

3 STADTKLIMA UNTERSCHIEDLICHER REGIONEN WELTWEIT

Städte entstanden meist an Handelsknotenpunkten. Früh erkannten die Menschen, dass regionale und lokale Effekte ihre Städte positiv und negativ beeinflussen können. Schon in der Antike war bekannt, dass man regionale und lokale Winde berücksichtigen sollte und Schwachwindlagen die Lebensqualität in den Städten beeinträchtigen können. Man bevorzugte Beckenlagen, um Sturmgefährdungen auszuweichen sowie die Lage an Flüssen und Küsten, und dies nicht nur wegen des Handels. Städte waren und sind »Hot spots« oder »Magnet« für ein besseres Leben. So wurden Städte immer größer und größer, aber die Umweltbelastungen für Mensch und Natur auch. Je größer eine Stadt ist, umso eher dominiert sie über die natürlichen Ökosysteme ihres Umlandes. Es geht aber nicht nur um die Auswirkungen auf das Klima, sondern auch darum, welche Maßnahmen ergriffen werden können, um möglichst die jetzigen klimatischen Bedingungen beizubehalten oder einen noch stärkeren Einfluss darauf zu verhindern. Mögliche Lösungen werden heute mit klimatischen Untersuchungen und Klimasimulationen für viele große Städte und unterschiedliche Stadtstrukturen in verschiedenen Klimaregionen angeboten.

3.1 Stadtklimauntersuchungen in ausgewählten deutschen Städten

PETRA FUCHS

Auch die urbanen Räume in Deutschland sind besonders anfällig gegenüber wetterbedingten Extremereignissen. Viele deutsche Städte stehen bereits heute vor großen Herausforderungen, wenn es darum geht, einerseits die Folgen des Klimawandels zu bewältigen und sich an den Klimawandel anzupassen und andererseits die hohe Nachfrage nach Wohnraum und urbaner Infrastruktur zu befriedigen. Sie sind daher gefordert, integrierte vorausschauende Strategien zum Klimaschutz und zu einer frühzeitigen Anpassung an den Klimawandel zu entwickeln. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) unterstützt und berät Städte und Gemeinden zu Fragen des Klimawandels und deren Folgen für Mensch und Gesellschaft. Ziel der Stadtklimaforschung des DWD ist es, bei den Städten und Kommunen entscheidungsrelevantes Wissen zum Klimawandel und zur Klimaanpassung aufzubauen. Dafür wurden in Zusammenarbeit mit ausgewählten Kommunen Stadtklimaprojekte zu unterschiedlichen Fragestellungen durchgeführt. Anhand der Beispiele Stuttgart, Mainz und Wiesbaden werden die Ergebnisse von Stadtklimauntersuchungen zum Thema Hitzebelastung in diesem Kapitel vorgestellt.

Urban climate studies in selected German cities: *The urban areas in Germany are also particularly vulnerable to weather-related extreme events. Many German cities are already facing major challenges to cope the consequences of climate change and adapt to climate change, while at the same time to satisfy the high demand for housing and urban infrastructure. They are therefore called upon to develop integrated forward-looking strategies for climate protection and early adaptation to climate change. The German Weather Service (DWD) supports and advises cities and municipalities on issues of climate change and their consequences for people and society. The aim of urban climate research at the DWD is to build decision-relevant knowledge on climate change and climate adaptation in cities and municipalities. In cooperation with selected municipalities, urban climate projects on various issues were carried out. Based on the examples of Stuttgart, Mainz and Wiesbaden, the results of urban climate investigations on the subject of heat stress are presented in this chapter.*

Stadtklimaprojekt Stuttgart

Ziele

Der DWD untersuchte in Kooperation mit der Landeshauptstadt Stuttgart die klimatischen Verhältnisse und die daraus resultierenden thermischen Belastungssituationen in Stuttgart (SCHLEGEL et al. 2017). Im Fokus stand die Ermittlung der räumlichen Verteilung der Wärmebelastung für Menschen bei sommerlichen Strahlungswetterlagen. Für eine den Klimawandel be-

rücksichtigende Stadtplanung in Stuttgart sollte einerseits eine hochaufgelöste Datenbasis bereitgestellt und wurden andererseits die modellbasierten Klimasimulationen anhand detaillierter Klimamessungen überprüft.

