



KLIMPRAX Stadtklima
KLIMawandel in der PRAXis

Handlungsleitfaden zur kommunalen Klimaanpassung in Hessen – Hitze und Gesundheit –



Handlungsleitfaden zur kommunalen Klimaanpassung in Hessen – Hitze und Gesundheit –

**Herausgeber:
Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt
und Geologie, 2019**

Projekttitlel

Handlungsleitfaden zur kommunalen Klimaanpassung in Hessen

Projektbearbeitung

INFRASTRUKTUR & UMWELT
Professor Böhm und Partner



Hochschule Fulda
Fachbereich Pflege und Gesundheit



mit Unterstützung der Kooperationspartner

Landeshauptstadt Wiesbaden

Landeshauptstadt Mainz

Deutscher Wetterdienst

Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz

Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen Rheinland-Pfalz

Projektleitung

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
Sonja Singer-Posern

Auftraggeber

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
Fachzentrum Klimawandel und Anpassung

Satz & Layout

apel-medien, Darmstadt

Darmstadt, den 30. April 2019

Bildnachweis Titelblatt: © Quinn Kampschroer (quinntheislander) – pixabay.com



Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser,

gerade im Hinblick auf den wachsenden Anteil älterer Menschen gewinnt das Thema Hitze in der Stadt und Gesundheit zunehmend an Bedeutung. Für die Kommunen gilt es, Orte zu identifizieren, die eine starke Hitzebelastung aufweisen und an denen zugleich besonders von Hitze betroffene Menschen wohnen. Dort gibt es einen vordringlichen Handlungsbedarf.

Das Projekt KLIMPRAX Stadtklima mit den Modellkommunen Wiesbaden und Mainz greift dieses Thema auf. Es gibt Empfehlungen, wie Kommunen den temperaturbedingten Veränderungen des Klimas und den damit verbundenen Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen in der Stadt Rechnung tragen können und wie die Umsetzung in Planungsprozessen gelingen kann.

Ein wesentlicher Punkt besteht darin, die Anpassung an den Klimawandel als Querschnittsaufgabe zu verstehen, damit die Lebensqualität unserer Städte auch in Zukunft gesichert werden kann. In den Kommunen muss das Thema in kommunalen Strukturen und Verwaltungsabläufen verankert und durch gute fachliche Grundlagen zur Situation in der eigenen Kommune unterstützt werden. Für das Stadtklima und zukünftige Planungen sind ortsspezifische Kenntnisse erforderlich: Wo ist die Temperaturbelastung in heißen Sommern am stärksten und welche Flächen sorgen für Abkühlung in den Nächten?

Hier schlägt das Projekt KLIMPRAX Stadtklima die Brücke zwischen den klimatischen und demografischen Herausforderungen und den möglichen Handlungsoptionen für die kommunale Planung.

Prof. Dr. Thomas Schmid

Präsident des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie

A handwritten signature in blue ink that reads "Thomas Schmid". The signature is written in a cursive, flowing style.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VIII
Abkürzungen	IX
0 Veranlassung, Zielsetzungen und Umsetzung im Projekt KLIMPRAX Stadtklima	1
1 Einführung	3
1.1 Ziel des Handlungsleitfadens	4
1.2 Inhalt und Aufbau des Handlungsleitfadens	4
2 Der Kontext: Klimawandel, Hitze und Gesundheit	6
2.1 Klimawandel: Temperaturanstieg und häufigere Hitzeextreme	7
2.2 Der Einfluss des Klimawandels auf die Stadtentwicklung	15
2.3 Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit	17
3 Voraussetzungen für eine erfolgreiche Einbeziehung der Anpassung an den Klimawandel in Planungsprozesse	20
3.1 Wahrnehmung der Betroffenheit und Motivation zum Handeln in Politik und Verwaltung	22
3.2 Kenntnisse zum Klimawandel und zu dessen lokalen Folgen	24
3.3 Verknüpfung mit kommunalen Entwicklungsstrategien und Nutzung von Synergien	28
3.4 Kooperation und Koordination innerhalb der kommunalen Verwaltung und mit weiteren Akteuren	30
4 Modellbasierte Analyse des Stadtklimas als Grundlage für die Klimaanpassung	32
4.1 Klimaanalyse und -projektion am Beispiel der Modellkommunen Wiesbaden und Mainz	32
4.2 Modellbasierte Analysen des Stadtklimas: Hinweise für Kommunen	42

