit hoher Bebauungsdichte ist die Temperatur aufgrund der durch die Gebäude beeinflussten Energieumsetzungen (höhere Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit, verminderte Verdunstung, etc.) deutlich höher als in Gebieten ohne oder mit lockerer Bebauung. Der Maximalwert von knapp über 36 °C wird in den zentralen Stadtbereichen Südstadt, Calenberger Neustadt, Mitte, Nordstadt und List, aber auch in Stöcken erreicht. Wegen der sehr geringen Anströmgeschwindigkeit dominieren die lokalen über die regionalen Einflüsse. Die Windgeschwindigkeit ist insgesamt gering.

Am kühlgsten ist es in zusammenhängenden Waldgebieten (z. B. Eilenriede, Tiergarten, Misburger Wald, Gaim, Bockmerholz, Benther Berg) und in unmittelbarer Nähe größerer Wasserflächen (Maschsee mit Ricklinger Teichen, Altwarmbüchener See). Dabei spielt die vorgegebene Wassertemperatur von 23,5 °C eine wichtige Rolle. Im Wald bleibt es vor allem durch die Schattenwirkung des Kronendaches relativ kühl. Allerdings liegen um 16 Uhr selbst in den kühlgsten Gebieten die Temperaturen zwischen 30 und 32 °C.

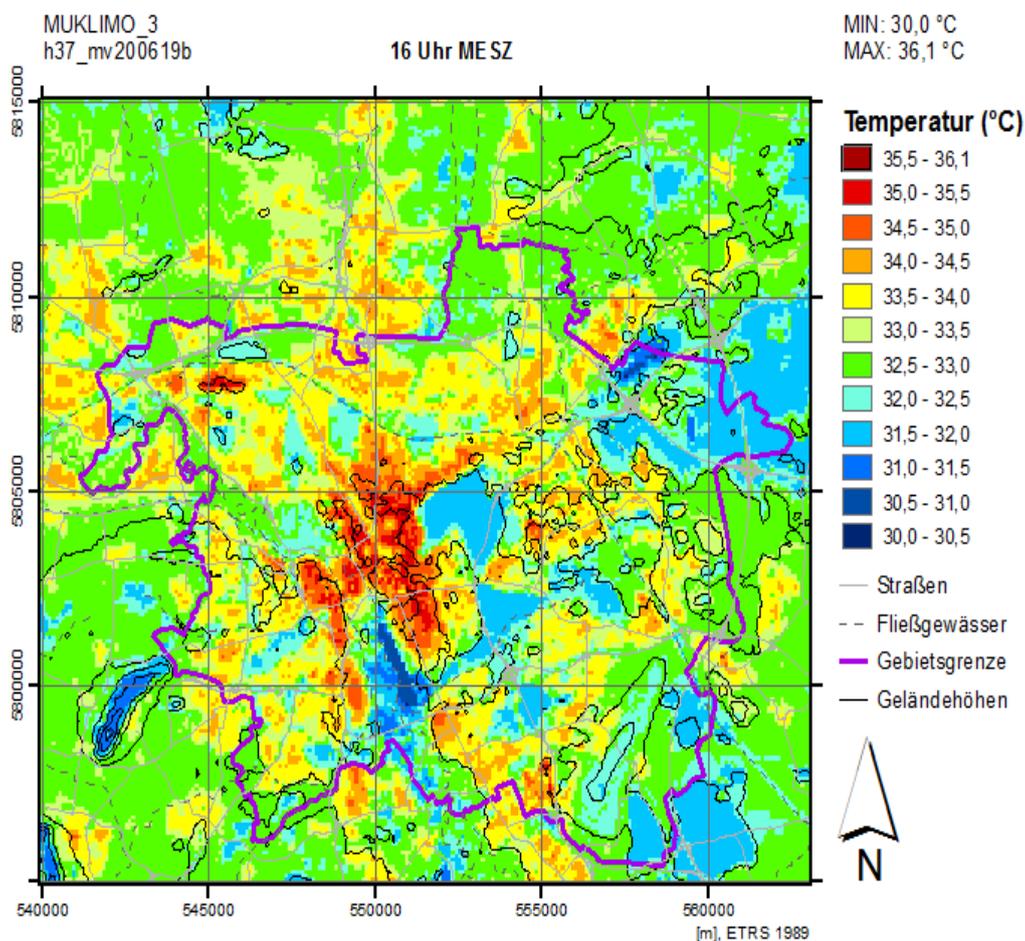


Abbildung 6.1: Lufttemperatur in 5 m über Grund um 16 Uhr MESZ für einen heißen, trockenen, wind-schwachen Tag mit Anströmung aus WSW. Die hellgrauen Linien geben die Hauptverkehrsstraßen wieder, die Stadtgrenze von Hannover ist lila markiert.

