

Müller-BBM Industry Solutions GmbH
Helmut-A.-Müller Straße 1 - 5
82152 Planegg

Telefon +49(89)85602 0
Telefax +49(89)85602 111

www.mbbm-ind.com

Dr. Johannes Sander
Telefon +49(89)85602 3142
johannes.sander@mbbm-ind.com

12. September 2024
M177404/09 Version 1 SAND/WG

Anhang zur Stadtklimaanalyse Maintal, Nidderau, Schöneck

Gefördert mit Mitteln des Landes Hessen



Hessisches Ministerium für Landwirtschaft
und Umwelt, Weinbau, Forsten, Jagd und
Heimat

Integrierter
Klimaschutzplan
Hessen 2025



Auftraggeber:

Stadt Nidderau
Am Steinweg 1
61130 Nidderau
(Interkommunale Kooperation
Maintal, Nidderau, Schöneck)

Auftraggeber:

Magistrat der Stadt Maintal
Klosterhofstraße 4-6
63477 Maintal

Bearbeitet von:

Dr. Johannes Sander (Autor)
Dr. Rainer Bösinger (Mikrometeorologie)
Michael Kortner (Qualitätssicherung)
Erik Petersen (Mikrometeorologie)
Axel Rühling (Stadtklimatologie)
Stefanie Zander (Kaltluft)

Berichtsumfang:

Insgesamt 30 Seiten

Müller-BBM Industry Solutions GmbH
HRB München 86143
USt-IdNr. DE812167190

Geschäftsführer:
Joachim Bittner,
Manuel Männel,
Dr. Alexander Ropertz

Inhaltsverzeichnis

1	Messkampagne	3
1.1	Ziel und Aufbau der Messkampagne	3
1.2	Kalibrierung	9
2	Datenauswertung	12
2.1	Übersicht	12
2.2	Tagesgang der Temperatur	17
2.3	Nächtliche Überwärmung und Städtische Wärmeinsel	19
3	Validierung der Stadtklimasimulation	24
4	Schlussfolgerungen und Bewertung	29
5	Quellenverzeichnis	30

1 Messkampagne

1.1 Ziel und Aufbau der Messkampagne

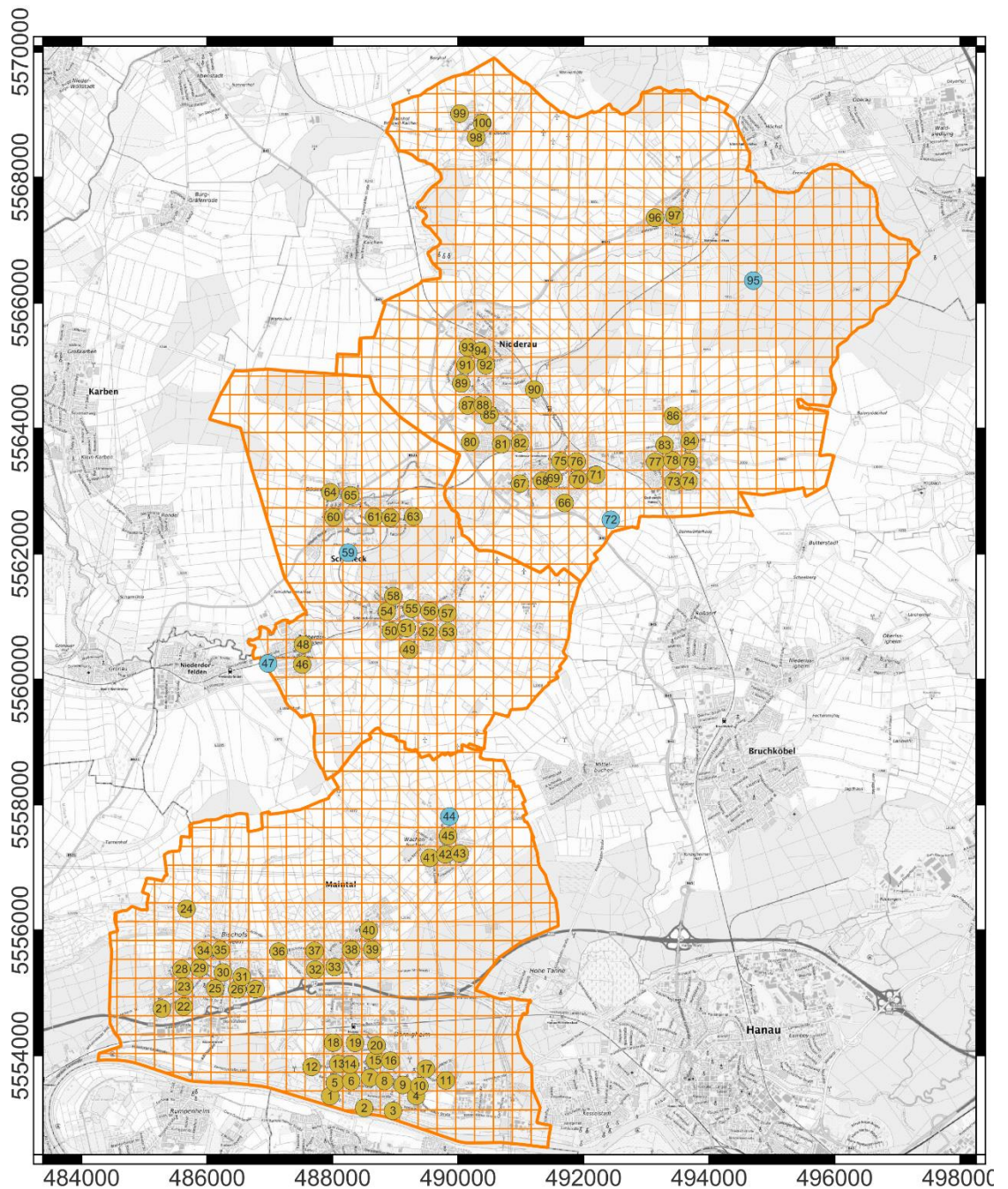
Ziel der Messkampagne ist es, die Modellergebnisse aus der Stadtklimaanalyse zu validieren. Dazu wurden Messungen der Temperatur während der Sommermonate 2024 ausgeführt.

Es wurden 100 Messstellen zur Temperaturmessung als stationäre Messung in allen Stadtteilen und Ortschaften von Maintal, Nidderau und Schöneck eingerichtet. Die Messgeräte wurden überwiegend an Masten der öffentlichen Beleuchtung und, wo dies nicht möglich war, an anderen Einrichtungen, in einer Höhe von ca. 2,5 Metern über Grund befestigt. Diese Höhe erfüllt die Anforderungen der öffentlichen Sicherheit und entspricht nahezu den internationalen Standards, nach denen die Temperatur in einer Höhe von 2 Metern über Grund gemessen wird.

Die Temperatur wurde im Zeitraum vom 1. Juni 2024 bis zum 30. September 2024 gemessen und im Messgerät gespeichert. Die Messung erfolgt alle fünf Minuten.

Die Messstellen wurden vorgängig nach zwei Kriterien ausgewählt. Zum einen sollten die Temperaturmessungen in allen besiedelten Gebieten auf einem Raster von ca. 300 Metern Breite erfolgen. Zum anderen wurden die Messgeräte so verteilt, dass möglichst in jedem Klimatop der Stadtteile ein Messgerät eingerichtet wird.

Die Standorte, an denen die Messgeräte installiert wurden, sind in Abbildung 1 dargestellt.



Projekt: Stadtklimaanalyse Nidderau / Maintal / Schöneck	Messkampagne	Hintergrund: TopPlusOpen (C) GKS 2024
Projektion: EPSG:25832	MÜLLER-BBM	Gemeindegrenzen: Hessisches Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation

Abbildung 1. Standorte der Messgeräte. Die Messpunkte in blauer Farbe liegen außerhalb besiedelter Gebiete und werden als Referenz genutzt. In der Grafik ist ein Raster von 300 Metern eingetragen. Gemeindegrenzen aus [1]. Hintergrund: TopPlusOpen, BKG 2024 [2].

Jedes Messgerät kann über eine Seriennummer identifiziert werden. Tabelle 1 enthält die Positionsangabe (UTM-32) sowie Ort und Straßennamen, wo das Messgerät installiert wurde.

Von den 100 installierten Messgeräten wurde

- eines mutwillig zerstört (Seriennummer 1007087);
- ein zweites wurde von Unbekannten demontiert (Seriennummer 1010928);
- ein drittes wurde aufgrund von Bauarbeiten am Laternenmast in der Höhe versetzt, so dass die Messdaten nicht brauchbar waren (Seriennummer 1010944);
- ein viertes musste vorzeitig abgebaut werden (Seriennummer 1009697).

Damit waren die Messungen an zwei Messorten verloren und an zwei Orten sind die Messdaten nicht während der ganzen Messperiode verfügbar.

Tabelle 1. Ortsangaben zu den installierten Messgeräten. Der Hoch- und Rechtswert ist in UTM-32 angegeben. An den mit grauer Farbe gekennzeichneten Messorten konnte die Messung nicht vollständig ausgeführt werden.

Nr	Seriennummer	Ortschaft	Straße	Hochwert	Rechtswert
1	1010918	Dörnigheim	Südring	5553366	487962
2	1011223	Dörnigheim	Am Main	5553168	488585
3	1007072	Dörnigheim	Mainstr.	5553130	488940
4	1011304	Dörnigheim	Kennedystr.	5553356	489314
5	1010927	Dörnigheim	Egerstr.	5553576	488017
6	1011235	Dörnigheim	Dürerstr.	5553592	488297
7	1009686	Dörnigheim	Karlstr.	5553573	488591
8	1011237	Dörnigheim	Robert Koch Str.	5553596	488870
9	1009704	Dörnigheim	Paul Gerhardt Str.	5553553	489130
10	1009698	Dörnigheim	Wilhelmsbader Str.	5553596	489434
11	1009687	Dörnigheim	Espenpfad	5553602	489804
12	1011236	Dörnigheim	Westendstr. Kreuzung L3195	5553850	487653
13	1009707	Dörnigheim	Florschheldstr.	5553866	488089
14	1007061	Dörnigheim	Rathenastr.	5553889	488282
15	1009677	Dörnigheim	Wichernstr.	5554205	488007
16	1009678	Dörnigheim	Berliner Str.	5554202	488356
17	1009706	Dörnigheim	Hermann-Löns-Str.	5554161	488699
18	1011309	Dörnigheim	Ascher Str.	5553924	488673
19	1010934	Dörnigheim	Bahnhofstr.	5553917	488921
20	1011313	Dörnigheim	Oderstr.	5553788	489487
21	1009709	Bischofsheim	Spessartstr.	5557472	489847
22	1010925	Bischofsheim	Weidenseestr.	5557894	489891
23	1010931	Bischofsheim	Hochstr.	5557220	490048
24	1009683	Bischofsheim	Parkplatz beim Klein- Garten-Verein	5555411	488030
25	1010912	Bischofsheim	Sudetenstr.	5557185	489801