Untersuchungsgebiet

Die klimatischen Verhältnisse in Stuttgart werden neben anderen Faktoren stark von der topografischen Lage der Stadt im sogenannten Stuttgarter Kessel geprägt. Im Westen ist der Schwarzwald vorgelagert, im Süden

Hoch aufgelöste Simulationen mit dynamischen Klimamodellen wie MUKLIMO_3 für klimatologische Zeiträume von 30 Jahren sind technisch sehr aufwendig. Zur Berechnung der mittleren jährlichen Anzahl von Tagen mit starker Wärmebelastung für die 30-jährigen Zeiträume 1971-2000 und 2031-2060 wurde daher die Quadermethode als dynamisch-statistisches Downscaling-Verfahren eingesetzt (FRÜH et al. 2011a, b) und damit der Rechenaufwand erheblich reduziert.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Modellrechnungen haben gezeigt, dass die mittlere jährliche Anzahl an Wärmebelastungstagen im Stadtgebiet von Stuttgart stark von der Geländehöhe und der Landnutzung abhängig ist. Die Modellsimulationen für den Referenzzeitraum 1971-2000 ergaben auf freien Kuppenlagen eine geringere Anzahl an Wärmebelastungstagen (< 20) und in bewaldeten Kuppenlagen nur weniger als 5 Wärmebelastungstage pro Jahr. In den bebauten Tallagen wie dem Stuttgarter Kessel, dem Neckartal, dem Feuerbachtal oder dem Rohrackertal tritt starke Wärmebelastung hingegen an über 30 Tagen pro Jahr auf. In einigen Industrie- und Gewerbegebieten, in denen das Neckartal eine geringe Talbreite aufweist, wie z.B. in den südöstlichen Stadtteilen Wangen, Untertürkheim und Mettingen, werden auch über 40 Wärmebelastungstage pro Jahr erreicht.

Die Zunahme der Tage mit starker Wärmebelastung bis zum Zeitraum 2031-2060 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1971-2000 wurde auf Basis von Ergebnissen aus 17 regionalen Klimaprojektionen berechnet und statistisch ausgewertet. Betrachtet man die Spannweite der Projektionsergebnisse, was statistisch gesehen hier dem Bereich zwischen dem 25. und dem 75. Perzentil entspricht, muss für Stuttgart für den Pro-

jektionszeitraum 2031-2060 von ca. 50 bis 70 Tagen mit Wärmebelastung im Neckartal im Südosten des Stadtgebiets, von ca. 40 bis 60 Tagen in den warmen Bereichen des Stuttgarter Kessels, von ca. 20 bis 40 Tagen auf den freien Hochlagen der Filder, und von ca. 5 bis 20 Tagen in den bewaldeten Kuppenlagen ausgegangen werden (siehe Abb. 3.1-2).

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Stadt Stuttgart bei Eintreten des Emissionsszenarios A1B (JACOB 2008) auf eine deutlich erhöhte Anzahl an Tagen mit starker Wärmebelastung einstellen muss. Im ungünstigen Fall (75. Perzentil) kann sich die Anzahl an Belastungstagen bis zur Mitte des Jahrhunderts gegenüber 1971-2000 etwa verdoppeln. Es zeigt sich deutlich, dass in Tallagen insbesondere auch Industrie- und Gewerbegebiete von hoher Wärmebelastung betroffen sind und dass die bewaldeten Kuppenlagen um die Siedlungskerne als kühleres Refugium bei Hitzesituationen auch zukünftig von besonderer Bedeutung sein werden. Damit wird die Relevanz solcher Stadtklimauntersuchungen für die künftige Stadtplanung deutlich.

Alle Ergebnisse können im Abschlussbericht des Stadtklimaprojekts Stuttgart nachgelesen werden (SCHLEGEL 2017).

Stadtklimaprojekt KLIMPRAX mit Mainz und Wiesbaden als Modellstädte

Ziele

Das Projekts KLIMPRAX (KLIMawandel in der PRAXis) hatte zum Ziel, dass stadtklimatische Belastungen in den kommunalen Planungsprozessen stärker berücksichtigt werden (Link zur Projektseite). Mainz und Wiesbaden dienten dabei als Modellstädte, deren Ergebnisse auch auf andere Kommunen übertragen