Am Abend und in der Nacht kühlt sich die stark erwärmte Luft wieder ab. Bis 4 Uhr MESZ, knapp zwei Stunden vor Sonnenaufgang, hat sich die nächtliche Abkühlung weiter fortgesetzt. Die Temperaturen liegen nun zwischen 15,0 und 27,0 °C. Weite Bereiche der Stadt weisen Werte über 23 °C auf, lediglich in einigen Randgebieten ist es kühler. Am wärmsten ist es – mit Werten über 25 °C – weiterhin in den Stadtbereichen Mitte, Südstadt, Calenberger Neustadt und Linden, aber auch auf dem bewaldeten Bentherr Berg (in einem dichten Wald wird die nächtliche Abkühlung gedämpft). Um diese Uhrzeit gehören auch die größeren Wasserflächen zu den warmen Bereichen im Stadtgebiet, denn das Wasser kühlt nachts kaum ab, sondern wirkt vielmehr wie eine Warmwasserheizung auf die unmittelbare Umgebung. Nur in sehr kleinen Arealen ist es unter 20 °C abgekühlt (z.B. in Teilen von Isernhagen, in Misburg-Ost, in Döhren, südlich von Wettbergen). Die mit Abstand kühleren Bereiche finden sich am östlichen Stadtrand in den Talgebirgmulden, in denen sich die kalte Luft sammelt.

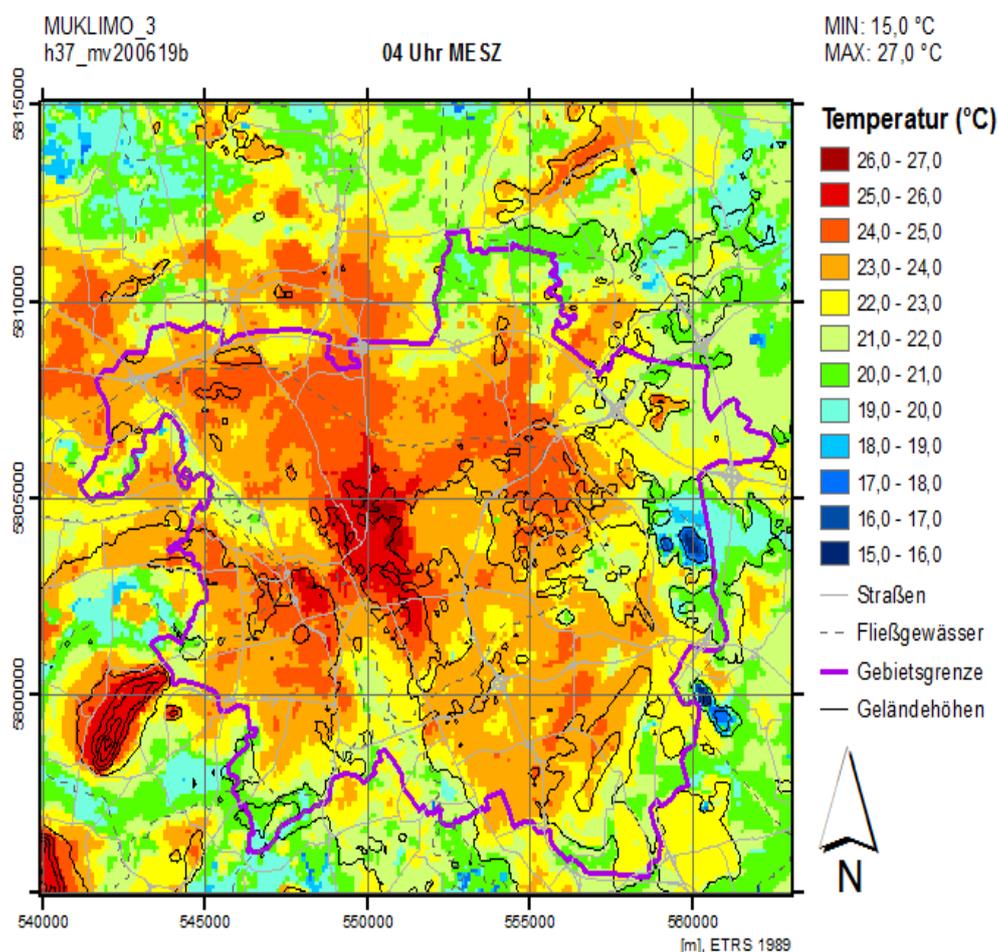


Abbildung 6.2: Lufttemperatur in 5 m über Grund um 04 Uhr MESZ für einen heißen, trockenen, wind-schwachen Tag mit Anströmung aus WSW. Die hellgrauen Linien geben die Hauptverkehrsstraßen wieder, die Stadtgrenze von Hannover ist lila markiert.