Nr	Seriennummer	Ortschaft	Strasse	Hochwert	Rechtswert
26	1011315	Bischofsheim	Thomas Mann Str.	5557178	489512
27	1010939	Bischofsheim	Goethestr.	5555995	488575
28	1010944	Bischofsheim	Waldstr.	5555670	487703
29	1009711	Bischofsheim	Rumpenheimer Weg	5555667	488019
30	1009676	Bischofsheim	Gartenstr.	5555655	488286
31	1010921	Bischofsheim	Adalbert Stifter Str.	5555688	488631
32	1011225	Hochstadt	Am Röderberg	5554748	485278
33	1010932	Hochstadt	Römerstr.	5554779	485626
34	1009691	Bischofsheim	Borngasse	5555681	486212
35	1010929	Bischofsheim	Hochstädter Str.	5555673	485943
36	1010940	Bischofsheim	Feldweg	5555400	487725
37	1009710	Hochstadt	Bischhofsheimer Str.	5555061	485659
38	1009697	Hochstadt	Ringstr.	5555089	485916
39	1009681	Hochstadt	Bernauer Str.	5555095	486151
40	1009680	Hochstadt	Maulbeerweg	5555054	486478
41	1009679	Wachenbuchen	Ronneburgstr.	5555082	486809
42	1009712	Wachenbuchen	Hintertor	5555351	486253
43	1011319	Wachenbuchen	Querstr.	5555254	486553
44	1011305	Wachenbuchen	Sendemast	5555394	485879
45	1009684	Wachenbuchen	Hauptstr.	5555377	485592
46	1007065	Oberdorfelden	Rhönstr.	5564704	490066
47	1010919	Oberdorfelden,	Neuer Friedhof	5564380	490404
48	1009693	Oberdorfelden	Egerländer Str.	5564705	491141
49	1011321	Kilianstädten	Danziger Str.	5568867	490383
50	1007075	Kilianstädten	Leipziger Str.	5569030	490019
51	1010938	Kilianstädten	Bremer Str.	5568630	490301
52	1009690	Kilianstädten	Mozartstr.	5567391	493448
53	1011311	Kilianstädten	Hanauer Str.	5567356	493136
54	1009700	Kilianstädten	Waldstr.	5564981	490112
55	1010950	Kilianstädten	Niederbergring	5565289	490155
56	1007087	Kilianstädten	Pfarrgasse	5565235	490361
57	1009674	Kilianstädten	Weiherstr.	5566355	494703
58	1007085	Kilianstädten	Waldstr.	5565012	490456
59	1011320	Büdesheim	Neuer Friedhof	5564350	490175
60	1009695	Büdesheim	Hinter den Zäunen	5563732	493290
61	1010914	Büdesheim	Kilianstädter Str.	5563794	493690
62	1010916	Büdesheim	Sudetenstr.	5564214	490498
63	1011308	Büdesheim	Sudetenstr.	5564198	493424
64	1009708	Büdesheim	Froschbachstr.	5563763	490987
65	1009689	Büdesheim	Nördliche Hauptstr.	5563744	490687
66	1007068	Windecken	Vogelsbergstr.	5562576	488918
67	1011310	Windecken	Im Feldchen	5562923	487948
68	1010936	Windecken	Goethestr.	5563161	491336
69	1009688	Windecken	Höhenstr.	5563118	490984
70	1009692	Windecken	Über d. Hohl	5563202	491518

Nr	Seriennummer	Ortschaft	Strasse	Hochwert	Rechtswert
71	1009702	Windecken	Jenaer Str.	5562588	488659
71	1010949	Windecken	Jenaer Str.	5563184	491912
71	1012298	Windecken	Jenaer Str.	5562591	489286
73	1009682	Ostheim	Zeisigweg	5563489	493412
74	1010933	Ostheim	Lerchenweg	5563463	493139
75	1009675	Windecken	Friedrich-Ebert-Str.	5562930	488284
76	1010946	Windecken	Wartbaumstr.	5562809	491696
78	1010920	Ostheim	Neugasse	5563489	493677
79	1011303	Ostheim	Hinter dem Turm	5563472	491888
80	1010942	Nidderau	Gerlinde-Beck-Str. Auffahrt zur B45	5561118	489210
81	1007063	Nidderau	Vor den Gärten	5561077	489543
82	1011317	Nidderau	Am Nidderfeld	5561062	489824
83	1010915	Ostheim	In den Pfortenwiesen	5563780	490190
84	1010928	Ostheim	Schinnergasse	5563477	491628
85	1010941	Nidderau	Wagnerstr.	5561081	488863
86	1011314	Ostheim	Heldenberger Weg	5563162	493684
87	1009701	Nidderau	Castelling	5560751	489521
88	1009705	Nidderau	Augustusstr.	5560778	489821
89	1010922	Nidderau	Karbener Str.	5563152	493418
90	1010913	Nidderau	Bahnhofstr.	5563251	492188
91	1009713	Nidderau	Gartenstr.	5561293	488941
92	1010917	Nidderau	Untergasse	5562598	492458
93	1009696	Nidderau	Römerstr.	5562015	488245
94	1010937	Nidderau	Gartenstr.	5562584	488012
95	1009694	Eichen, Wald	Vogelschutzhütte	5560815	489177
96	1011316	Eichen	Feldbergstr.	5560769	488929
97	1007094	Eichen	Obergasse	5560470	489217
98	1010930	Erbstadt	Wetterauer Str.	5560233	487514
99	1007064	Erbstadt	Danziger Str.	5560551	487526
100	1010935	Erbstadt	Winner Str.	5560248	486946

1.1.1 Messgeräte

Die Temperatur wird mit einem NTC-Thermistor Messfühler, Gemini PB-5007-0M025 gemessen. Der Messfühler hat einen Messbereich zwischen -40 °C bis +85 °C. Die Spezifikation des Sensors gibt eine gleichbleibende Genauigkeit von 0,2 °C im Messbereich zwischen 0 °C bis 70 °C an. Unterhalb von 0 °C und oberhalb von 70 °C steigt die Messunsicherheit linear an. Der Sensor ist wasserdicht gemäß IP68. Die Responsezeit, die Zeit bis das Gerät die Temperatur aufgenommen hat, wird im Wasser mit 12 Sekunden angegeben.

Aufgrund der Spezifikation eignet sich der Sensor für Messungen im Freien und während der Sommermonate. Die Responsezeit von 12 Sekunden ist ausreichend, um Daten im 5-Minutenintervall aufzuzeichnen und zu verwerten.

Jeder Messfühler ist auf einen Datenlogger Gemini Tinytag Plus 2, TGP-4020 montiert. Der Logger ist mit einem Ringspeicher ausgestattet, der 32000 Datenmesspunkte mit Zeitstempel speichern kann. Messdaten wurden alle fünf Minuten in den Speicher gelesen, so dass die Temperaturmessung an mehr als 110 Tage (ca. 3,5 Monate) gespeichert werden kann, ohne dass die Logger in der Zwischenzeit ausgelesen werden müssten.

Die Messfühler und Datenlogger bilden jeweils eine Messeinheit, die nach dem Zusammenbau nicht mehr getrennt wurde und mit einer Seriennummer identifiziert ist. Der Messfühler und der Datenlogger sind in Abbildung 2 abgebildet.



Abbildung 2. Links: Messfühler Gemini PB-5007-0M025. Rechts: Datenlogger Tinytag Plus 2, TGP-4020. Fotos: Müller-BBM, 2024.

Die direkte Sonnenstrahlung wird bei der Temperaturmessung durch einen passiv belüfteten Behälter, in dem sich der Temperatursensor befindet, abgeschirmt. Die Luft kann durch Belüftungsschlitze durch den Behälter strömen. Die Belüftungsschlitze sind so ausgebildet, dass eine direkte Einstrahlung der Sonne weitestgehend verhindert wird.

Der Behälter und ein Beispiel zur Montage sind in Abbildung 3 dargestellt. Die Messgeräte sind in einer Höhe von ca. 2,5 Metern montiert.



Abbildung 3. Wetterstation mit Belüftungsschlitzen und Montage eines Messgerätes an einem Mast der öffentlichen Beleuchtung. Fotos: Müller-BBM, 2024.

1.2 Kalibrierung

Die Temperaturerfassungen aller Messgeräte (Messfühler, montiert auf einem Datenlogger) werden gegen ein Messgerät, das als Master bezeichnet wird, abgeglichen. Das Master Messgerät mit Seriennummer 1012298 wurde vom Hersteller kalibriert.

Vor der Messkampagne, im Mai 2024 und unmittelbar nach der Messkampagne, im September 2024, wurden jeweils während einer Woche alle Messgeräte in einen gut belüfteten Raum gestellt, in den keine direkte Sonnenstrahlung einfällt. Aus den Messwerten der Messgeräte wird ein Kreuzvergleich erstellt, und mittels einer linearen Korrelation werden die Messwerte der einzelnen Messgeräte auf die Messdaten des Master Messgerätes korrigiert. Die Korrektur basiert auf ungefähr 2300 Temperaturmessungen.

In der eher kühlen ersten Woche des Septembers 2024 stieg die Lufttemperatur kaum über 16 °C an. Der Kreuzvergleich bleibt daher auf einen Temperaturbereich beschränkt, der unter den sommerlichen Höchstwerten lag. Ein Beispiel zur Kalibrierung ist in Abbildung 4 abgebildet. Bei diesem Gerät wird aus der linearen Regression ein Off-set von 0,0525 °C und eine lineare Abweichung ermittelt, die ungefähr 1,13 % beträgt bei einem Regressionskoeffizienten von 99,9 %. Bei einer vom Hersteller angegebenen Messgenauigkeit von 0,2 °C misst dieses Gerät dieselbe Temperatur wie das Master Messgerät.

Die Messdaten aller Messgeräte zeigen eine sehr hohe Korrelation mit dem Master Messgerät. Es werden Regressionskoeffizienten von mindestens 0,992 erreicht. Mit einer linearen Korrektur können daher alle Messgeräte auf den Master zurückgeführt werden.

Für die weiteren Auswertungen werden die Messdaten mit der für jedes Messgerät ermittelten linearen Regressionsgleichung korrigiert. Als Maß der Ungenauigkeit dieser Korrektur kann die Standardabweichung des Messfehlers dienen. Sie ist bei allen Messgeräten kleiner als 0,15 °C und damit kleiner als die vom Hersteller angegebene Messgenauigkeit von 0,2 °C.

Damit ist sichergestellt, dass sich die Temperaturwerte aller Messgeräte auf einem weitestgehend homogenen Niveau befinden und die Geräte untereinander vergleichbare Messwerte liefern.

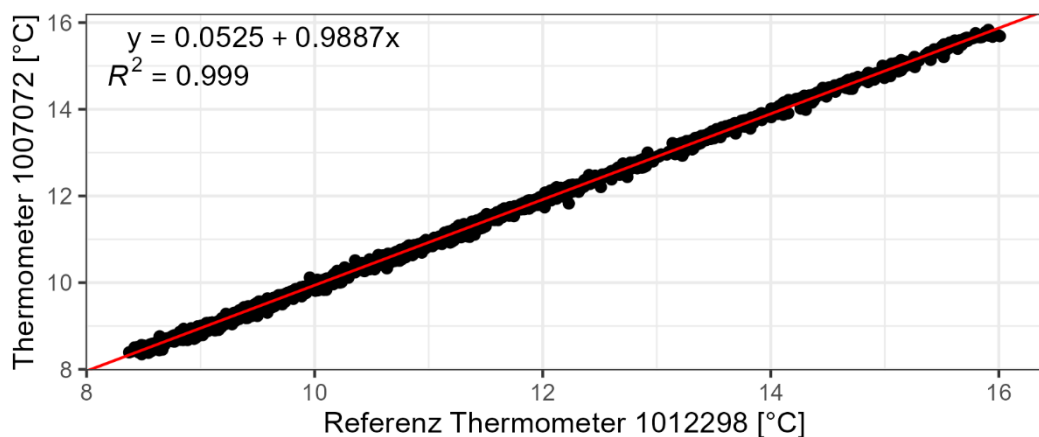


Abbildung 4. Temperaturdaten aus dem kalibrierten Messgerät 1012298 gegenüber den Temperaturdaten des Messgerätes mit Seriennummer 1007072. Die als rote Linie eingezeichnete Regressionsgerade und der Korrelationskoeffizient sind in der Abbildung angegeben.