5	Fachliche Grundlagen aufbereiten: Methodenbaukasten zur Bewertung der Hitzebelastung und der Sensitivität der Bevölkerung (menschliche Gesundheit)	46
5.1	Einführung zum Methodenbaukasten	46
5.2	Nutzung des Methodenbaukastens	47
5.3	Module des Methodenbaukastens	49
	Modul 1: Stadtklimatische Erkenntnisse	51
	Modul 2: Bewertung klimatischer Belastungs- und Ausgleichsräume	81
	Modul 3: Ableiten von Planungshinweisen für die kommunale Planung	95
	Modul 4: Sensitivitätsanalyse Gesundheit	101
	Modul 5: Betroffenheit (Hitze) der Bevölkerung im Stadtgebiet	117
6	Weiterführende Informationen	137
7	Glossar	138
8	Literatur	147
9	Anhang	153
	Anhang 1: Beispielhafte Kartenaufbereitungen des DWD der Ergebnisse der numerischen Modellierungen mit MUKLIMO_3.	153
	Anhang 2: Planungshinweistabelle.	156

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: KLIMPRAX Stadtklima Logo	3
Abbildung 2: Jahresmitteltemperaturen in der Klimanormalperiode 1961–1990 sowie der aktuellen 30–jährigen Periode 1989–2018. Das Projektgebiet Wiesbaden/Mainz ist hervorgehoben. (Quelle: eigene Darstellung)	8
Abbildung 3: Mitteltemperaturen im Sommer (Juni bis August) im KLIMPRAX Stadtklima-Projektgebiet Wiesbaden/Mainz für den Zeitraum 1881–2018 (Quelle: eigene Darstellung)	9
Abbildung 4: Mittlere Häufigkeit von Tagen mit extremer Wärmebelastung (oben) und tropischen Nächten (unten) von 1936–2015 (dekadisch) in Frankfurt/Main-Innenstadt und Geisenheim (Quelle: HLNUG 2017a)	11
Abbildung 5: Anstieg der Anzahl Heißer Tage pro Jahr (Tageshöchsttemperatur über 30 °C) 2071–2100 im Vergleich zu 1971–2000 für das „Klimaschutz-“ (RCP2.6) und das „Weiter-wie-bisher-Szenario“ (RCP8.5) (Datenquelle: ReklEs-De und EURO-Cordex, Quelle: eigene Darstellung)	13
Abbildung 6: Projizierte Änderung der mittleren Sommertemperatur für das erweiterte KLIMPRAX Stadtklima-Modellgebiet Wiesbaden/Mainz bis Ende des 21. Jahrhunderts (Quelle: HLNUG 2017a)	13
Abbildung 7: Das Stadtklima und dessen Einflussfaktoren (Quelle: DWD o.J.)	15
Abbildung 8: Durchschnittliche maximale und minimale Tagestemperatur (Mittel über hessische Stationen) sowie verstorbene ältere Menschen in Hessen, Juli bis August 2003 (Quelle: HLNUG 2018: S.7)	17
Abbildung 9: Steigende Hitzebelastung für über 80-Jährige (Quelle: DWD 2017a, modifiziert)	19
Abbildung 10: Schematische Darstellung der räumlichen Verfeinerung (Downscaling) der Klimasimulationsrechnungen von der globalen Skala zur städtischen Skala (Quelle: DWD)	33
Abbildung 11: MUKLIMO_3 Modellgebiet mit den Grenzen des politischen Stadtgebiets von Mainz im Süden und von Wiesbaden im Norden sowie Geländehöheninformationen in m über NN. Die hellgrauen Linien geben die Hauptverkehrsstraßen wieder. (Quelle: Noppel 2017: S. 17)	34
Abbildung 12: Ergebnisse aus dem Stadtklimamodell für einen windschwachen, heißen, trockenen Tag (mit aktueller Bebauung): Lufttemperatur (links) und gefühlte Temperatur (rechts) (Quelle: DWD 2017b)	36
Abbildung 13: Anzahl der Heißen Tage ohne Bebauung (links) und mit aktueller Bebauung (rechts) für den Zeitraum 1971–2000 (Quelle: DWD 2017b)	37
Abbildung 14: Anzahl der Heißen Tage pro Jahr für den Zeitraum 1971–2000 (links) im Vergleich zur Anzahl der Heißen Tage pro Jahr für den Medianwert der Klimaprojektionen für den Zeitraum 2031–2060 (rechts) (Quelle: DWD 2017b)	38
Abbildung 15: Von 22 MESZ bis 4 MESZ zeitlich akkumulierter fühlbarer Wärmestrom zwischen dem Boden sowie den Bäumen und der umgebenden Atmosphäre (in der Abbildung mit Hint abgekürzt) in kWh/m ² zur Beurteilung des Potentials einer Fläche, Kaltluft zu bilden (Quelle: DWD 2017b)	39
Abbildung 16: Vorwärtstrajektorien im Modellgebiet mit Start 2 Uhr und Ende um 4 Uhr (links) und Rückwärtstrajektorien mit Start um 4 Uhr und Ende um 2 Uhr (rechts) (Quelle: DWD 2017b)	40
Abbildung 17: Volumenstrom für eine Schichtdicke von 20 m um 4 Uhr in Wiesbaden (Noppel 2017: S.67)	41
Abbildung 18: Verdichtungsräume in Hessen: Rhein-Main-Gebiet, Gießen und Kassel (Quelle: BBSR 2017)	47
Abbildung 19: Verteilung der saisonalen Mitteltemperatur Sommer in Hessen (Quelle: HLNUG – Fachzentrum Klimawandel Hessen o.J.)	47