7 Die Profilmessfahrten

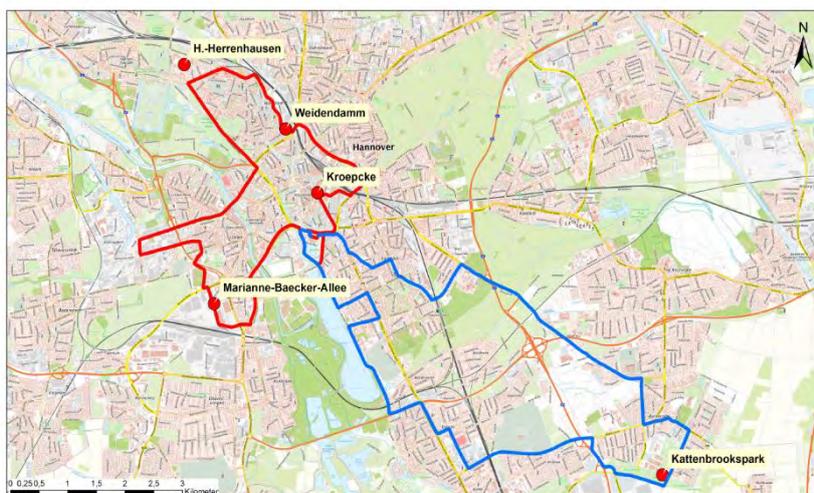
Im Rahmen des Stadtklimaprojektes Hannover wurden die meteorologischen Messungen an den temporären festen Stationen ergänzt durch mobile Messungen, die mit einem unserer Messfahrzeuge durchgeführt wurden. Meteorologische Messungen an Stationen sind immer Punktmessungen, die in der Regel nur für die unmittelbare Umgebung repräsentativ sind. Insbesondere urbane Gebiete sind aber sehr unterschiedlich geprägt, z.B. durch Bebauung, Versiegelungsgrad, Oberflächeneigenschaften, Vegetation, Freiflächen und Gewässer und weisen dadurch sehr verschiedene Mikrokimate auf. Die räumliche Variabilität der meteorologischen Größen Lufttemperatur, relativer Feuchte und Windgeschwindigkeit ist innerhalb städtischer Strukturen sehr groß. Mit Hilfe von mobilen Messungen ist es möglich, die Bereiche mit unterschiedlichen thermischen Bedingungen im Stadtgebiet besser zu erfassen. Ebenso können stadtklimatisch wertvolle Gebiete wie z.B. Freiflächen und Grüngürtel, die für die Aufrechterhaltung der Kalt- bzw. Frischluftzufuhr in das innere Stadtgebiet sorgen, identifiziert werden.

Die Messfahrten werden idealerweise in einer hochsommerlichen Schönwetterperiode durchgeführt. Denn insbesondere Tage mit hoher Einstrahlung und austauscharmen Bedingungen begünstigen die Ausbildung einer städtischen Wärmeinsel und können örtlich zu sehr hohen thermischen Belastungen führen.

Da die Stadt Hannover eine große räumliche Ausdehnung aufweist, sind die Profilmessfahrten auf zwei Routen durchgeführt worden. Diese wurden immer in der gleichen Reihenfolge nacheinander abgefahren und führten direkt an den temporären Stationen Weidendamm und Marianne-Baecker-Allee, sowie relativ nah an der Station Kattenbrookspark vorbei, siehe Abbildung 7.1.

Messfahrten auf zwei Routen

Die zuerst befahrene Nordroute führte über ca. 18 km vom Startpunkt Rathaus durch den Maschpark, die Calenberger Neustadt, Linden (Passieren der Station Marianne-Baecker-Allee), Nordstadt (Passieren der Station Weidendamm), Oststadt und Mitte zurück zum Rathaus.



Die Südroute wurde direkt im Anschluss befahren und führte vom Startpunkt Rathaus über knapp 19 km durch die Südstadt, Bult, Eilenriede, Bemerode, Kronsberg (Vorbeifahrt: Station Kattenbrookspark), Seelhorst, Döhren, am Maschsee entlang und - nach einem kurzen Abstecher durch die südliche Südstadt - zurück zum Rathaus.