Zur Vergleichbarkeit der Messungen aus den genutzten Messgeräten mit anderen Messgeräten, wie sie z. B. vom Deutschen Wetterdienst genutzt werden, wurde in anderen Stadtklimaanalysen eine Korrektur der Messdaten vorgenommen, mit der unbelüftete Messgeräte, die den hier verwendeten ähnlich sind, mit belüfteten Messgeräten, die in sog. Stevenson Wetterhütten installiert werden, verglichen werden können.

Korrekturen sind zwingend notwendig, wenn vieljährige Klimazeitreihen ausgewertet werden, die mit unterschiedlichen Typen von Messgeräten erhoben wurden. Auchmann [4] gibt eine Korrektur an, mit der Messungen aus belüfteten Geräten, sog. Wild Schutzhütten, in unbelüftete Stevenson Wetterhütten umgerechnet werden können. Mit dieser Korrektur soll der Einfluss des Windes und der Globalstrahlung auf einen eventuell auftretenden Hitzestau in der Wetterhütten bereinigt werden.

Es ist bekannt, dass Klimaindizes, die aus langjährigen Datenreihen ermittelt werden, wie z. B. die Anzahl Tropennächte oder heißer Tage, nur dann zuverlässig sind, wenn sie auf Datenreihen beruhen, die stets mit demselben Typ des Messgeräts erhoben wurden. Wird das Messgerät geändert, werden Korrekturen, wie sie Auchmann [4] vorgeschlagen haben, genutzt, um die Homogenität der Zeitreihe wieder herzustellen.

Gubler [6] nutzen das Korrekturverfahren von Auchmann um Messgeräte, die für eine Stadtklimaanalyse von Bern eingesetzt wurden, mit einer Referenzstation des Schweizerischen Meteorologischen Dienstes vergleichbar zu machen. Dazu werden Messungen der Globalstrahlung und des Windes aus der Referenzstation verwendet, um die Messwerte an den Messgeräten zu korrigieren.

Das Verfahren von Auchmann kann mit öffentlich zugänglichen Daten aus dem Messnetz des DWD nicht angewandt werden, da Messwerte zur Globalstrahlung aus dem Messnetz des DWD nicht verfügbar sind. Alternativ wurden Daten der Globalstrahlung und Windgeschwindigkeit aus dem Datensatz HostRaDa [4] des DWD zur Korrektur genutzt. Eine Analyse von Messdaten aus der Messkampagne, die mit dem Verfahren von Auchmann korrigiert wurden, zeigt, dass die Korrelation zwischen den Messdaten und Temperaturmessungen an der DWD Station Offenbach verbessert werden kann. Die Korrelation zwischen den Messstationen nimmt hingegen ab.

Mit der Korrektur werden Messdaten, die das lokale Mikroklima unmittelbar am Messstandort aufnehmen, an Daten aus dem Messnetz des DWD angepasst, deren Messgeräte so platziert werden, dass sie das mesoskalige Wettergeschehen repräsentativ wiedergeben. Da mit der Stadtklimaanalyse das mikroskalige klimatische Geschehen an einzelnen Punkten in der Stadt erfasst werden soll, wird auf eine Korrektur verzichtet.

In der Datenauswertung werden deshalb relative Ergebnisse dargestellt, die die Unterschiede zwischen den Messstandorten darstellen. Die Vergleichbarkeit mit mesoskaligen, klimatologischen Analysen oder Klimaindizes ist nur eingeschränkt möglich.

2 Datenauswertung

2.1 Übersicht

Der Sommer 2024 war durch einen regen Wetterwechsel gekennzeichnet. Wetterlagen, bei denen ein Tief über dem Nordatlantik teils starken Niederschlag in die Mitte Deutschlands brachte, wechselte mit Wetterlagen, an denen ein Hoch über dem südlichen Europa dominierte, mit warmen, teils heißen Sommertagen, an denen die Temperaturen über 30 °C lagen und Tagen mit nächtlichen Temperaturen über 20 °C, die als Tropennächte bezeichnet werden.

Der Temperaturverlauf an der DWD Station Offenbach [3] ist in Abbildung 5 dargestellt. In der Abbildung sind zudem die Jahresgänge der Temperaturen aus den Jahren 2005 bis 2023 und das klimatologische Mittel abgebildet. Der Temperaturverlauf von 2024 zeigt die Wetterwechsel, die mit starken Temperaturschwankungen einhergehen.

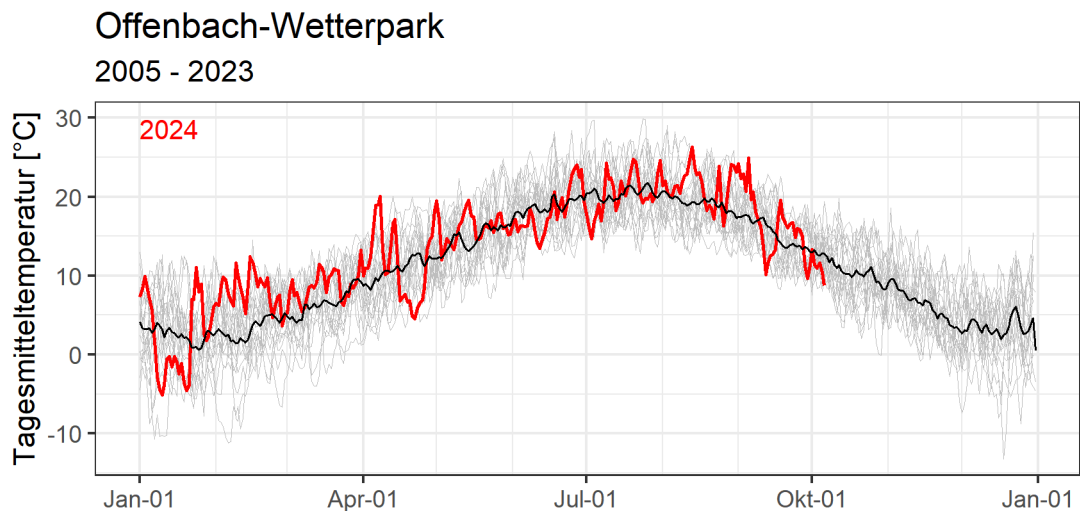


Abbildung 5. Tagesmitteltemperatur gemessen an der Wetterstation Offenbach des DWD. Die dünnen grauen Linien zeigen den Jahresgang der einzelnen Jahre seit 2005. Die schwarze Linie den Verlauf des Mittelwerts und die rote Linie die Tagesmitteltemperatur im Jahr 2024.

Aus den Messstationen der Messkampagne wurde die Anzahl von Sommertagen, heißen Tagen und Tropennächte aus den gemessenen Temperaturen ermittelt. Ein Sommertag ist dann gegeben, wenn die gemessene Temperatur einen Wert von 25 °C mindestens einmal am Tag übersteigt. An einem heißen Tag übersteigt die gemessene Temperatur 30 °C und in einer Tropennacht übersteigt zwischen 18:00 Uhr abends und 06:00 Uhr morgens die minimale Temperatur einen Wert von 20 °C. Es wird nochmals darauf hingewiesen, dass bei dieser Datenanalyse die gemessenen Temperaturen nicht mit der Lufttemperatur verwechselt werden dürfen, wie sie an einem frei stehenden, belüfteten Messgerät einer meteorologischen Beobachtungsstation des DWD gemessen würden. Die folgenden Darstellungen zu den Sommertagen, heißen Tagen und Tropennächten erfolgen daher relativ zur Differenz aus dem kältesten und wärmsten Messort in Prozentwerten.

Der kühlfte Messort befindet sich im Wald von Nidderau am Messpunkt Nr. 95. An diesem Ort werden mit dem Messgerät an 43 Tagen Temperaturen über 25 °C (Sommertag) erfasst, an 8 Tagen mehr als 30 °C (heißer Tag) und an 58 Tagen eine minimale nächtliche Temperatur von mindestens 20 °C (Tropennacht). Die Bezeichnungen als Tropennacht, Sommertag oder heißer Tag sind nicht mit denen zu verwechseln, die der DWD auf Grundlage der gemessenen Lufttemperatur an seinen Wetterstationen ermittelt.

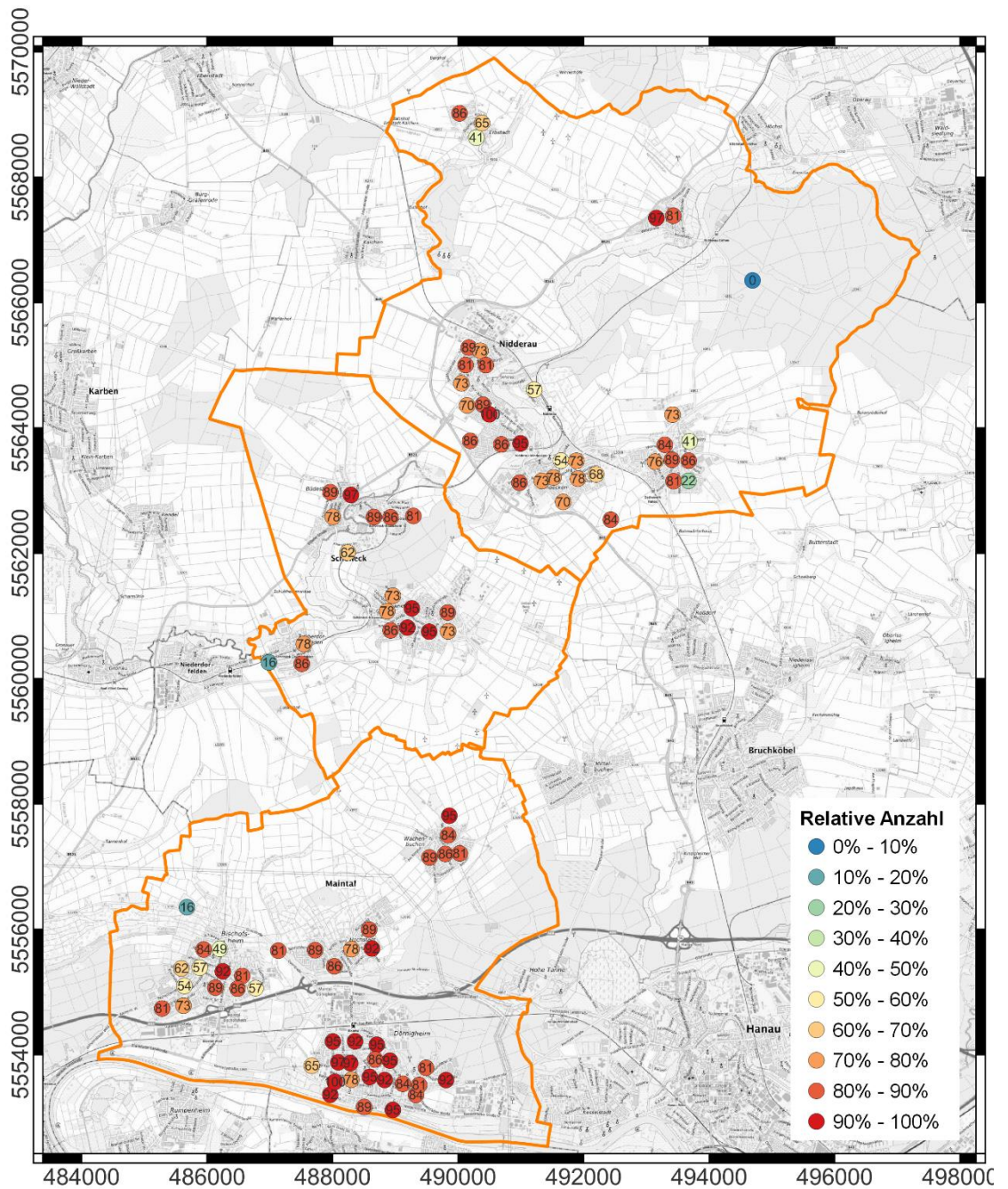
Die relative Anzahl von Sommertagen, siehe Abbildung 6, zeigt, dass die wärmsten Orte in den dicht besiedelten Gebieten wie Dörnigheim, Wachenbuchen, Kilianstädten oder Nidderau zu finden sind. Der Unterschied zwischen den besiedelten Gebieten und freien, gut durchlüfteten Orten ist am Beispiel von Oberdorfelden gut erkennbar: beim Messgerät Nr. 47, im Alten Friedhof, wird eine deutlich geringere Zahl von Sommertagen erfasst als beim Messgerät Nr. 46, das in ca. 500 Metern Luftlinie entfernt, in der Rhönstraße installiert wurde. Dasselbe Bild ergibt sich aus der relativen Anzahl von heißen Tagen, siehe Abbildung 7 oder der von Tropennächten, siehe Abbildung 8.