Abbildung 20: Übersicht Methodenbaukasten zur Bewertung der Hitzebelastung und der Sensitivität der Bevölkerung (menschliche Gesundheit) (Quelle: eigene Darstellung)	49
Abbildung 21: Gewinnung von planungsrelevanten stadtklimatischen Erkenntnissen aus Modellierungsergebnissen (Quelle: eigene Darstellung)	53
Abbildung 22: Gefühlte Temperatur (pt_basic) in °C für einen heißen, trockenen, windschwachen Tag mit Anströmung aus WSW um 4 Uhr MESZ (links) und um 16 Uhr MESZ (rechts) in Wiesbaden (Quelle: Noppel 2017: S. 28 ff)	55
Abbildung 23: Beispieldarstellung – Verteilung der gefühlten Temperatur um 4 Uhr in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)	57
Abbildung 24: Beispieldarstellung – Verteilung der gefühlten Temperatur um 16 Uhr in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)	57
Abbildung 25: Beispieldarstellung – Darstellung der Verteilung der mittleren jährlichen Anzahl der Heißen Tage (1971–2000) in Wiesbaden (Quelle: Noppel 2017: S. 34)	61
Abbildung 26: Verteilung der mittleren jährlichen Anzahl der Heißen Tage (2031–2060; 75. Perzentil) – Flächenmittel für Planungsbezirke Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)	61
Abbildung 27: Verteilung der mittleren jährlichen Anzahl der Heißen Tage (2031–2060; 75. Perzentil) – Flächenmittel für Planungsbezirke in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)	62
Abbildung 28: Zeitlich aufintegrierter, fühlbarer Wärmestrom zwischen dem Boden sowie den Bäumen und der umgebenden Atmosphäre (H_int) in kWh/m ² . Es wurde zwischen 22 Uhr MESZ und 4 Uhr MESZ aufintegriert in Wiesbaden (Quelle: Noppel 2017: S. 53)	66
Abbildung 29: Beispieldarstellung – Kältestrom (22 Uhr bis 4 Uhr; berechnet als fühlbarer Wärmestrom, aufintegriert) in Wiesbaden. Darstellung in 5 Klassen (Quelle: eigene Darstellung)	67
Abbildung 30: Beispieldarstellung – Einstufung des Kaltluftproduktionspotenzials (lokaler Vergleich) der Flächen ohne Siedlungsgebiete in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)	67
Abbildung 31: Beispieldarstellung des Windfelds und der Lufttemperatur in 5 m über Grund um 4 Uhr MESZ in Wiesbaden (Quelle: Noppel 2017: S. 25)	71
Abbildung 32: Beispieldarstellung – Volumenstrom (Pfeilrichtung) und Temperatur (Farbflächen) für die Schichtdicke 20 m um 4 Uhr MESZ (Quelle: Landeshauptstadt Wiesbaden, Umweltamt 2018)	72
Abbildung 33: Beispieldarstellung – Volumenstrom (Richtung, Stärke und Temperatur) für eine Schichtdicke von 20 m um 4 Uhr MESZ in Wiesbaden (Quelle: Noppel 2017: S. 67)	72
Abbildung 34: Vorwärtstrajektorien im Modellgebiet mit Start 2 Uhr und Ende um 4 Uhr (links) und Rückwärtstrajektorien mit Start um 4 Uhr und Ende um 2 Uhr (rechts) (Quelle: DWD 2017b)	73
Abbildung 35: Beispiellegende zur kartografischen Darstellung der Anfälligkeit für sommerliche Hitzebelastung auf Basis der INKAS Flächenanalyse (Quelle: eigene Darstellung)	76
Abbildung 36: Ausschnitt der Einstufung der thermischen Belastung im Siedlungsbereich anhand des Versiegelungsgrads unter Berücksichtigung der Flächennutzungen (Quelle: Stadt Bad Liebenwerda 2010),	77
Abbildung 37: Schematische Darstellung der Belastungs- und Ausgleichsräume (eigene Darstellung)	82
Abbildung 38: Beispieldarstellung – Verteilung der gefühlten Temperatur um 4 Uhr in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)	85