Abbildung 7.1: Die Routen der Messfahrten in Hannover und die Lage der temporären Stationen Weidendamm, Kröpcke, Marianne-Baecker-Allee und Kattenbrookspark sowie der Station Herrenhausen. Nordroute: rot, Südroute: blau.

Die Station Langenhagen liegt nördlich des Bildausschnittes.

In den folgenden Kartendarstellungen sind die während der Messfahrt erhobenen Temperaturen farbig dargestellt. Die befahrenen Strecken sind als farbige Linien zu erkennen, dabei entsprechen die Farben den Temperaturen. Es gilt immer blau = kälteste gemessene Temperatur, rot = höchste gemessene Temperatur während der Messfahrt. Die Temperaturskala ist in jeder Abbildung eine andere, da sie an den jeweils gemessenen Temperaturbereich angepasst ist. Die jeweilige Skala ist unter der Karte eingezeichnet. Bei dieser Art der Darstellung sind relativ warme und relativ kalte Fahrabschnitte sofort zu erkennen. In dieser Kurzfassung werden exemplarisch die Frühmorgenfahrten am 24.07.2019 für beide Routen gezeigt. Weitere Kartendarstellungen für die anderen Termine sind im Abschlussbericht und im zugehörigen Anhang abgebildet.

Auf der Nordroute, siehe Abbildung 7.2, wurden frühmorgens Temperaturen zwischen 20,0 und 22,7 °C gemessen, der Mittelwert der Fahrt betrug 21,6 °C. Die wärmsten Bereiche (orange bis rot dargestellt) waren in Linden-Mitte (ab Stadion bis Königsworther Straße) sowie in Mitte (Berliner Alle bis Rathaus). Die kühlgsten Abschnitte (blau dargestellt) waren Maschpark sowie Ritter-Brüning-Straße bis Fischerhof.

Auf der Südroute, siehe Abbildung 7.3, wurden frühmorgens Temperaturen zwischen 17,5 und 21,3 °C gemessen, der Mittelwert der Fahrt betrug 19,6 °C. Die wärmsten Bereiche (orange bis rot dargestellt) waren in Mitte und in der Südstadt – auch am nordöstlichen Ufer des Maschsees - sowie Willmerstraße (Döhren). Die kühlgsten Abschnitte (blau dargestellt) fanden sich zwischen Bult und Bemerode, entlang des Seelhorster Friedhofs und am südöstlichen Ufer des Maschsees.