Der kühlende Effekt, der sich nachts in Kaltluftabflussgebieten einstellt, ist in Nidderau gut erkennbar an den Messstationen Nr. 90 in der Hügelstraße beim Bahnhof von Nidderau oder bei den an der Westseite von Nidderau installierten Messstationen Nr. 93 in der Römerstr, Nr. 91 in der Gartenstraße und Nr. 87 im Castellring. In Maintal zeigt sich der nächtliche Einfluss des Kaltluftabflusses an der Messstation Nr. 36, die im Landgraben nahe beim Albert-Einstein-Gymnasium installiert wurde und an der Messstation Nr. 12, die sich bei der Einfahrt der Westendstraße in die L3195 befindet.

Die Messdaten der genannten Messstationen bestätigen die Modellergebnisse zur Kaltluft, mit denen in den genannten Gebieten Kaltluftabflussgebiete prognostiziert wurden.

Die Messungen bestätigen auch die Modellergebnisse aus der Stadtklimaanalyse, in der gezeigt wurde, dass Dörnigheim der Stadtteil mit der größten nächtlichen Hitzebelastung ist. Dort wird die größte Rate an Tropennächte in den Messgeräten erfasst. Die Messungen an den Messorten Nr. 1, 2 und 3, die im Bereich des Mainufers von Dörnigheim installiert wurden, bestätigen die Modellergebnisse insofern, als dass der Main nur eine geringe kühlende Wirkung entfaltet. Die Hitzebelastung liegt am Mainufer deutlich über der, die im Kaltluftabflussgebiet am Blaubach, Messgerät Nr. 12 an der Westendstraße, gemessen wird.

Die sommerliche Hitzebelastung ist in den Randbezirken von Bischofsheim und Nidderau sowie in Erbstadt am schwächsten ausgeprägt. Dort sind die relativen Zahlen an Tropennächten und heißen Tagen am geringsten. In diesen Stadtteilen ist auch zu erkennen, dass extreme Hitzeereignisse, die mit Tropennächten und heißen Tagen ermittelt werden, im Vergleich zu den anderen Stadtteilen milder ausfallen. Die Anzahl Sommertage, an denen sich Hitze, aber keine extreme Hitze ausbildet, ist auch in diesen Stadtteilen deutlich ausgeprägt und mit den Messungen nachweisbar.



Projekt: Stadtklimaanalyse
Nidderau / Maintal /
Schöneck

Projektion: EPSG:25832

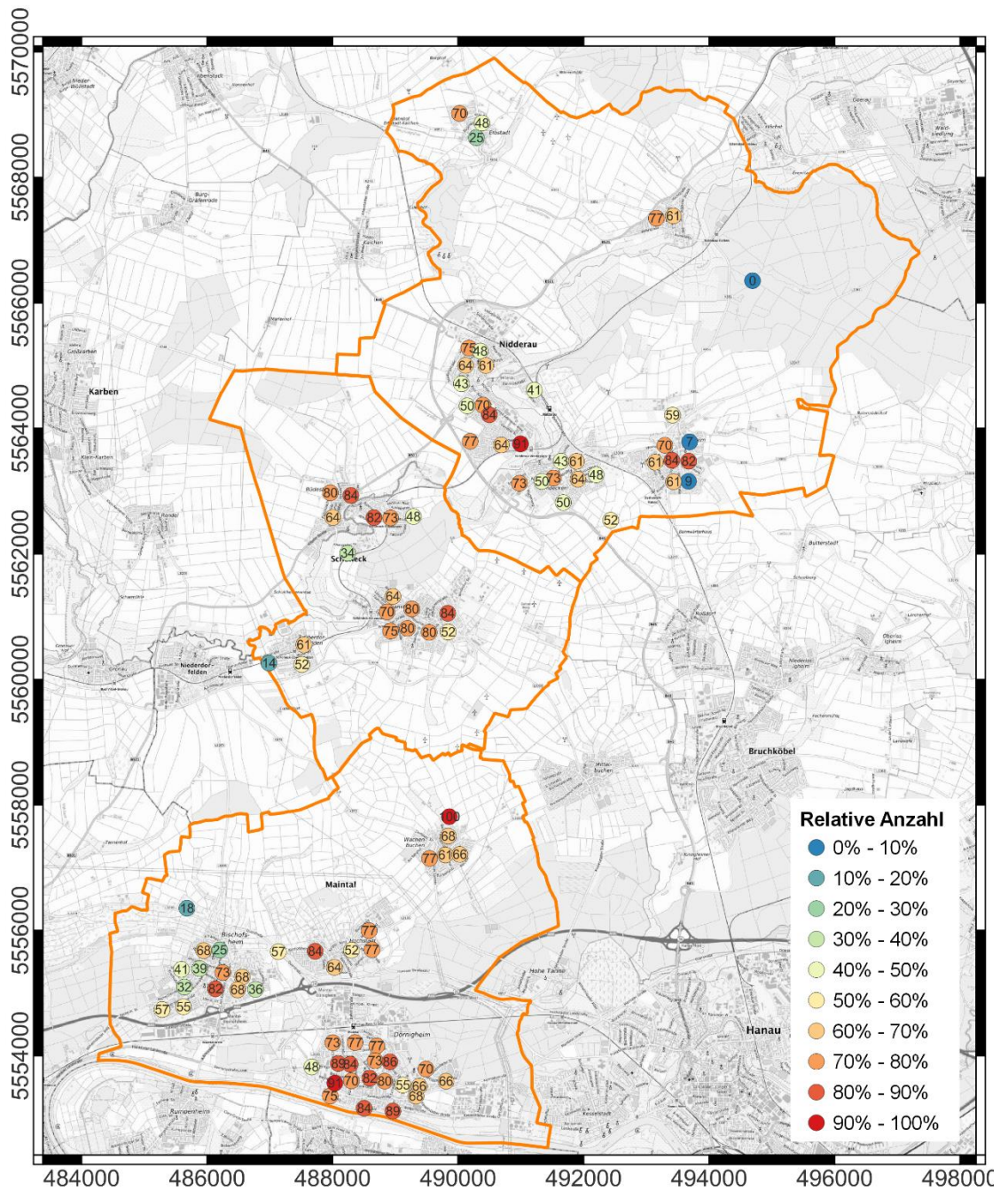
Messkampagne
rel. Anzahl Sommertage

MÜLLER-BBM

Hintergrund:
TopPlusOpen (C) GKS 2024

Gemeindegrenzen:
Hessisches Landesamt für
Bodenmanagement und
Geoinformation

Abbildung 6. Relative Anzahl warmer Tage, an denen eine Temperatur über 20 °C gemessen wurde. An jedem Messstandort ist die relative Anzahl warmer Tage farblich dargestellt und als Prozentzahl eingetragen. Gemeindegrenzen aus [1]. Hintergrund: TopPlusOpen, BKG 2024 [2].



Projekt: Stadtklimaanalyse
Nidderau / Maintal /
Schöneck

Projektion: EPSG:25832

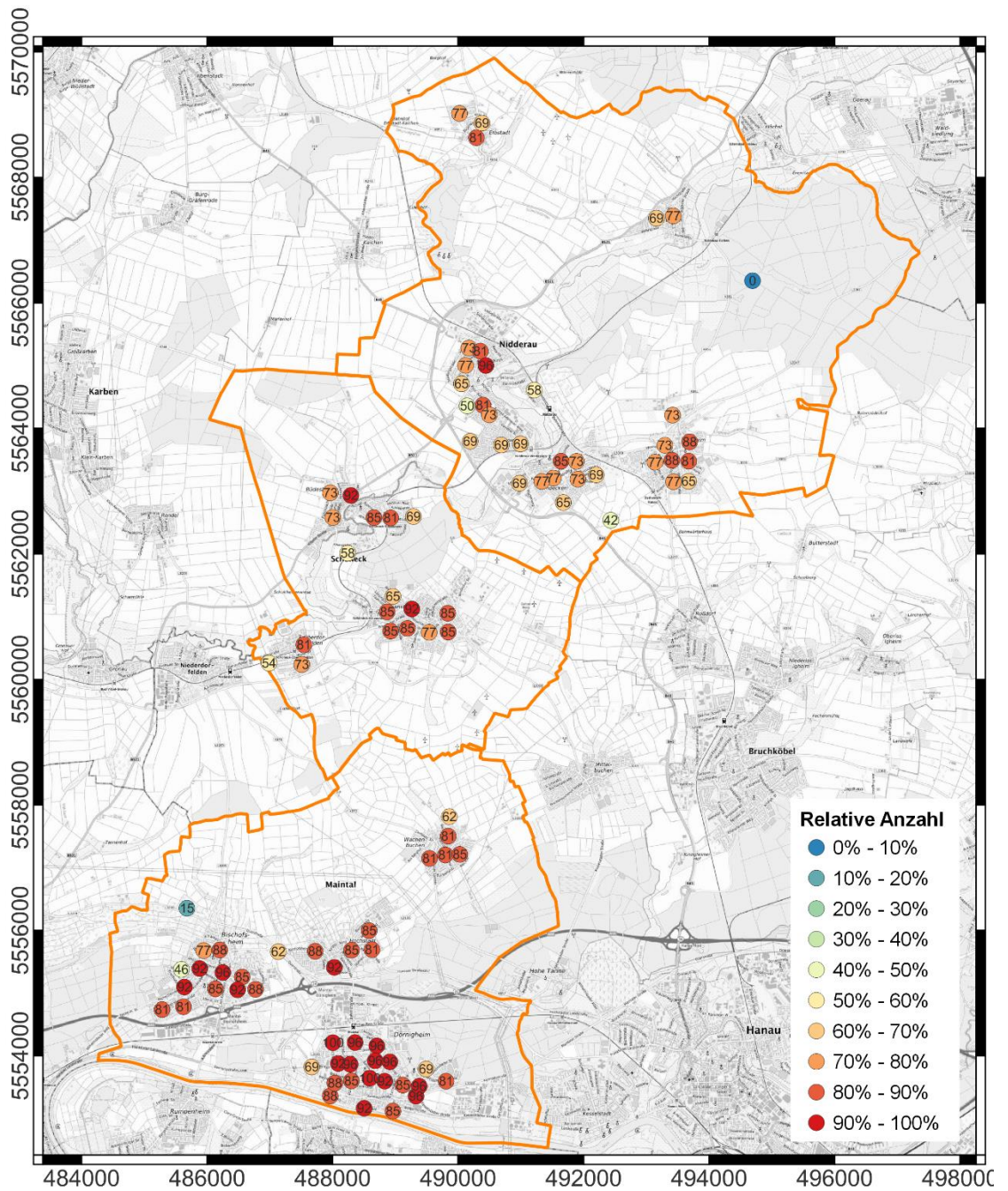
Messkampagne
rel. Anzahl heiße Tage

MÜLLER-BBM

Hintergrund:
TopPlusOpen (C) GKS 2024

Gemeindegrenzen:
Hessisches Landesamt für
Bodenmanagement und
Geoinformation

Abbildung 7. Relative Anzahl heißer Tage, an denen eine Temperatur über 30 °C gemessen wurde. An jedem Messstandort ist die relative Anzahl heißer Tage farblich dargestellt und als Prozentzahl eingetragen. Gemeindegrenzen aus [1]. Hintergrund: TopPlusOpen, BKG 2024 [2].