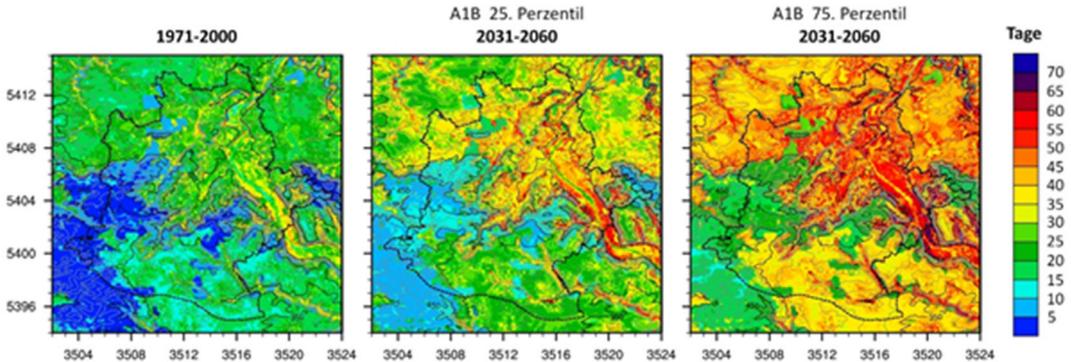


Abb. 3.1-2: Mittlere jährliche Anzahl an Tagen mit starker Wärmebelastung ($NGT_{max} \geq 32^{\circ}C$) für den Zeitraum 1971–2000 im Stuttgarter Raum sowie Projektion für den Zeitraum 2031-2060 für das Emissionsszenario A1B (25. und 75. Perzentil). Zusätzlich eingezeichnet sind Isolinien der Geländehöhe im 20 m Abstand unter Hervorhebung der Höhen 250, 350 und 450 m ü. NN und die Stadtgrenze in schwarz. Die Achsenwerte markieren die Gauß-Krüger Koordinaten des Auswertebiets.

werden sollten. Der DWD stellte zunächst die meteorologischen Daten und Informationen zur Verfügung, die in einem weiteren Schritt in planungsrelevante Kategorien übersetzt wurden (HLNUG 2019). Untersucht wurde das gegenwärtige (1971-2000) und das zukünftige (2031-2060) Stadtklima in Mainz und Wiesbaden. Im Anschluss wurden die Prozesse analysiert, die zu einer Entlastung bei Hitze in der Stadt beitragen können.

Auch in diesem Projekt wurden Simulationen mit dem Stadtklimamodell MUKLIMO_3 (SIEVERS 2012, 2016) mit einer Auflösung von 100 m durchgeführt. Ermittelt wurde die räumliche Verteilung der mittleren Anzahl von Sommertagen ($T_{\max} \geq 25 \text{ }^\circ\text{C}$), heißen Tagen

($T_{\max} \geq 30 \text{ }^\circ\text{C}$) und Tropennächten ($T_{\min} \geq 20 \text{ }^\circ\text{C}$). Die Aussagen über das zukünftige Klima basieren wiederum auf Ergebnissen aus 17 regionalen Klimaprojektionen.

Untersuchungsgebiet

Das innenstädtische Gebiet von Wiesbaden liegt in einem Talkessel am oberen Rand des Salzbachtals im sogenannten Wiesbadener Kessel auf etwa 120 m ü. NN. Nördlich davon erhebt sich der Taunus. Das bebaute Gebiet von Naurod, dem höchstgelegenen Ortsteil im Nordosten von Wiesbaden, liegt auf ca. 260 bis 310 m ü. NN. Am höchsten Punkt Wiesbadens, an der Hohen Wurzel, etwa 7 km nordwestlich der Innenstadt