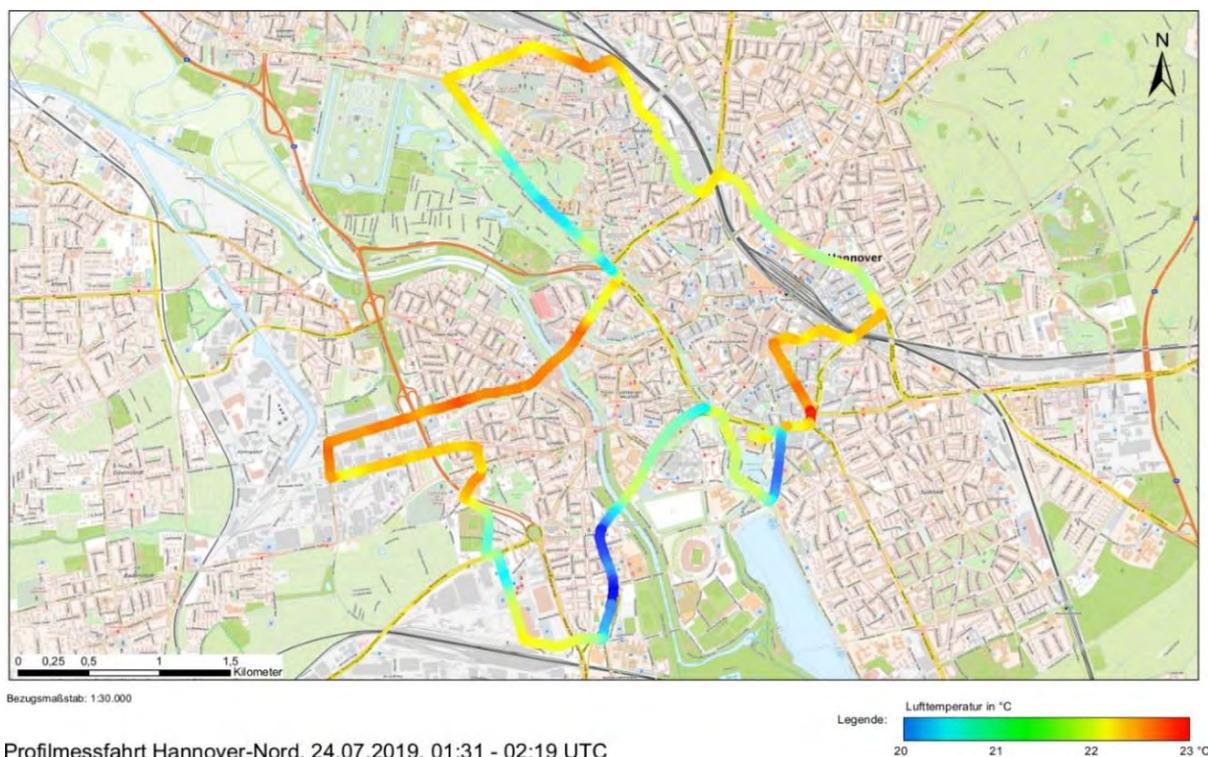


Abbildung 7.2: Lufttemperaturmessungen (2 m) auf der Nordroute am 24.07.2019, frühmorgens

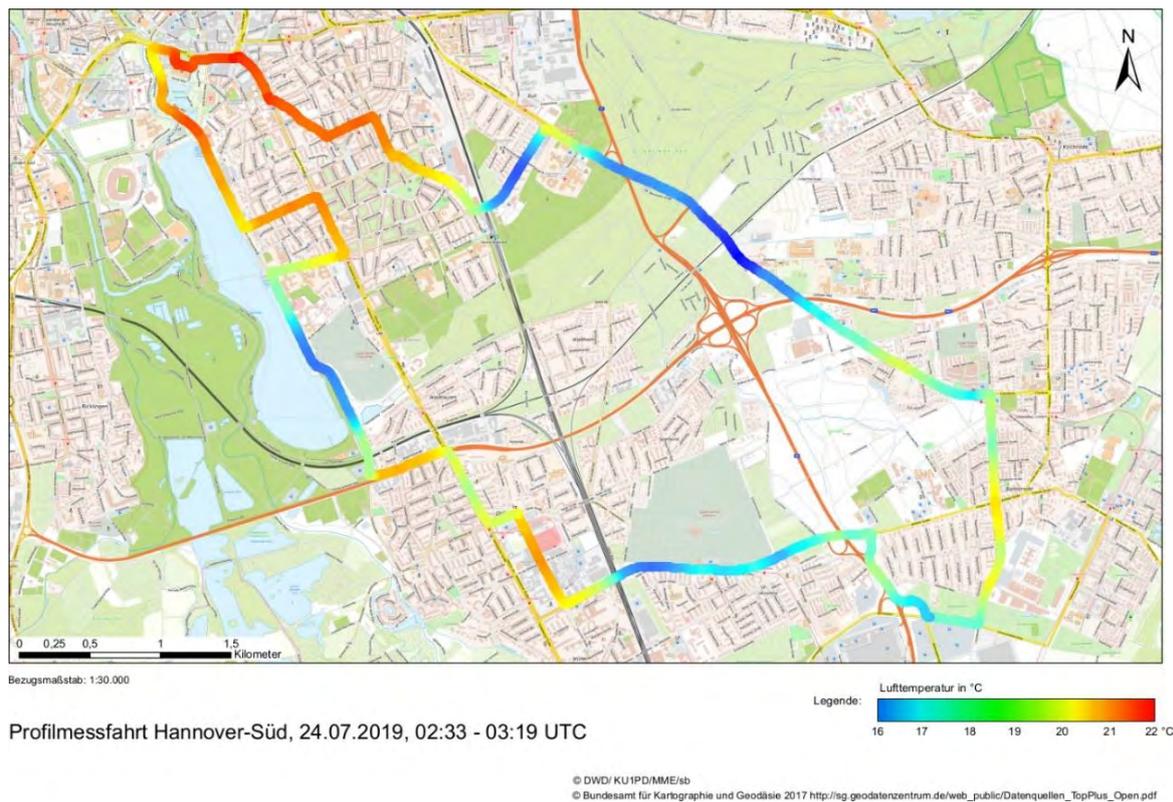


Abbildung 7.3: Lufttemperaturmessungen (2 m) auf der Südroute am 24.07.2019, frühmorgens

Im Wesentlichen haben auch die anderen Abendfahrten und Frühmorgenfahrten dieses erwartete Muster gezeigt: warme Bereiche auf Streckenabschnitten mit dichter Bebauung, kühle Bereiche auf Streckenabschnitten in oder entlang von ausgedehnten Grünanlagen. Auch die Auswirkungen größerer Wasserflächen wurde eindrucksvoll wiedergegeben: tagsüber wirken die Wasserflächen im Hochsommer kühlend, nachts wirken sie auf die unmittelbare Umgebung wie Warmwasserheizungen. Aber auch dabei kommt es auf die nähere Umgebung an: das unbebaute Südufer des Maschsees gehörte immer zu den kühlestern Streckenabschnitten; hier wird, je nach Windrichtung Kaltluft aus der Eilenriede bzw. den Teichwiesen am gegenüberliegenden Ufer herangeführt.