Projekt: Stadtklimaanalyse
Nidderau / Maintal /
Schöneck

Projektion: EPSG:25832

Messkampagne
rel. Anzahl Tropennächte

MÜLLER-BBM

Hintergrund:
TopPlusOpen (C) GKS 2024

Gemeindegrenzen:
Hessisches Landesamt für
Bodenmanagement und
Geoinformation

Abbildung 8. Relative Anzahl überwarmer Nächte, die als Tropennächte an den Messgeräten registriert werden. An jedem Messstandort ist die relative Anzahl von Tropennächte farblich dargestellt und als Prozentzahl eingetragen. Gemeindegrenzen aus [1]. Hintergrund: TopPlusOpen, BKG 2024 [2].

2.2 Tagesgang der Temperatur

Mit den Messgeräten wird kontinuierlich alle fünf Minuten die Temperatur erfasst. Daraus kann der Tagesgang der gemessenen Temperaturen als Temperaturverlauf eines beliebigen Tages aus der Messkampagne dargestellt und analysiert werden.

Zum Vergleich mit Messungen aus dem Messnetz des DWD wird eine Periode von aufeinanderfolgenden heißen Tagen aus dem Sommer 2024 ausgewählt, an denen kein Regen und nur eine geringe Bewölkung an der nahe gelegenen DWD Stationen Offenbach Wetterpark beobachtet wurde. Der wärmste Tag des Sommers war der 13.08.2024.

Der Tagesgang wird zunächst nur an ausgewählten Messstandorten dargestellt, an denen die Temperatur möglichst unbeeinflusst von versiegelten Flächen oder Baukörpern ist. Dazu wurden Messstandorte errichtet, die außerhalb der Siedlungsbereiche liegen.

In Maintal ist dies der Messstandort Nr. 16 mit Messgeräte Seriennummer 1009683, der am Parkplatz des Kleingartenverein an der L3209 eingerichtet wurde.

In Schöneck ist dies der Messstandort Nr. 47 mit Messgeräte Seriennummer 1010919, der im Neuen Friedhof von Oberdorfelden installiert wurde.

In Nidderau ist dies der Messstandort Nr. 95 mit Messgeräte Seriennummer 1009694, der bei der Vogelschutzhütte im Wald von Nidderau aufgehängt wurde.

An allen drei Referenzstandorten liegt die Zahl der relativen Sommertage und Hitzetage weit unter denen, die in den besiedelten Flächen gemessen wurden. Die Anzahl der Tropennächten ist am Waldstandort von Nidderau und beim Standort beim Kleingartenverein in Maintal deutlich geringer als innerhalb der Städte. Im Neuen Friedhof von Schöneck ist nachts die Abkühlung noch nicht stark genug, als dass dieser Standort als völlig unbelastet angesehen werden könnte.

Der Tagesgang der gemessenen Temperatur an den drei genannten Referenzstationen ist in Abbildung 9 abgebildet. Dargestellt ist der Tagesgang vom 9. August bis zum 14. August, in einer Woche, in der der heißeste Tag aus der Messkampagne am 13. August 2024 erfasst wurde. In der Nacht vom 13. auf den 14. August folgten nach einem Wetterwechsel kühlere Tage.

In Abbildung 9 sind auch die stündlichen Temperaturwerte aus der Messstation Offenbach (DWD 7341) des Deutschen Wetterdienstes eingetragen.

Der Tagesgang in Abbildung 9 zeigt an den drei Referenzstationen einen ähnlichen Verlauf der Temperatur: bis in die frühen Morgenstunden, ungefähr 06:00 Uhr, also vor Sonnenaufgang sinkt die Temperatur langsam ab und steigt nach Sonnenaufgang von ca. 06:15 Uhr rasch an, bis sie in den Nachmittagsstunden, ca. 15:00 bis 18:00 Uhr, ihr Maximum erreicht hat. Danach sinkt die Temperatur bis nach Sonnenuntergang von ca. 20:45 Uhr zunächst rasch ab, um nach Sonnenuntergang bis in die frühen Morgenstunden des nächsten Tages langsam abzunehmen.

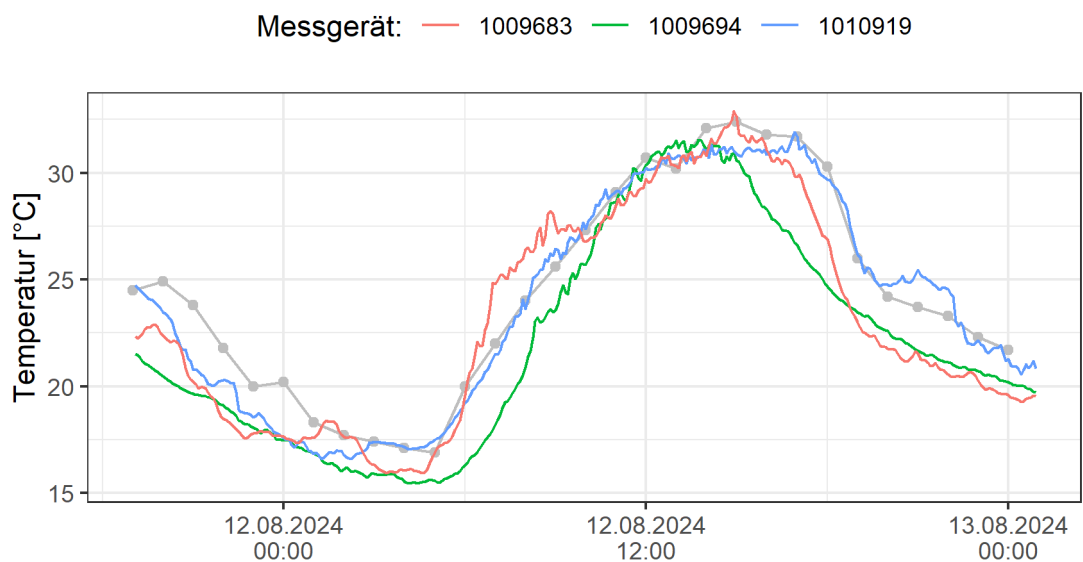
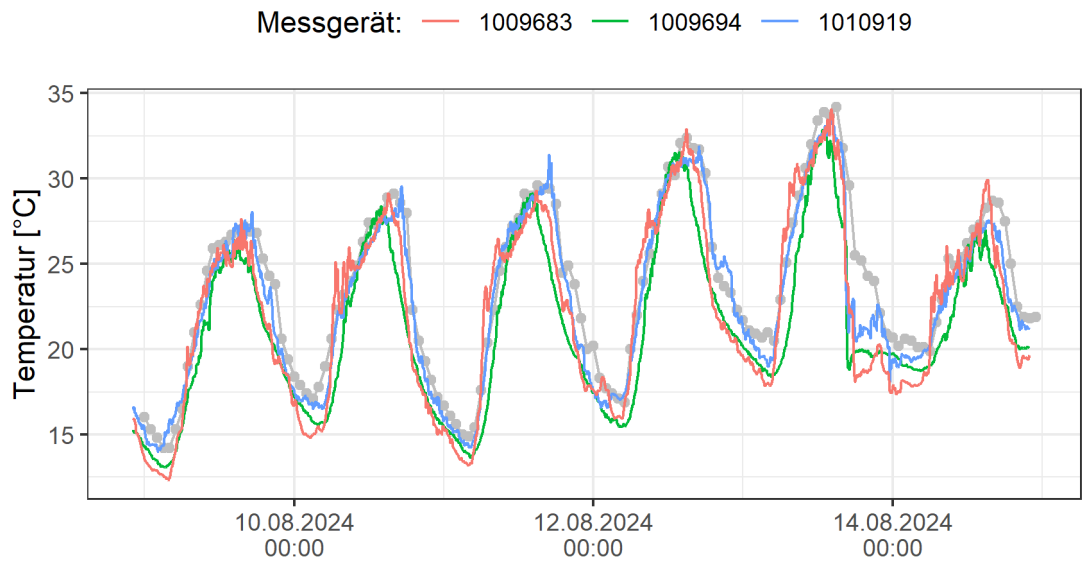


Abbildung 9. Tagesgang gemessen beim Kleingartenverein bei Maintal, Standort Nr. 16, Messgerät 1009683 (rote Linie), am Waldstandort in Nidderau Standort Nr. 95, Messgerät: 1009694 (grüne Linie) und beim Neuen Friedhof Schöneck, Standort Nr. 47, Messgerät 1010919 (blaue Linie). Die graue Linie mit den Punkten zeigt die Stundenwerte aus der Messstation Offenbach, DWD 7341, des DWD [3]. Der wärmste Tag während der Messkampagne war der 13.08.2024. In der **Oberen Grafik** ist der Temperaturverlauf aus der ganzen Woche vom 09.08.2024 bis zum 14.08.2024 eingetragen. In der **unteren Grafik** ein Ausschnitt um den 12.08.2024.

Aus Abbildung 9 ist auch ersichtlich, dass der Tagesverlauf, der an den Messstationen erfasst wird, sehr gut mit den Messungen des DWD an der Beobachtungsstation Offenbach übereinstimmt. Dies zeigt, dass an den Referenzstationen, die in Maintal, Schöneck und Nidderau installiert wurden, an autochthonen Sommertagen die Lufttemperatur ähnlich gemessen wird wie an den Wetterstationen des DWD mit belüfteten Messgeräten. Andere Einflüsse, mit denen die Messung der Lufttemperatur z. B. durch Strahlung oder den Wind beeinflusst wird, werden weitestgehend mit dem passiv belüfteten Wetterschutz der Messgeräte vermieden.

Die Messdaten aus dem Messnetz sind daher geeignet die Überwärmung in der Stadt zu erfassen.

2.3 Nächtliche Überwärmung und Städtische Wärmeinsel

Eine nächtliche Überwärmung tritt in Städten vorwiegend bei autochthonen Wetterlagen auf, bei denen windschwache und wolkenarme Bedingungen den Luftaustausch zwischen der Stadt und dem Umland behindern.

Für die Analyse einer städtischen Wärmeinsel werden aus den Stationsdaten der DWD Station Offenbach alle Stunden ermittelt, an denen autochthone Bedingungen herrschten. Dazu wird für alle Nachtstunden zwischen 21:00 Uhr und 06:00 Uhr geprüft, ob die Bedeckung weniger als 4/8 betrug und die Windgeschwindigkeit kleiner als 2,5 m/s war. Es wird davon ausgegangen, dass autochthone Wetterlagen räumlich so weit ausgedehnt sind, dass sie neben der DWD Station auch die Region bis Nidderau erfassen.

Aus den Messdaten der Messgeräte in Maintal, Schöneck und Nidderau wird zu den nächtlichen autochthonen Stunden der Temperaturunterschied zwischen dem jeweiligen Messgerät und den drei Referenzmessstationen ermittelt

Die Temperaturunterschiede werden in vier Kategorien „Umland“, „Keine Überwärmung“, „Geringe Überwärmung“ und „Ausgeprägte Überwärmung“ eingeteilt. Damit wird die Intensität der städtischen Wärmeinsel am jeweiligen Messort beschrieben. Die Kategorien sind in Tabelle 2 erläutert.