Abbildung 39: Beispieldarstellung – Beurteilung von Belastungsgebieten in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)	87
Abbildung 40: Beispielschema – Lage von Ausgleichsräumen mit hoher Bedeutung (eigene Darstellung)	90
Abbildung 41: Beispieldarstellung – Verteilung der mittleren jährlichen Anzahl der Tropennächte (2031–2060; 75. Perzentil), Flächenmittel für Planungsbezirke in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)	93
Abbildung 42: Beispieldarstellung – Einstufung des Auftretens von Tropennächten in der nahen Zukunft in Wiesbaden (2031–2060) (Quelle: eigene Darstellung)	94
Abbildung 43: Überblick über die Gewinnung relevanter Erkenntnisse zur Abschätzung der Sensitivität der Bevölkerung (Quelle: eigene Darstellung)	102
Abbildung 44: Beispieldarstellung – Verteilung der Hochaldrigendichte, Einteilung in Dezile für statistische Bezirke in Mainz (Quelle: eigene Darstellung)	107
Abbildung 45: Beispieldarstellung – Armutsdichte, Einteilung in Dezile in Mainz (Quelle: eigene Darstellung)	107
Abbildung 46: Beispieldarstellung – Konzentration der Sensitivität für Stadtbezirke in Mainz (Stand 2016) (Quelle: eigene Darstellung)	111
Abbildung 47: Beispieldarstellung – Hochaldrigendichte mit Sensitivitätsgrad in der Zukunft für statistische Bezirke in Mainz (Quelle: eigene Darstellung)	116
Abbildung 48: Beispielhafte Darstellung der Ermittlung der Betroffenheit auf Basis der Ergebnisse aus ➔ Modul 2 und ➔ Modul 4 (Quelle: eigene Darstellung)	118
Abbildung 49: Beispieldarstellung – Konzentration der Sensitivität in Mainz (Stand 2016) (Quelle: eigene Darstellung)	120
Abbildung 50: Beispieldarstellung – Beurteilung von Belastungsgebieten auf Siedlungsflächen in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)	121
Abbildung 51: Matrix für die Ermittlung der Betroffenheit nachts (Quelle: eigene Darstellung)	122
Abbildung 52: Beispieldarstellung – Betroffenheit in der Nacht in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)	122
Abbildung 53: Beispieldarstellung – Gefühlte Temperatur um 16 Uhr in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)	123
Abbildung 54: Matrix für die Ermittlung der Betroffenheit tags (Quelle: eigene Darstellung)	124
Abbildung 55: Beispieldarstellung – Betroffenheit am Tag in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)	124
Abbildung 56: Beispieldarstellung – Betroffenheit in der Nacht in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)	125
Abbildung 57: Beispieldarstellung – Betroffenheit am Tag in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)	126
Abbildung 58: Beispieldarstellung – Hochaldrigendichte mit Sensitivitätsgrad in der Zukunft in Mainz (Quelle: eigene Darstellung)	130
Abbildung 59: Beispieldarstellung – Einstufung der Tropennächte – Zukunft 2031–2060 in Wiesbaden (75. Perzentil) (Quelle: eigene Abbildung)	131
Abbildung 60: Matrix für die Ermittlung der potenziellen Betroffenheit nachts (Zukunft) (Quelle: eigene Abbildung)	132
Abbildung 61: Beispieldarstellung – Einstufung der potenziellen Betroffenheit der Bevölkerung nachts in der Zukunft in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)	132
Abbildung 62: Beispieldarstellung – Einstufung der Heißen Tage – Zukunft 2031–2060 in Wiesbaden (75. Perzentil) (Quelle: eigene Darstellung)	133
Abbildung 63: Matrix für die Ermittlung der potenziellen Betroffenheit tags (Zukunft) (Quelle: eigene Darstellung)	134