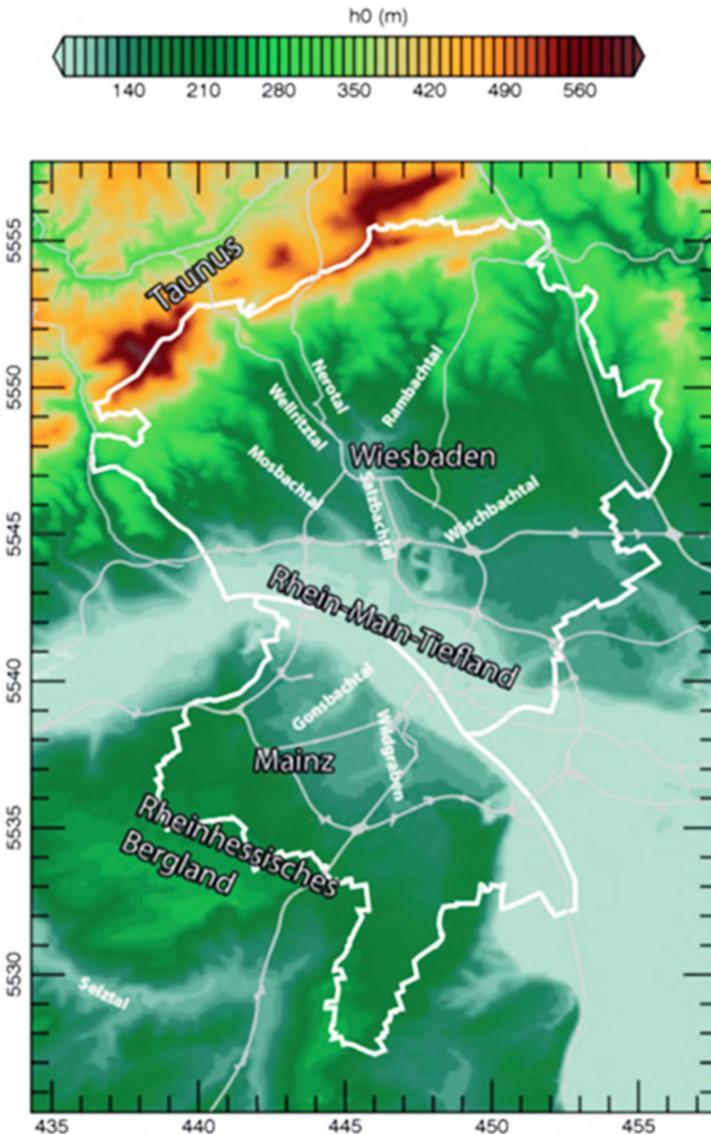


Abb. 3.1-3: Geländehöhe des Modellgebiets in m über NN mit den Grenzen des politischen Stadtgebiets von Mainz im Süden und Wiesbaden im Norden. Die hellgrauen Linien geben die Hauptverkehrsstraßen wieder.

werden knapp über 600 m ü. NN erreicht (zur Höhenverteilung des Untersuchungsgebiets s. Abb. 3.1-3). Neben der Innenstadt befinden sich große zusammenhängende, dicht bebaute Gebiete auch am Rhein (Biebrich, Amöneburg, Mainz-Kastel). Unmittelbar südwestlich des Rheins, der auch die Grenze zwischen den beiden Landeshauptstädten bildet, liegt die Mainzer Innenstadt. Daran schließt sich dann das Rheinhessische Bergland an. Das Gelände ist in Mainz jedoch wesentlich weniger stark strukturiert als auf der Wiesbadener Seite und erreicht maximal knapp 250 m ü. NN (siehe Abb. 3.1-3).

Das Klima im Gebiet Mainz/Wiesbaden ist gekennzeichnet durch milde Winter, warme Sommer und räumlich stark variierende jährliche Niederschlagsmengen, was charakteristisch für den gesamten südwestdeutschen Raum ist. Vor allem in Städten muss auch heute schon mit einer hohen sommerlichen Wärmebelastung gerechnet werden. Abb. 3.1-4, in der die mittlere Anzahl der Sommertage und der heißen Tage der Periode 1971–2000 aller Landeshauptstädte sowie von Frankfurt/Main, Freiburg und Karlsruhe dargestellt werden, verdeutlicht, dass Mainz und Wiesbaden die Landeshauptstädte mit der stärksten sommerlichen Wärmebelastung sind (NOPPEL 2017).

Methoden

Das Stadtklimamodell MUKLIMO_3 wurde auch in diesem Projekt eingesetzt, um Simulationen für unter-

schiedliche meteorologische Bedingungen für die Region Wiesbaden/Mainz durchzuführen (SIEVERS 2012, 2016; DWD 2016a). Auf Basis von Messungen an der Klimastation Frankfurt/Flughafen und mit Hilfe der bereits erwähnten Quadermethode (FRÜH et al. 2011a, b) wurden daraus räumlich hoch aufgelöste Klimatologien zur Anzahl der Sommertage, der heißen Tage und der Tropennächte für den 30-jährigen Zeitraum 1971–2000 bestimmt. Die Landnutzungsszenarien wurden variiert, um den Einfluss der Stadt auf das Klima einschätzen zu können.

Verschiedene Klimaprojektionen wurden wiederum herangezogen, um Aussagen zur zukünftigen Entwicklung der Hitzebelastung treffen zu können. Dazu wurden die Ergebnisse aus 17 regionalen Klimaprojektionen ausgewertet und die räumliche Verteilung der Zunahme der Klimaindizes bis zum Zeitraum 2031–2060 in den beiden Städten Mainz und Wiesbaden bestimmt. Durch die Verwendung mehrerer Klimaprojektionen erhält man eine mögliche Spannbreite der Ergebnisse und kann somit die Unsicherheiten in den verwendeten Klimamodellen berücksichtigen (NOPPEL 2017).