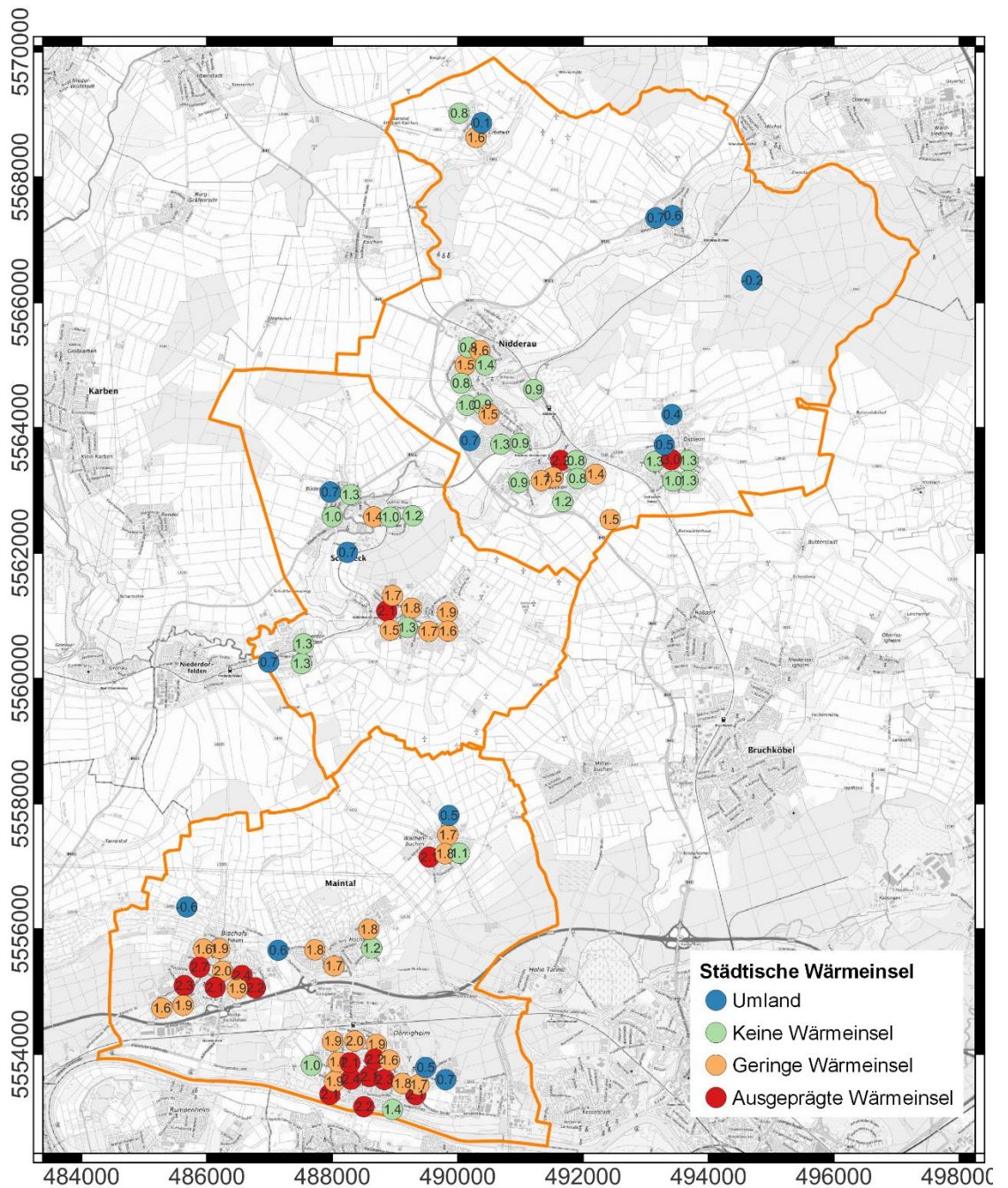
Die Klasseneinteilung zu den Kategorien erfolgt mittels einer z-Transformation, die analog zu den Einteilungen der Hitzebelastung aus der Stadtklimaanalyse aufgebaut ist und in den Klimabewertungskarten aus dem Stadtklimamodell angewandt wurde. Dies gestattet einen direkten Vergleich der Messdaten mit den Modelldaten.

Tabelle 2. Bewertung der berechneten Temperaturdifferenzen zur städtischen Wärmeinsel. In der Tabelle sind der Wertebereich der Temperaturdifferenz und die zugehörigen z-Werte eingetragen.

Städtische Wärmeinsel	Temperaturdifferenz	z-Wert	Überwärmung	Bewertung
Umland	kleiner als 0,8 °C	$z < -1$	Temperatur ähnlich zur Referenzstation im Umland	Sehr günstig
Keine Wärmeinsel	0,8 °C bis 1,4 °C	$-1 \leq z < 0$	Keine Überwärmung	Günstig
Geringe Wärmeinsel	1,4 °C bis 2,1 °C	$0 \leq z < +1$	Geringe Überwärmung	Weniger günstig
Ausgeprägte Wärmeinsel	mehr als 2,1 °C	$z \geq +1$	Starke Überwärmung	Ungünstig

Die Überwärmung, die an den Messstationen ermittelt wird, ist in Abbildung 10 dargestellt. Im Mittel beträgt der Temperaturunterschied an allen Messstationen 1,4 °C gegenüber den Referenzstationen. Das heißt, die Temperaturen an den Messstationen liegt im Mittel um diesen Betrag über dem Wert, der an den drei Referenzstationen gemessenen wird.

Mit dem hier angewandten Verfahren, bei dem die Überwärmung relativ zum Mittel aus drei Referenzstationen bestimmt wird, kann an den einzelnen Referenzstationen eine von Null unterschiedliche Überwärmung errechnet werden. Erst die Summe aus den Werten an den Referenzstationen ergibt Null. An zwei Referenzstationen wird ein leicht negativer Wert und an der dritten ein leicht positiver Wert berechnet. Dies deutet auf (geringe) klimatologische Unterschiede zwischen den drei Gemeinden hin und wird als mögliche Unsicherheit zugunsten einer interkommunalen, raumübergreifenden Verfahrensweise mit einheitlicher Berechnungsgrundlage für alle drei Kommunen hingenommen.



Projekt: Stadtklimaanalyse
Nidderau / Maintal /
Schöneck

Projektion: EPSG:25832

Messkampagne
Nächtliche Überwärmung

MÜLLER-BBM

Hintergrund:
TopPlusOpen (C) GKS 2024

Gemeindegrenzen:
Hessisches Landesamt für
Bodenmanagement und
Geoinformation

Abbildung 10. Nächtliche Überwärmung, abgeleitet aus den Temperaturmessungen der Messkampagne 2024. Die Intensität der städtischen Wärmeinsel ist in vier Kategorien eingeteilt, die mit Farbe der Messpunkte eingetragen sind. Die Zahlen geben die mittlere nächtliche Überwärmung in °C an. Gemeindegrenzen aus [1]. Hintergrund: TopPlusOpen [2].

Aus Abbildung 10 ist ersichtlich, dass die nächtliche Überwärmung im Stadtteil Dörnigheim am stärksten ausgeprägt ist. In der Innenstadt beträgt dort die Überwärmung an vielen Orten mehr als 2,1 °C und zeigt eine städtische Wärmeinsel auf, die sich bis zum Main erstreckt. Die höchste Überwärmung in diesem Stadtteil wird mit 2,4 °C in der Dürerstraße (Messpunkt 6) gemessen und die geringste Überwärmung von 1,0 °C in der Weststraße (Messpunkt 12).

Im Zentrum von Bischofsheim ist eine weitere städtische Wärmeinsel ausgebildet, die sich quer in Ost-West Richtung durch den Stadtteil zieht. Die nördlichen und südlichen Randlagen von Bischofsheim sind weniger von der nächtlichen Überwärmung betroffen als das Zentrum dieses Stadtteils.

In Wachenbuchen bildet sich die Überwärmung nur schwach aus. Dennoch beträgt am Messpunkt 41 die Temperaturdifferenz 2,1 °C. Das Messinstrument wurde bei einer mit Betonsteinen gepflasterten Einfahrt installiert. Die vollständig versiegelte Fläche trägt zur Überhitzung bei. An weiteren Messpunkten wird in Wachenbuchen eine nächtliche Überwärmung von 1,8 °C (Messpunkt 42) oder von 1,1 °C (Messpunkt 43) gemessen.

In Abbildung 11 ist die Umgebung an diesen drei Messpunkten im Foto dargestellt. Ursachen zur unterschiedlichen Überwärmung sind im Versiegelungsgrad und der unterschiedlichen Durchlüftung der unmittelbaren Umgebung zu suchen.



Abbildung 11. Beispiele zur Auswirkung unterschiedlicher Versiegelung und Durchlüftung. **Links:** Messpunkt 41, Überwärmung 2,1 °C. **Mitte:** Messpunkt 42 mit Überwärmung 1,8 °C, **Rechts:** Messpunkt 43, Überwärmung 1,1 °C. Die Messpunkte befinden sich im Stadtteil Wachenbuchen. Fotos: Müller-BBM, 2024.

In Oberdorfelden und Büdesheim ist keine nächtliche Überwärmung gemessen worden. Kilianstädten weist eine überwiegend geringe Ausbildung des Wärmeinselleffektes auf. Nur an einzelnen Messpunkten reicht die nächtliche innerörtliche Wärmeinsel bis zu einer starken Überwärmung (Messpunkt Nr. 54) heran.

In Nidderau und Windecken ist die Ausbildung der nächtlichen Wärmeinsel an vielen Messstandorten wenig ausgebildet. An einzelnen Punkten, vor allem in der Innenstadt von Nidderau, wird eine geringe nächtliche Temperaturerhöhung von ungefähr 1 °C bis 1,5 °C gegenüber dem Umland gemessen. Auffällig kühle Temperaturen werden in Nidderau an der Messstelle Nr. 80, beim Kreisel in die Ortseinfahrt von der B45 gemessen. Die Messstelle steht zum einen am Rand der bebauten Gebiete, zum anderen befindet sie sich am Rande des Kaltluftstroms, der durch das Tal der Nidder vorbeizieht.

Die eher geringe Überwärmung von Nidderau, Büdesheim und Oberdorfelden gegenüber dem deutlich wärmeren Kilianstädten deutet auf die kühlende nächtliche Wirkung eines Kaltluftabflusses hin. Während Nidderau, Büdesheim und Oberdorfelden sich im Bereich des Kaltluftabflusses befinden, bleibt Kilianstädten aufgrund seiner topografischen Lage, hinter einem Hügel liegend, vom Kaltluftabfluss abgeschirmt. Dies führt zu einer um ungefähr 0,5 °C höheren nächtlichen Überwärmung von Kilianstädten.

In Erbstadt, Eichen und Ostheim ist die nächtliche Überwärmung gering ausgeprägt. Dennoch wird an einzelnen Messpunkten eine auffällig hohe Überwärmung erreicht.

In Erbstadt wird am Messpunkt 98 eine Überwärmung von 1,6 °C gemessen, während die Überwärmung an den beiden anderen Messpunkten in diesem Ort nur 0,1 °C bzw. 0,8 °C beträgt. Ähnlich in Ostheim: dort wird meist nur eine geringe Überwärmung bis zu 1,3 °C erreicht, während am Messpunkt 78 eine Überwärmung von 3,0 °C ausgewiesen wird.

Ursache der überhohen nächtlichen Temperaturen ist die Fassade der nahe gelegenen Baukörper, siehe Abbildung 12. Im Vergleich zu einem freistehenden Gebäude, wird eine Person, die sich nahe zur Fassade aufhält, einer deutlich höheren Überwärmung ausgesetzt.