Die mobilen Temperaturmessungen wurden mit den zeitgleichen Messungen der Station Langenhagen in Beziehung gesetzt. Die Differenzen der Mitteltemperaturen zeigen an, ob es auf

Datum	Nordroute			Südroute		
	Frühmorgen	Nachmittag	Abend	Frühmorgen	Nachmittag	Abend
03.07.2018	4,3	-0,2	2,6	2,4	-0,5	2,3
04.07.2018	3,9	0,2	3,2	3,6	-0,1	1,8
23.07.2019	-	0,0	2,5	-	-0,1	1,0
24.07.2019	2,5	-0,2	2,4	1,0	-0,1	1,4
25.07.2019	3,2	-	-	1,2	-	-
06.08.2020	0,9	-0,7	1,7	0,4	-0,7	-0,1
07.08.2020	1,7	-	-	0,3	-	-

Tabelle 7.1: Differenz zwischen den Mitteltemperaturen der Messfahrten und den zeitgleich in Hannover-Langenhagen gemessenen Lufttemperaturen, angegeben in K.

der Messstrecke insgesamt wärmer oder kühler war als an der Umlandstation. Für alle 32 Messfahrten gibt Tabelle 7.1 an, wie groß die Abweichung zwischen den Temperaturen der Messfahrten und der Referenzstation Langenhagen ist, jeweils bezogen auf den gleichen Zeitraum. Auf der Nordroute war es während Abendtouren zwischen 1,7 und 3,2 K wärmer, während der der Frühmorgentouren +0,9 bis +4,3 K. Auf der Südroute war es während der Frühmorgentouren im Mittel 0,3 bis 3,6 K wärmer als am Flughafen, bei den Abendmessungen wurden Abweichungen bis zu +2,3 K registriert. Während der Nachmittagsfahrten lagen die Abweichungen auf beiden Routen meist nahe Null, vereinzelt wurden bis zu -0,7 K gemessen.

8 Die Straßenbahnmessungen

Im Rahmen des Stadtklimaprojektes wurden drei Straßenbahnwagen der ÜSTRA mit Messgeräten (Temperatur, Luftfeuchte) im Außenbereich ausgestattet. Mit Hilfe dieser Messungen konnte eine ausgedehnte räumliche Erfassung meteorologischer Daten erreicht werden. Für die Auswertung wurden 20 spezielle, baulich interessante Streckenabschnitte ausgewählt. Sie reichten von rein gewerblich genutzten Bereichen über Wohngebiete bis hin zu wenig bebauten Grünflächen. Ausgewertet wurden die Differenzen (räumliche Anomalien) zwischen den Tramdaten und den Daten der Referenzstation Kattenbrookspark. Einige Ergebnisse sind in Abbildung 8.1 dargestellt.

Insgesamt zeigten alle Streckenabschnitte im Mittel eine positive Abweichung von der Referenzstation, welche bei etwa 1 K lag (siehe Abbildung 8.1, obere Grafik). Die Extremwerte reichten von einer positiven Abweichung von über 7 K bis hin zu negativen Anomalien von -6 K. Im Mittel am stärksten überwärmt waren Streckenabschnitte in der Nordstadt (Engelbosteler Damm/Haltenhoffstraße (Streckenabschnitt 8), Nienburger Straße (Streckenabschnitt 20) und Vahrenwalder Straße (Streckenabschnitt 2)). Dabei zeigte sich, dass die baulichen Eigenschaften entlang der Strecke nicht immer die alleinige Ursache für eine starke oder niedrige Überwärmung sein müssen. Auch die Verhältnisse in der näheren Umgebung spielen eine maßgebliche Rolle. So erfährt die Nienburger Straße, welche in einem Grünstreifen mit aufgelockerter Bebauung liegt, eine starke Überwärmung, wenn der Wind aus Richtung Ost weht, in der die häufig stark überwärmte Nordstadt liegt. Aber auch der gegenteilige Fall tritt auf: stark bebaute und versiegelte Gebiete können von einer baulich aufgelockerten oder grünen Umgebung profitieren, wenn die Winde aus entsprechender Richtung kommen.