Ergebnisse

Unter Berücksichtigung der Geländehöhe und der Bebauungsstruktur bzw. Landnutzung wurden die Modellrechnungen für unterschiedliche sommerliche

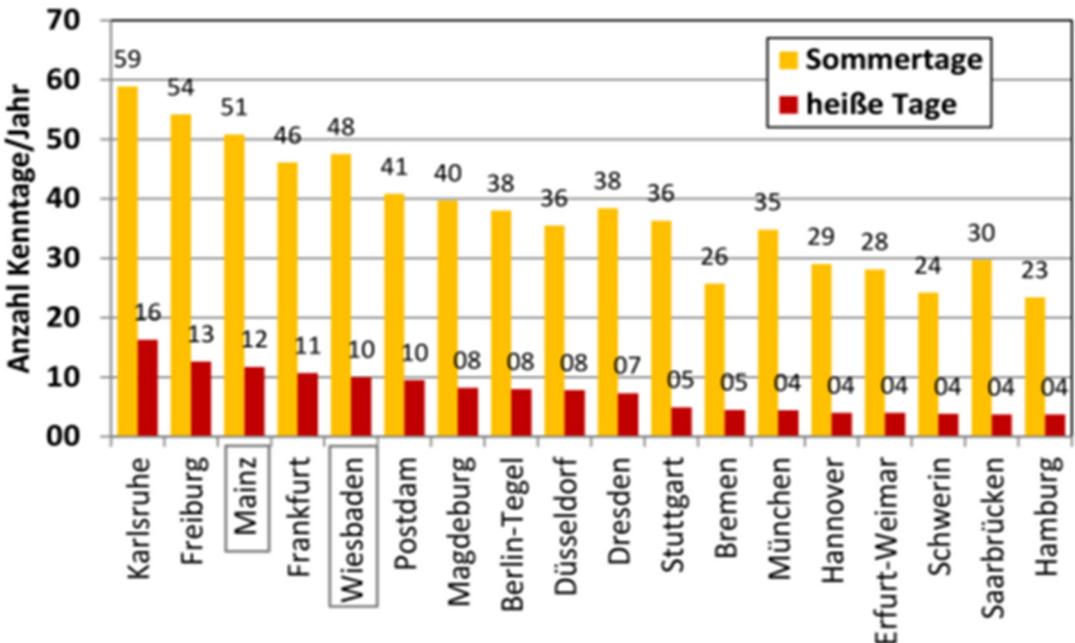


Abb. 3.1-4: Mittlere Anzahl von Sommertagen und heißen Tagen pro Jahr in Landeshauptstädten sowie den Städten Karlsruhe, Freiburg und Frankfurt/Main für den Zeitraum 1971–2000, sortiert nach der Anzahl der heißen Tage.

meteorologische Bedingungen für die Region Wiesbaden/Mainz durchgeführt und daraus räumlich hoch aufgelöste Karten zur Anzahl der Sommertage, der heißen Tage und der Tropennächte für den 30-jährigen Zeitraum 1971–2000 erstellt. Die Ergebnisse zeigen in der Fläche deutliche Differenzierungen. So werden in den Innenstädten bis über 65 Sommertage, ca. 20 heiße Tage und 15 Tropennächte erreicht, während z.B. die Werte im weniger dicht bebauten und etwas höher gelegenen Wiesbaden-Auringen mit ca. 32 Sommertagen, 6 heißen Tagen und 2 Tropennächten deutlich niedriger liegen.

Um den Einfluss der Bebauung auf die räumliche Verteilung besser von der des Geländes unterscheiden zu können, wurden die Untersuchungen mit einem virtuellen Landnutzungsszenario ohne Bebauung wiederholt. Allein die Bebauung führt in den Innenstädten zu einer Erhöhung um ca. 20 Sommertage, 10 heiße Tage und bis zu 15 Tropennächte im Jahr (siehe *Abb. 3.1-5*).

Von großem Interesse für die Städte ist die zukünftige Entwicklung der Hitzebelastung. Dazu wurde die räumliche Verteilung der Zunahme der Klimakenn-tage für den Zeitraum 2031-2060 in beiden Städten bestimmt. Im gesamten Untersuchungsgebiet ist eindeutig mit einer Zunahme aller drei Klimaindizes zu rechnen, wobei der Anstieg im Rheintal stärker ist als im Taunus. Betrachtet man das 75. Perzentil, das den oberen Bereich der Ergebnismenge der Klimaprojektionen widerspiegelt, dann ist am Standort der Klimastation Wiesbaden-Süd in Zukunft mit einer Erhöhung

um ca. 23 Tage auf im Mittel 71 Sommertage und an der Station in Mainz auf 73 Sommertage im Jahr zu rechnen. Der Anstieg der Tropennächte um 4 bis 16 ist prozentual gesehen besonders hoch (siehe *Abb. 3.1-5*).