Abbildung 12. Fassadengestaltung, die zu starker nächtlicher Überwärmung führt. **Links:** Messpunkt 98 in Erbstadt. Die zum Messort nahe gelegene Fassade bewirkt eine Überhöhung der Temperatur von 1,6 °C. **Mitte:** beim frei stehenden Messort 99 beträgt die nächtliche Überhöhung 0,8 °C. **Rechts:** die Backsteinfassade beim Messort 78 in Ostheim verursacht eine nächtliche Temperaturerhöhung von 3,0 °C. Fotos: Müller-BBM, 2024.

3 Validierung der Stadtklimasimulation

Mit dem Stadtklimamodell wurden die meteorologischen Bedingungen an zwei Tagen aus der Vergangenheit erfasst. Mit dem Stadtklimamodell wurden ein normaler Sommertag und ein extrem heißer Sommertag simuliert.

Als typischer Sommertag, der die durchschnittlichen sommerlichen Bedingungen der Periode 2010 bis 2023 am besten repräsentiert, wurde der 13.07.2013 aus Messdaten der Messstationen Offenbach und Frankfurt des DWD ermittelt. Als extremer Sommertag wurde der 25.07.2012 bestimmt, ein Tag an dem sowohl in Frankfurt als auch in Offenbach eine Temperatur über 30 °C gemessen wurde und dessen Tagesmitteltemperatur am wenigsten von der Tagesmitteltemperatur aller heißen Tage aus der Periode 2010 bis 2023 abweicht.

An beiden Tagen herrschte eine autochthone Wetterlage, ohne Niederschlag, geringer Wolkenbedeckung und niedrigen Windgeschwindigkeiten.

Die Auswahl dieser Tage erfolgte so, dass sie das klimatologische Geschehen möglichst repräsentativ darstellen. Ein Vergleich der Ergebnisse aus der Stadtklimasimulation hatte eine weitgehende Übereinstimmung der Planungshinweiskarten des typischen Sommertags und des extremen Sommertags ergeben.

Mit den Messungen aus der Messkampagne soll an den einzelnen Messpunkten die Repräsentativität der Klimasimulationen mit real gemessenen Temperaturen geprüft werden. Da die Messkampagne im Sommer 2024 erfolgte ist eine direkte Validierung der Ergebnisse mit den Sommertagen, die mit dem Stadtklimamodell simuliert wurden, nicht möglich. Daher werden für einen Vergleich Kenngrößen ermittelt, mit denen die klimatologischen Eigenschaften des Sommers 2024 mit denen aus den Stadtklimasimulationen verglichen werden können.

Als klimatologische Kenngrößen werden das Tagesmaximum der Temperatur und der Tagesgang der Temperatur herangezogen. Für beide Kenngrößen wird die Abweichung zwischen dem lagegenauen Wert aus der Stadtklimaanalyse am Standort der Messgeräte und den Messwerten bestimmt. Dies erfolgt für alle Tage des Jahres 2024 mit autochthoner Wetterlage. Aus diesen Daten wird die Unsicherheit der Kenngröße geschätzt.

Als Schätzwert für den Unsicherheit des Tagesmaximums dient die Abweichung zwischen Messwert und Modellwert, die für den Tag bestimmt wird, an dem die maximale Temperaturspanne (Tagesmaximum minus dem Tagesminimum) mit der Temperaturspanne aus dem Stadtklimamodell am besten übereinstimmt. Für den Tagesgang dient der Median aus dem mittleren quadratischen Fehler (root mean square error) aller Tage. Damit wird sichergestellt, dass die Fehlerschätzung auf Grundlage klimatologisch ähnlicher Tage erfolgt.

Für die Fehlerschätzung werden aus den Messdaten der Messkampagne nur Tage mit autochthoner Wetterlage ausgewählt. An diesen Tagen war an der DWD Messstation Offenbach die Bedeckung geringer als 4/8 und die Windgeschwindigkeit kleiner als 2,5 m/s.

Die Fehlerschätzung erfolgt so, dass für jeden Tag aus der Messkampagne, an dem eine autochthone Wetterlage herrschte, aus den Messdaten zunächst, analog zum Stadtklimamodell, Stundenmittelwerte gebildet werden. Die maximale Tages-temperatur aus den Stundenmittelwerten wird dann mit der maximalen Tages-temperatur aus dem Stadtklimamodell verglichen. Als Zwischenergebnis liegen dann für jeden Tag die Abweichungen vor, aus denen dann der Fehler geschätzt wird.

Analog erfolgt eine Fehlerschätzung des Tagesgangs, die aus den Abweichungen der 24 Stundenwerte eines jeden Tages gebildet wird.

Die Fehlerschätzer dienen dazu, die relativen Unterschiede zwischen den Messpunkten aus der Messkampagne und dem Stadtklimamodell sichtbar zu machen. Auch weil der Sommer 2024 sehr wechselhaft war, kann aus den Fehlerschätzungen nicht auf den tatsächlichen Fehler an den einzelnen Punkten geschlossen werden. Mit der Fehlerschätzung kann aber sehr wohl die mikroskalige Qualität (am Standort der Messgeräte) der Stadtklimasimulation verdeutlicht werden.

In Abbildung 13 ist beispielhaft der Tagesgang der Messungen am Messpunkt Nr. 81 vom 14.08.2024 mit der Temperatur aus dem Stadtklimamodell des 25.07.2012 vom selben Ort dargestellt. Der grobe Verlauf des Tagesgangs wird vom Modell gut wiedergegeben, wobei Unterschiede im Tagesmaximum und im generellen Verlauf offensichtlich sind. Mit den Fehlerschätzern werden diese Unterschiede bewertet.

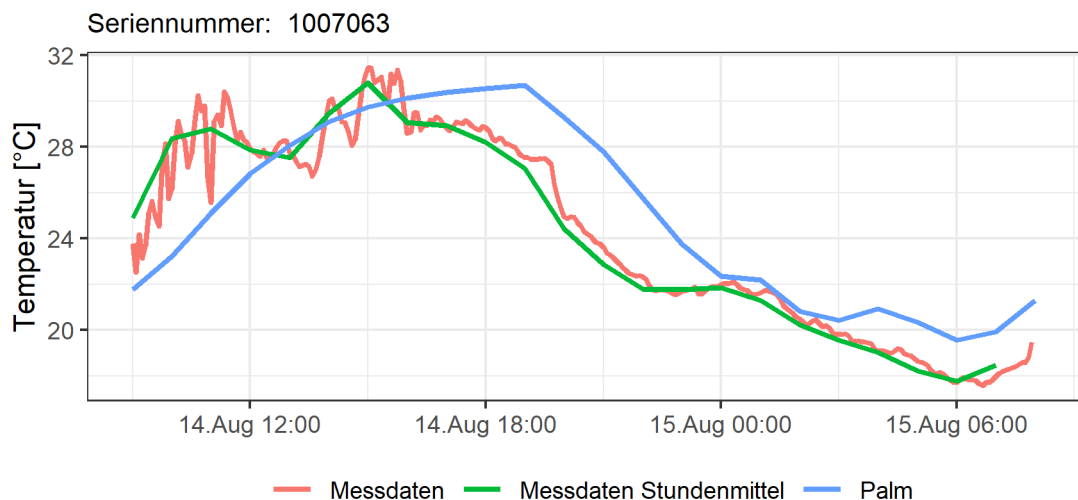


Abbildung 13. Tagesgang der Messkampagne am Messpunkt Nr. 81 vom 14.08.2024. Die Temperatur wurde in den Messdaten alle fünf Minuten (rote Linie) erfasst und zu 1-Stunden Werten (blaue Linie) gemittelt. Die blaue Linie zeigt den Tagesgang aus der Stadtklima-analyse des Sommertags vom 25.07.2012.

Die Fehlerschätzung zum Maximum der Tagestemperatur ist in Abbildung 14 dargestellt. Das Stadtklimamodell erreicht an 27 Messstationen eine Abweichung kleiner als 0,25 °C und an 66 Stationen eine Abweichung kleiner als 0,75 °C. Mit dem Stadtklimamodell wird an 90 % der Messstationen das Tagesmaximum der Temperatur für die Sommertage 2024 mit einer Abweichung, die kleiner ist als ca. 1,2 °C, wiedergegeben.

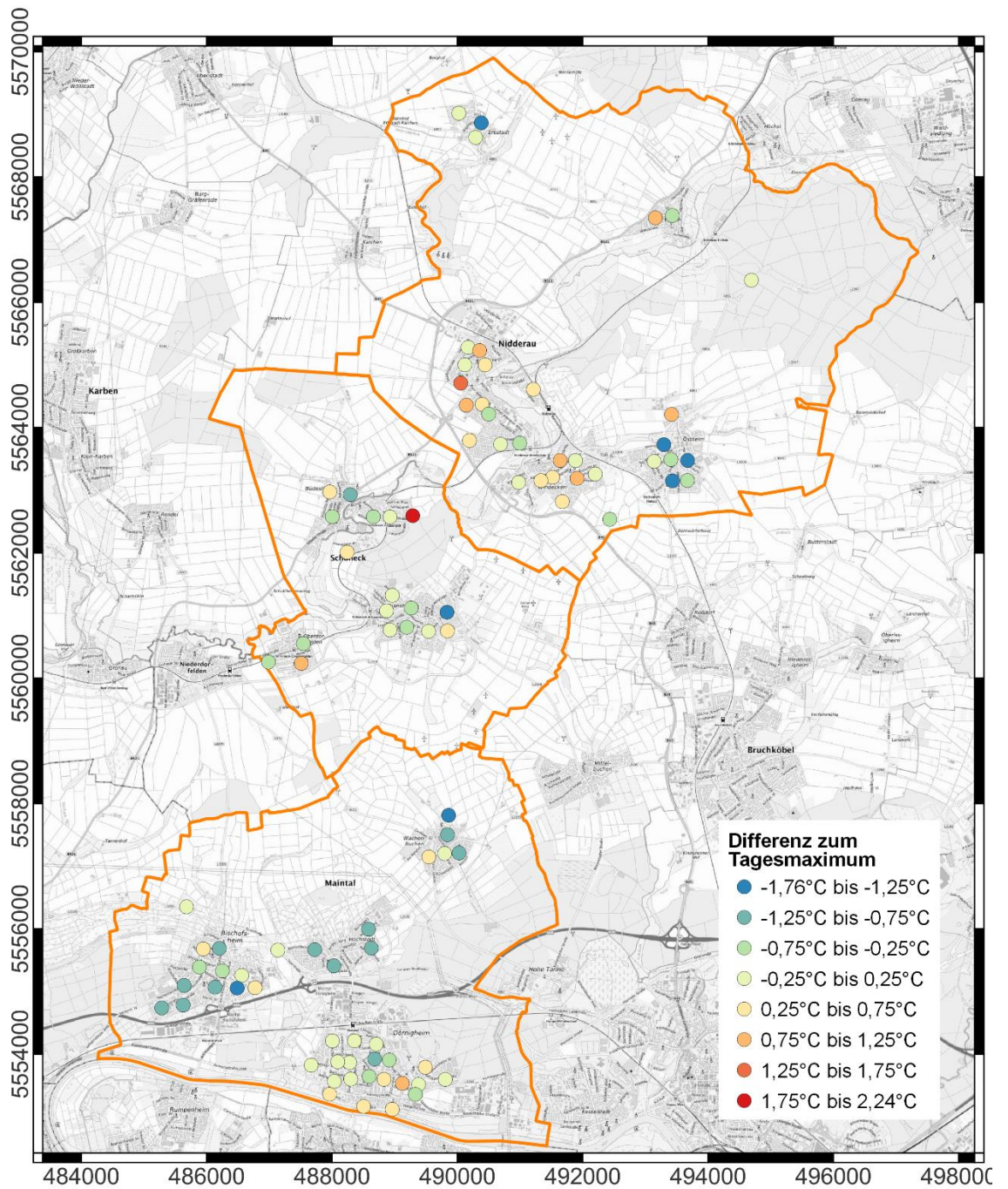
Sehr gute Werte des Tagesmaximum der Temperatur, mit einer Abweichung von weniger als 0,25 °C, werden mit dem Stadtklimamodell im Stadtkern von Dörnigheim, Kilianstädten, Erbstadt und in Teilen von Nidderau sowie am Waldstandort erreicht.