Neben der Abhängigkeit der Temperaturanomalie von der Windrichtung, wurde auch eine Abhängigkeit von der Lufttemperatur untersucht. Die stark überwärmten Bereiche zeigten eine Abnahme der Temperaturanomalie mit steigender Lufttemperatur. Weniger stark überwärmte Gebiete zeigten diese Abhängigkeit nicht. Dies könnte sich bei der Anzahl der Tropennächte aber auch der Frosttage bemerkbar machen. Auch beim Tagesgang wird dieser Effekt sichtbar. Vor allem in den Sommermonaten (hier: Juni, Juli, August) sind die Anomalien bei den stärker überwärmten Gebieten nachts deutlich höher als am Tag (siehe Abbildung 8.1, unterer Teil). Im Winter ist der Tagesgang kaum zu erkennen, die Anomalien sind aber insgesamt etwas höher. Ein Jahresgang innerhalb der Temperaturanomalien war nicht zu erkennen. Eine Ausnahme bildete die Strecke 8, welche in den Wintermonaten deutlich höhere Anomaliewerte zeigte als in den Sommermonaten.

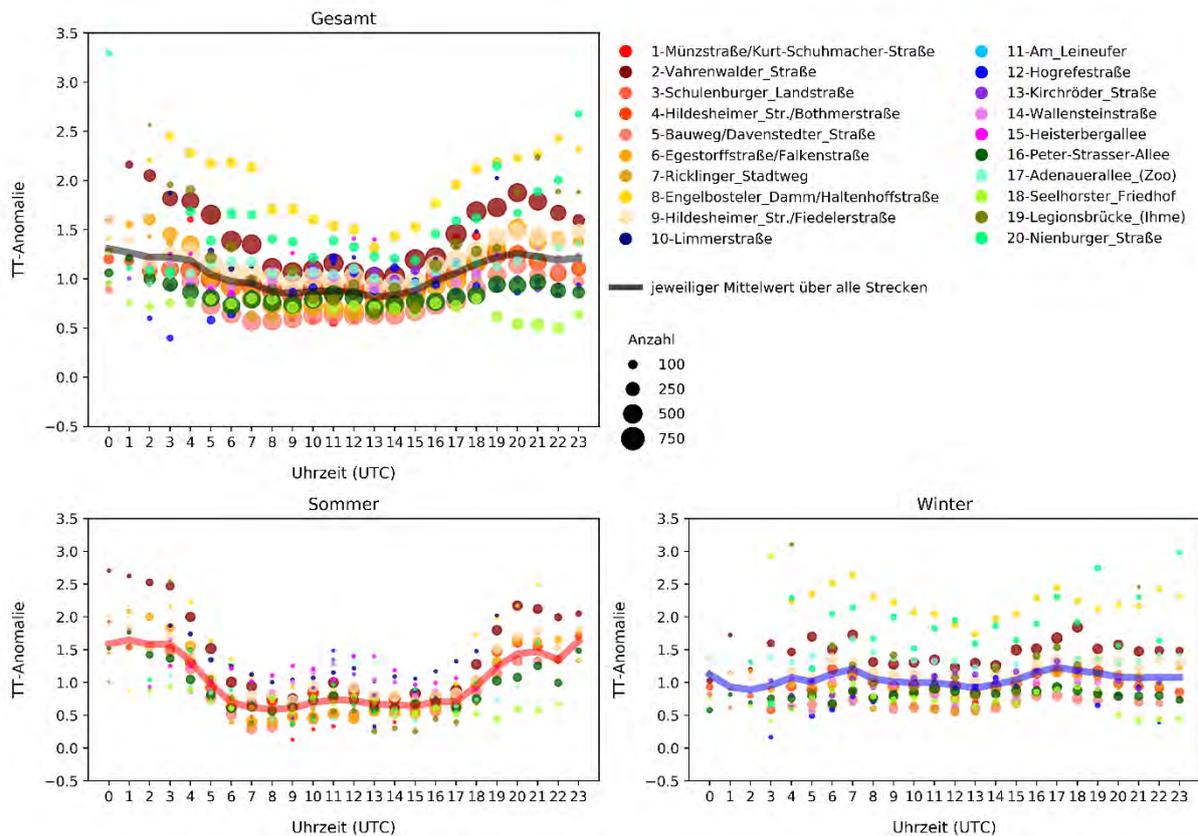


Abbildung 8.1: Tagesgang der Temperaturanomalien aller Streckenabschnitte. Die Zahl auf der X-Achse steht jeweils für die nachfolgende Stunde (also 0 bedeutet von 0:00 bis 0:59 Uhr UTC usw.). Die Blasengröße steht für die Anzahl der verfügbaren Messstunden in der jeweiligen Stunde für den jeweiligen Streckenabschnitt. Die graue Linie zeigt den Mittelwert über alle Strecken. Die rote und blaue Linie zeigen jeweils den Mittelwert für die Sommer- (Juni, Juli, August) bzw. Wintermonate (Dezember, Januar, Februar). Dargestellt sind Mittelwerte, für die mind. 10 Messstunden zur Verfügung standen.

Zusätzlich zu den Außenmessungen, wurden in einer der Trams auch Messungen im Innenraum durchgeführt. Ein deutlicher Unterschied der Außen- und Innenmessungen zeigte sich zwischen den Sommer- und Wintermonaten. Im Sommer folgt die Temperatur im Fahrgastinnenraum der Außentemperatur, ist aber im Mittel den ganzen Tag etwa um 4 K höher. Im Winter zeigt sich durch die Heizung eine relativ konstante Innenraumtemperatur von im Mittel 20 °C. Die relative Feuchte war im Fahrgastinnenraum im Mittel immer niedriger als die Außenfeuchte, auch hier ist der Effekt im Winter durch die Heizung entsprechend höher als im Sommer.

Dank an alle Beteiligten

Zum guten Gelingen des Stadtklimaprojektes Hannover haben viele Menschen beigetragen. Das soll an dieser Stelle gewürdigt werden!