Der Einfluss der Landnutzung bzw. der Bebauungsstruktur auf die Temperaturverteilung wurde statistisch ausgewertet. Daraus ergibt sich, dass im Mittel Gebiete mit Block- und Innenstadtbauung erwartungsgemäß am wärmsten sind. Hier ergeben sich z.B. 10 bis 15 Sommertage mehr als in unbebauten Gebieten. Tagsüber ist es in Waldgebieten am kühls-ten, nachts auf Freiflächen wie Wiesen, Äckern oder in Gärten. Aber auch Siedlungsgebiete mit Ein- und Mehrfamilienhaus- oder Reihenhausbebauung kühlen nachts im Vergleich zu Gebieten mit Blockbebauung noch gut ab. Statistische Analysen der bis 2031-2060 zu erwartenden Erwärmung deuten darauf hin, dass vor allem die Anzahl der heißen Tage in den dicht bebauten, ohnehin schon überwärmten Bereichen, stärker zunehmen wird als in nur locker bebauten oder unbebauten Gebieten.

Da die städtische Wärmeinsel in der Nacht am stärksten ausgeprägt ist und eine fehlende nächtliche Abkühlung sich besonders negativ auf das Wohlbefinden und die Gesundheit auswirkt, spielen hier die nächtliche Bildung von Kaltluft und die damit verbundenen Kaltluftabflüsse eine entscheidende Rolle (s. Kap. 1.5 - KATZSCHNER & KUPSKI in diesem Band). Daher wurde anhand der Stadtklimamodell-Ergebnisse flächendeckend das Potential der bisher unbebauten Flächen zur

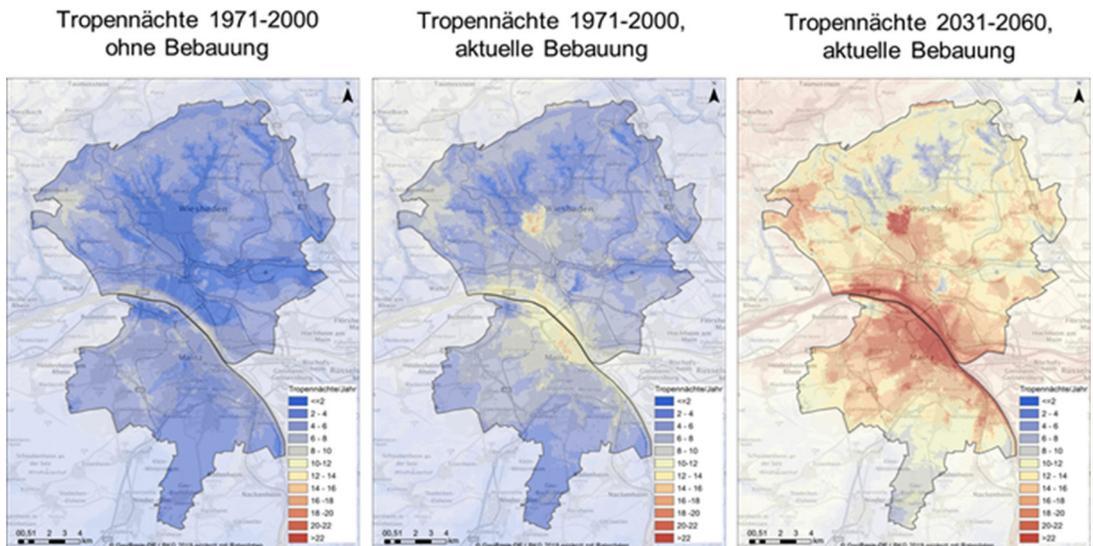


Abb. 3.1-5: Mittlere jährliche Anzahl von Tropennächten ($T_{\text{night}} \geq 20^\circ\text{C}$) in Mainz und Wiesbaden für den Zeitraum 1971–2000 ohne und mit Bebauung sowie Projektion für den Zeitraum 2031-2060 basierend auf 16 Stadtklimamodell-simulationen und 17 Klimaprojektionen.

Bildung von Kaltluft analysiert und Trajektorien der Kaltluft bestimmt. Zusätzlich wurden Volumenstromdichten sowie die mittlere Temperatur von Kaltluftabflüssen berechnet, um Aussagen zur Mächtigkeit und Wirksamkeit der Kaltluft machen zu können.

Die Analysen dieser Berechnungen zeigen, dass Kaltluft vor allem auf am Hang gelegenen Freiflächen gebildet wird, aber auch auf innerstädtischen Grünflächen kann Kaltluft entstehen. In *Abb. 3.1-6* sind Gebiete mit einer hohen Wärmebelastung Kaltluftentstehungsgebieten gegenübergestellt.