Abbildung 64: Beispieldarstellung – Einstufung der potenziellen Betroffenheit der Bevölkerung tags in der Zukunft in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)	134
Abbildung 65: Beispieldarstellung – Einstufung der potenziellen Betroffenheit der Bevölkerung nachts in der Zukunft in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)	135
Abbildung 66: Beispieldarstellung – Einstufung der potenziellen Betroffenheit der Bevölkerung tags in der Zukunft in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)	135
Abbildung 67: Inhalte des Handlungsleitfadens: Planungsleitfaden für Kommunen (HLNUG 2017a), Stadtklimaanalyse (Noppel 2017) und Methodenbaukasten	137
Abbildung 68: Mittlere jährliche Anzahl Sommertage für die Modellierung der Gegenwart (1971–2000) (Quelle: Noppel 2017: S. 33)	153
Abbildung 69: Mittlere jährliche Anzahl Heiße Tage für die Modellierung der Gegenwart (1971–2000) (Quelle: Noppel 2017: S. 34)	153
Abbildung 70: Mittlere jährliche Anzahl Tropennächte für die Modellierung der Gegenwart (1971–2000) (Quelle: Noppel 2017: S. 35)	154
Abbildung 71: Änderung der Anzahl der Sommertage pro Jahr aus den Klimaprojektionen. Links: 25. Perzentil, rechts: 75. Perzentil. (Quelle: Noppel 2017: S. 47)	154
Abbildung 72: Änderung der Anzahl der Heißen Tage pro Jahr aus den Klimaprojektionen. Links: 25. Perzentil, rechts: 75. Perzentil. (Quelle: Noppel 2017: S. 47)	155
Abbildung 73: Änderung der Anzahl der Tropennächte pro Jahr aus den Klimaprojektionen. Links: 25. Perzentil, rechts: 75. Perzentil. (Quelle: Noppel 2017: S. 48)	155

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anzahl der Tage (Mittelwerte) verschiedener warmer Temperaturkentage pro Jahr für Frankfurt/Main-Innenstadt und Geisenheim im Vergleich der Perioden 1961–1990 und 1986–2015 (Quelle: HLNUG 2017a)	10
Tabelle 2: Klimaindizes (Sommertage, Heiße Tage, Tropennächte) aus Messungen (1971–2000) und den mit Hilfe der Simulationen projizierten Änderungen (Quelle: Noppel 2017: S.48)	37
Tabelle 3: Kriterien zur Abschätzung der Dringlichkeit des Handlungsbedarfs	48
Tabelle 4: Übersicht der Module und Bausteine des Methodenbaukastens	50
Tabelle 5: Klimamodelle (verändert nach Klamis 2013)	141

Abkürzungen

ARL	Akademie für Raumordnung und Landesplanung	KALM	Kaltluftabflussmodell
BauGB	Baugesetzbuch	KLIMPRAX Stadtklima	Klimawandel in der Praxis
BBR	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung	LUBW	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung	MBK	Methodenbaukasten
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie	MESZ	Mitteuropäische Sommerzeit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (bis 12/2013, anschließend Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur)	MKE	Mindestkartiereinheit
BNatschG	Bundesnaturschutzgesetz	MUKLIMO_3	Dreidimensionales mikroskaliges urbanes Klimamodell
CORINE	Coordination of Information on the Environment („Koordinierung von Informationen über die Umwelt“)	MWKEL	Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung Rheinland-Pfalz
DGM50	Digitales Geländemodell Gitterweite 50 m	RCP	Representative Concentration Pathways
DWD	Deutscher Wetterdienst	RGB	Rot, Grün, Blau
FITNAH	Flow Over Irregular Terrain With Natural And Anthropogenic Heat Sources	RKI	Robert-Koch-Institut
HE	Hessen	RLP	Rheinland-Pfalz
HLNUG	Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie	SGB	Sozialgesetzbuch
HLPUG	Hessisches Landesprüfungs- und Untersuchungsamt im Gesundheitswesen	SRES	Special Report on Emissions Scenarios
HMUELV	Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz	UBA	Umweltbundesamt
HMWEVL	Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung	VDI	Verein Deutscher Ingenieure
ImmoRISK	Risikoabschätzung der zukünftigen Klimafolgen in der Immobilien- und Wohnungswirtschaft	WAI	Waldflächenindex
INKAS	Informationsportal Klimaanpassung in Städten	WHO	World Health Organization
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change		

0 Veranlassung, Zielsetzungen und Umsetzung im Projekt KLIMPRAX Stadtklima

Der Klimawandel findet statt und erste Folgen dieser Klimaveränderungen sind bereits spürbar. Die Umsetzung von konkreten Maßnahmen zur Klimaanpassung kann nur lokal erfolgen. Vor dieser Herausforderung stehen heute die Kommunen.