- Frau Bank und Herr Schmidt vom Fachbereich Umwelt und Stadtgrün der Stadt Hannover haben im Vorfeld und während des Projektes immer ein offenes Ohr für unsere Wünsche und Bedarfe gehabt, uns in allen Belangen begleitet und tatkräftig unterstützt. Die Zwischenergebnisse wurden mit großem Interesse zur Kenntnis genommen und diskutiert.
- Von vor dem Anfang bis nach dem Ende der Messkampagne haben die Kollegen der Meteorologischen Messeinheit (MME) des DWD ihr Können unter Beweis gestellt: bei der Planung und dem Aufbau der Stationen, Dokumentation, Überwachung des Datenflusses, Behebung von Ausfällen, regelmäßiger Wartung und schlussendlich beim Rückbau. Improvisationstalent war gefordert bei der Ausrüstung der Straßenbahnen mit Messgeräten und dem nötigen Drumherum, und eine gute Zusammenarbeit mit den Technikern und Mitarbeiterinnen der ÜSTRA. Gleich dreimal haben sie mit einem unserer Messfahrzeuge Profilmessfahrten in Hannover durchgeführt, jedesmal bei allerbestem Sommerwetter. Insbesondere die Nachmittagsfahrten bei über 30 °C waren sicher schweißtreibend!
- Ein ganz großes Dankeschön geht an die ÜSTRA, die es erlaubt hat, dass drei Trams mit unseren Messgeräten ausgerüstet werden konnten. Die ÜSTRA-Mitarbeiter haben unsere Techniker immer bereitwillig unterstützt und es zugelassen, dass an ihren Straßenbahnen vorübergehende Veränderungen vorgenommen wurden.
- Im Regionalen Klimabüro Potsdam wurden die Tramdaten von Petra Tanner gesammelt und in einer Datenbank gehütet. Dr. Frank Kreienkamp hat die Tramdaten so komfortabel aufbereitet, dass wir sie ohne weiteres verarbeiten konnten.
- Dr. Heike Schau-Noppel vom Zentralen Klimabüro in Offenbach hat die Studie mit dem Stadtklimamodell MUKLIMO durchgeführt und stand für alle Fragen rund um MUKLIMO zur Verfügung.
- Viele Kolleginnen und Kollegen des Regionalen Klimabüro Hamburg haben bei der Aufbereitung der Daten tatkräftig mitgewirkt. Sie haben Auswerteprogramme entwickelt, Tabellen und Grafiken erstellt und standen neuen Ideen, Wünschen und Anforderungen immer positiv gegenüber.

Für Fragen und Hinweise stehen wir gerne zur Verfügung. Der vollständige Abschlussbericht samt Anhang kann bei uns angefordert werden:

klima.hamburg@dwd.de

Telefon: 069 8062 6022

Deutscher Wetterdienst, Regionales Klimabüro Hamburg, Bernhard-Nocht-Str. 76, 20359 Hamburg