Für die Zufuhr kühlerer Luft in die Wiesbader Innenstadt spielen vor allem das Nerotal und das Rambachtal eine wichtige Rolle (siehe auch *Abb. 3.1-3*). Für die am Rhein gelegenen Ortsteile Wiesbadens haben die aus Norden kommenden Täler eine wichtige Funktion. Die auf den Freiflächen zwischen Erben-

heim, Igstadt und Bierstadt gebildete Kaltluft strömt nach Mainz-Kastel und teilweise sogar über den Rhein hinweg bis zur Mainzer Innenstadt und nach Weisenau. Da die Hänge des Rhein Hessischen Hügellandes flacher sind als die des Taunus, dauert es auf der Mainzer Seite des Rheins etwas länger bis sich Kaltluftabflüsse ausbilden. In der zweiten Nachthälfte erfolgt dann die Belüftung der Mainzer Innenstadt vorwiegend aus Süden. Für Mainz Mombach spielen das Gonsbachtal sowie die Kaltluftentstehungsgebiete um Lerchenberg und Drais eine wichtige Rolle.

Alle Ergebnisse der Stadtklimauntersuchung wurden im Bericht des Deutschen Wetterdienstes 249 (NOPPEL 2017) veröffentlicht. Die Projektergebnisse können im erarbeiteten Handlungsleitfaden für Kommunen nachgelesen werden (HLNUG 2019)

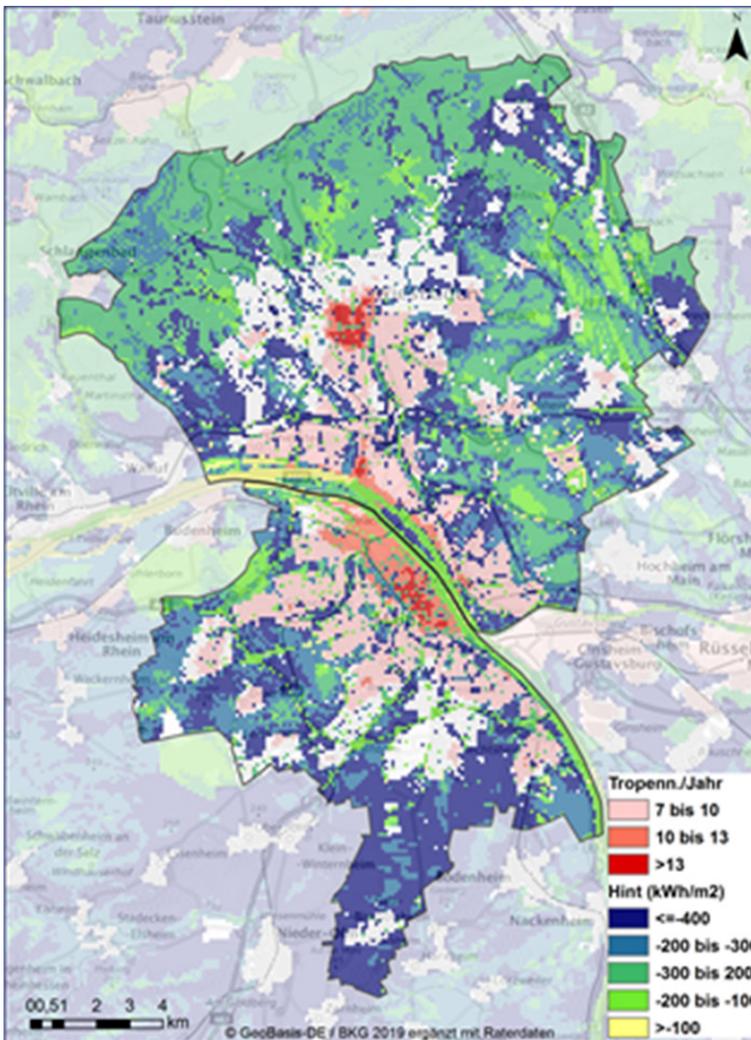


Abb. 3.1-6: Kaltluftbildung zwischen 22 und 4 Uhr (bebaute Flächen sind ausgenommen) und mittlere jährliche Anzahl von Tropennächten ($T_{min} \geq 20^\circ C$) in Mainz und Wiesbaden für den Zeitraum 1971-2000.