In Bischofsheim wird das Tagesmaximum vom Stadtklimamodell eher unterschätzt (negative Werte des Fehlerschätzers) und in Nidderau eher überschätzt (positive Werte des Fehlerschätzers).

Abweichungen über 1,5 °C werden am Messpunkt Nr. 44, am Sendemast in Maintal, erreicht. Das Messgerät wurde dort ungünstig auf dem Betonhaus der Sendeanlage platziert, während im Stadtklimamodell eine landwirtschaftliche Fläche angenommen wird. Die unterschiedliche Wärmekapazität zwischen Modell und Wirklichkeit erklärt die hohe Abweichung.

Die großen Unterschiede zwischen einzelnen Messpunkten in Nidderau, an denen die Fehlerschätzung teils unter 0,25 °C und teils über 1,5 °C liegt, konnten nicht geklärt werden. Genauso die maximal ermittelte Abweichung von 1,9 °C, die an einem Messpunkt in Schöneck auftritt. Mutmaßliche Ursachen könnten in einer unterschiedlichen Beschreibung der Oberflächennutzung, die im Stadtklimamodell eingetragen ist und die nicht mit der des Messstandortes übereinstimmt, zu finden sein.

Die Fehlerschätzung zum Tagesgang ist in Abbildung 15 dargestellt. Eine Abweichung von weniger als 2 °C wird bei weniger als 25 % der Messstationen erreicht. Die mittlere Abweichung liegt bei 2,3 °C, und 75 % aller Stationen unterschreiten eine Abweichung von 2,5 °C. Diese enge Breite von nur 0,5 °C (aus der Differenz des 25 %-Quantils und des 75 %-Quantils) in der Fehlerverteilung deutet darauf hin, dass vor allem eine sog. Phasenverschiebung zum Fehler beiträgt. Dies bedeutet, dass der Tagesgang der Modellrechnungen zeitlich gegenüber den gemessenen Werten verschoben ist. Würde stattdessen die Wärmemenge des ganzen Tages verglichen werden, wären bei einer solchen Fehlerschätzung deutlich kleinere Abweichungen zu erwarten.



Projekt: Stadtklimaanalyse
Nidderau / Maintal /
Schöneck

Projektion: EPSG:25832

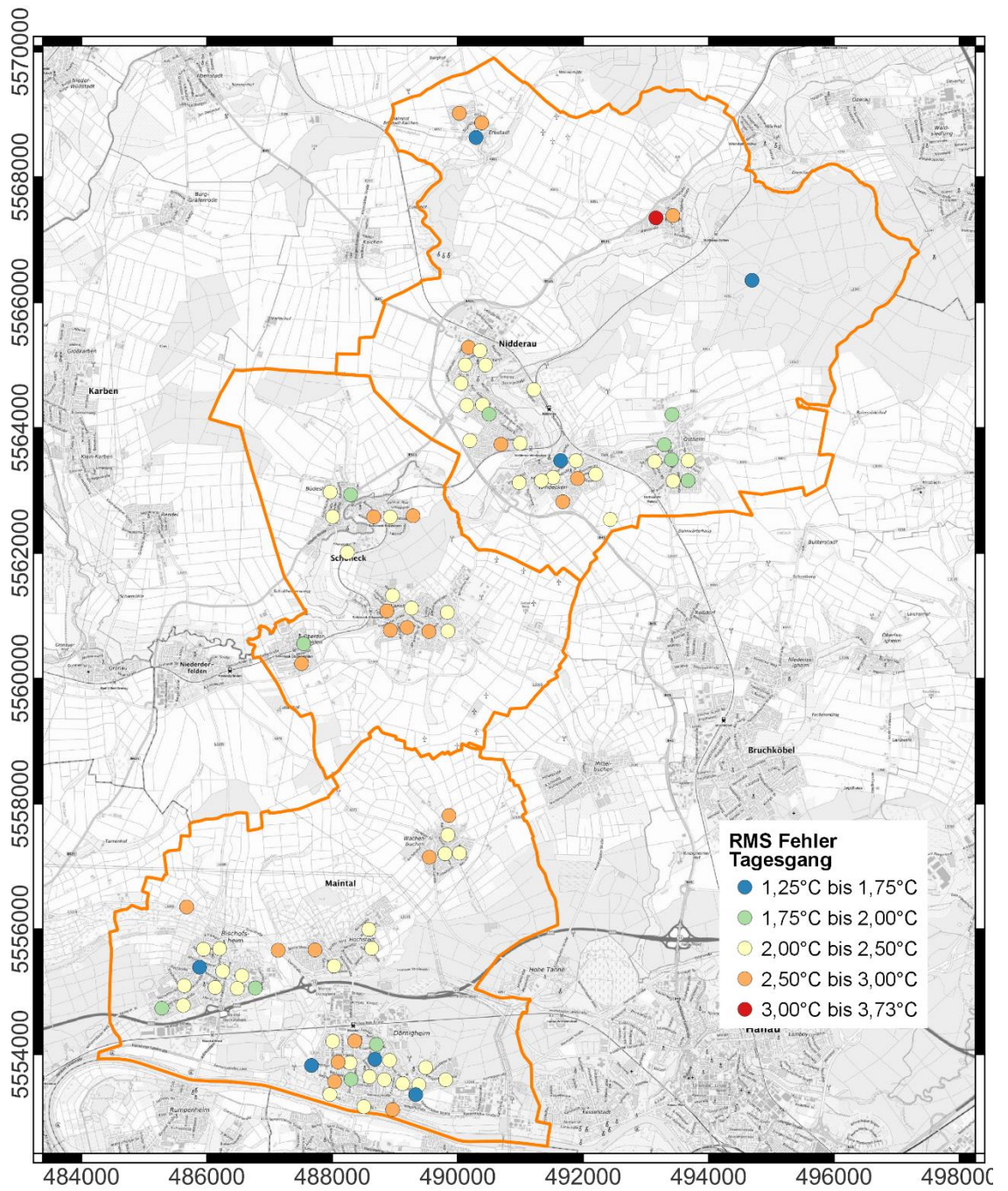
Stadtklimamodell
Fehlerschätzung

MÜLLER-BBM

Hintergrund:
TopPlusOpen (C) GKS 2024

Gemeindegrenzen:
Hessisches Landesamt für
Bodenmanagement und
Geoinformation

Abbildung 14. Fehlerschätzung des Tagesmaximums. An den gelben Punkte ist der Fehler kleiner als 0,25 °C. Je dunkler die Färbung, umso größer ist der Fehlerschätzer. Gemeindegrenzen aus [1]. Hintergrund: TopPlusOpen, BKG 2024 [2].



<p>Projekt: Stadtklimaanalyse Nidderau / Maintal / Schöneck</p>	<p>Stadtklimamodell Fehlerschätzung</p>	<p>Hintergrund: TopPlusOpen (C) GKS 2024</p>
<p>Projektion: EPSG:25832</p>	<p>MÜLLER-BBM</p>	
		<p>Gemeindegrenzen: Hessisches Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation</p>

Abbildung 15. Fehlerschätzung des Tagesgangs. An den blauen Punkten ist der Fehler am kleinsten, bei den roten Punkten am größten. Gemeindegrenzen aus [1]. Hintergrund: TopPlusOpen, BKG 2024 [2].

S:\M\PROJ\17\M177404\M177404_09_BER_1D.DOCX:16. 10. 2024

4 Schlussfolgerungen und Bewertung

In einer Messkampagne wurden 100 Thermometer in allen Stadtteilen von Maintal, Nidderau und Schöneck installiert. Die Temperatur wurde im Zeitraum vom 1. Juni 2024 bis zum 30. September 2024 gemessen. Die Temperatur wurde alle fünf Minuten erfasst und gespeichert. Die Messstellen wurden vorgängig nach zwei Kriterien ausgewählt. Zum einen sollten die Temperaturmessungen in allen besiedelten Gebieten auf einem Raster von ca. 300 Metern Breite erfolgen. Zum anderen wurden die Messgeräte so verteilt, dass möglichst in jedem Klimatop der Stadtteile ein Messgerät eingerichtet wird.

Von den 100 Thermometern konnten die Messdaten von 96 Thermometern ausgewertet werden.

Mit der Messkampagne wurde die nächtliche Überwärmung in allen Stadtteilen ermittelt. Im Mittel beträgt sie 1,4 °C und erreichte in Dörnigheim einen Wert von 2,4 °C, der mit den Werten aus städtischen Wärmeinseln, wie sie sich in Großstädten ausbildet, vergleichbar ist.

Die Messkampagne zeigt auch die Ursache von starker Überwärmung auf. Messgeräte wurden so installiert, dass die Wärmeabgabe von unterschiedlichen Fassaden, die ihre Wärme bis weit in die Nacht speichern, in ihrer Wirkung auf die nächtliche Überwärmung dargestellt werden kann. Eine ähnliche Wirkung entfalten versiegelte Flächen. Die nächtliche Überwärmung der versiegelten Flächen wurde mit Messgeräten nachgewiesen, die in der Nähe von gepflasterten Garageneinfahrten montiert waren. Im Vergleich dazu bewirken Pflanzungen einen Temperatureausgleich, der über den ganzen Tag und bis in die Nacht anhält.

Zwischen begrünten Flächen und versiegelten Flächen wurden Unterschiede von mehr als 1 °C in der nächtlichen Überwärmung gemessen. Hausfassaden aus den historischen Ortskernen tragen mit mehr als 2 °C zur Überwärmung bei.

Mit der Messkampagne konnte zudem die Stadtklimasimulation bestätigt werden. Fehlerschätzer zeigen, dass die Simulationen mit dem Stadtklimamodell die Tageshöchsttemperaturen sehr gut widerspiegeln. Mit dem Stadtklimamodell wird an 90 % der Messstationen das Tagesmaximum der Temperatur für die Sommertage 2024 mit einem Fehler, der kleiner ist als ca. 1,2 °C, wiedergegeben. Das Stadtklimamodell erreicht an 27 Messstationen einen Fehler kleiner als 0,25 °C und an 66 Stationen einen Fehler kleiner als 0,75 °C.

Die Messkampagne belegt damit, dass die Planungskarten, die mit dem Stadtklimamodell entwickelt wurden, in hohem Maß die Realität nachbilden.

5 Quellenverzeichnis

- [1] Hessisches Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation.
- [2] TopPlusOpen. Kartendarstellung und Präsentationsgraphiken: © BKG (2024), Datenquellen: https://sg.geodatenzentrum.de/web_public/Datenquellen_TopPlusOpen_PG.html
- [3] Stündliche Stationsmessungen der Lufttemperatur und Luftfeuchte für Deutschland. Climate Data Center. Deutscher Wetterdienst, 2024.
- [4] Krähenmann, S., Walter, A., Imbery, F., Brienen, S., Matzarakis, A. (2018): High-resolution grids of hourly meteorological variables for Germany. Theoretical and Applied Climatology. Vol. 131. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-2003-7>
- [5] Auchmann, R., Brönnimann, S. (2012). A physics-based correction model for homogenizing sub-daily temperature series, J. Geophys. Res., Vol. 117. <https://doi.org/10.1029/2012JD018067> .
- [6] Gubler, M., A. Christen, J. Remund, S. Brönnimann (2021): Evaluation and application of a low-cost measurement network to study intra-urban temperature differences during summer 2018 in Bern, Switzerland. Urban Climate, Vol. 37. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100817>.