Schlussbetrachtung

Die Anpassung an die Folgen des Klimawandels wird in Städten immer mehr auch als Querschnittsaufgabe verstanden, um die Lebensqualität, Zukunftsfähigkeit und Wirtschaftskraft in den urbanen Regionen zu erhalten und weiterentwickeln zu können. Dazu brauchen die Städte und Kommunen verlässliche meteorologische Daten und in der Fläche hoch aufgelöste Informationen zur künftigen Entwicklung des Klimas, wie sie beispielsweise in den beschriebenen Stadtklimaprojekten erarbeitet und bereitgestellt wurden.

In der Zusammenarbeit mit Städten und Kommunen zum Thema Klimawandel und Klimaanpassung wird aber auch deutlich, dass es nicht nur wichtig ist, die relevanten Ergebnisse der Klimaforschung zur Verfügung zu stellen, sondern diese auch so aufzubereiten, dass sie in den kommunalen Entscheidungsprozessen Berücksichtigung finden können. Maßgeschneiderte Informationssysteme und Beratungswerkzeuge sind notwendig, damit Städte und Kommunen entscheidungsrelevantes Wissen zum Klimawandel und zur Klimaanpassung aufzubauen und Anpassungsstrategien entwickeln und umsetzen können.

Literatur

DWD (2016a): Gefühlte Temperatur, Schwüle und Wind Chill. <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=100932&lv3=100988>.

FRÜH B., M. KOSSMANN & M. ROOS (2011a): Frankfurt am Main im Klimawandel – Eine Untersuchung zur städtischen Wärmebelastung. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* 237, 68 S.

FRÜH B., P. BECKER, T. DEUTSCHLÄNDER, J.-D. HESSEL, M. KOSSMANN, I. MIESKES, J. NAMYSLO, M. ROOS, U. SIEVERS, T. STEIGERWALD, H. TURAU & U. WIENERT (2011b): Estimation of climate change impacts on the urban heat load using an urban climate model and regional climate projections. *Journal Applied Meteorology and Climatology* 50, 1, 167-184.

HLNUG (2019): Handlungsleitfaden zur kommunalen Klimaanpassung in Hessen – Hitze und Gesundheit -<https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/klimipraxis/>

KLIMPRAXStadtklima2019/L-Handlungsleitfaden2019_Einzelseiten.pdf

JACOB, D., H. GÖTTEL, S. KOTLARSKI, P. LORENZ & K. SIECK (2008): Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland. Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. UBA, Reihe Climate Change 11/08.

KETTERER C. & A. MATZARAKIS (2015): Comparison of different methods for the assessment of the urban heat island in Stuttgart, Germany. *Int. J. Biometeorol* 59, 1299-1309.

LHS (Landeshauptstadt Stuttgart) (2016): Stuttgart Topographische Karten. Statistisches Amt. https://servicex.stuttgart.de/lhs-services/komunis/documents/8851_1_Stuttgart_in_Karten_Datenkompass_Stadtbezirke_Stuttgart_2010_2011.PDF

MATZARAKIS A. & C. KOPPE (2016): Hitzewellen – eine zunehmende Gesundheitsgefahr. *Internistische Praxis* 56, 585-592.

NOPPEL H. (2017): Modellbasierte Analyse des Stadtklimas als Grundlage für die Klimaanpassung am Beispiel von Wiesbaden und Mainz, *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* Band 249, 101 S.

SCHLEGEL I. & M. KOSSMANN (2017): Stadtklimatische Untersuchungen der sommerlichen Wärmebelastung in Stuttgart als Grundlage zur Anpassung an den Klimawandel. *Ergebnisbericht der Kooperation zwischen der Landeshauptstadt Stuttgart und dem Deutschen Wetterdienst*.

SIEVERS U. (2012): Das kleinskalige Strömungsmodell MUKLIMO 3 Teil 1: Theoretische Grundlagen, PC-Basisversion und Validierung. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* Band 240, 142 S.

SIEVERS U. (2016): Das kleinskalige Strömungsmodell MUKLIMO 3 Teil 2: Thermodynamische Erweiterungen. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* Band 248, 151 S. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:101:1-201606173510>.

STAIGER H., G. LASCHEWSKI & A. GRÄTZ (2012): The perceived temperature – a versatile index for the assessment of the human thermal environment. Part A: scientific basics. *Int J Biometeorol* 56, 165-176.=

Kontakt:

Dr. Petra Fuchs
Deutscher Wetterdienst - DWD-Offenbach
petra.fuchs@dwd.de

Fuchs P. (2019): Stadtklimauntersuchungen in ausgewählten deutschen Städten. In: LOZÁN J. L. S.-W. BRECKLE, H. GRASSL, W. KÜTTLER & A. MATZARAKIS. (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Die Städte*. pp. 74-81. Online: www.klimawarnsignale.uni-hamburg.de. doi:10.2312/warnsignal-klima.die-staedte.11.