Im Integrierten Klimaschutzplan Hessen 2025 heißt es, dass „... eine frühzeitige Anpassung auf absehbare Klimaveränderungen [...] Risiken minimieren und Chancen eröffnen [kann]. Die Landesregierung will Sensibilität für die Notwendigkeiten schaffen und Anpassungsprozesse unterstützen.“ (HMUKLV 2017)

Das Projekt KLIMPRAX Stadtklima

Um Kommunen bei der Anpassung an den Klimawandel zu unterstützen und die vielfältigen Möglichkeiten aufzuzeigen, die im kommunalen Wirkungsbereich liegen, hat das Fachzentrum Klimawandel und Anpassung im Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie das Projekt KLIMPRAX Stadtklima ins Leben gerufen.

Das Projekt beschäftigt sich mit Hitze in der Stadt und der Notwendigkeit, Anpassungsmaßnahmen in Kommunen durchzuführen. Dabei stehen in diesem Projekt solche Anpassungsmöglichkeiten im Fokus, die die Kommunen bei kommunalen Planungsvorhaben haben.

Voraussetzung dafür ist eine Sensibilisierung für die Notwendigkeit der Anpassung an den Klimawandel in allen Bereichen des städtischen Handelns, die Bereitstellung fachlicher Grundlagen und die Bereitschaft, das Thema dauerhaft auf die (politische) Agenda zu setzen.

Unter Leitung des Fachzentrums Klimawandel und Anpassung im Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie wurden im Projekt nachfolgend umrissene Fragestellungen bearbeitet und Maßnahmenempfehlungen zur Unterstützung der Klimaanpassung in Kommunen entwickelt.

1. Warum gelingt es oft nicht, Anpassung an den Klimawandel schon in Planungsprozessen zu berücksichtigen? Warum findet das Thema im gesamtstädtischen Diskurs zu wenig oder keine Beachtung?

Ausgehend von der Erkenntnis, dass doch eine Vielzahl von Anpassungsmaßnahmen bekannt sind, – von kleinen lokal wirksamen Maßnahmen in Städten bis hin zu Möglichkeiten, bereits bei Planungsprozessen klimarelevante Flächen zu berücksichtigen und zu sichern, – muss konstatiert werden, dass stadtklimatisch wichtige Flächen oft nicht erhalten werden.

So sollten im Projekt Ansatzpunkte zum Handeln herausgearbeitet werden und in einem ersten Schritt kommunale organisatorische Abläufe und Strukturen näher betrachtet werden.

Um Schwierigkeiten und Probleme, aber auch Chancen und Stärken in der Umsetzung von klimarelevanten Belangen in der kommunalen Planung zu identifizieren, war es Ziel, dass während der gesamten Projektdauer Erfahrungen aus den Kommunen einfließen und berücksichtigt werden. Modellkommunen im Projekt waren Wiesbaden und Mainz.

2. Stehen den Kommunen fachliche Grundlagen zur Verfügung, um Anpassung nachhaltig zu vertreten und liegen diese in einer für die Praxis gut nutzbaren Form vor?

Können Klimaanalysen die Fragen und Erwartungen der kommunalen Planungspraxis beantworten bzw. wie müssen sie gegebenenfalls aufbereitet werden, um die Arbeit in den Kommunen zu erleichtern und zu verbessern? In welcher Form benötigen Kommunen fachliche Informationen, um sich an die Folgen des Klimawandels infolge steigender Temperaturen anzupassen und vorausschauend und nachhaltig die zukünftige Entwicklung ihrer Kommune zu planen?

Etliche Kommunen haben sicherlich bereits Klimaaudits beauftragt und zum Teil auch Klimafunktions- und/oder Planungshinweiskarten erarbeitet. Allerdings stellen sich dabei in der Regel viele Fragen, unter anderem wie die Aufbereitung von Informationen für die kommunale Planung aus einer Klimaaudit Schritt-für-Schritt geleistet werden kann. Daraus kann Mehrarbeit mit einem erheblichen personellen und finanziellen Aufwand resultieren.

Deshalb wurde im Projekt das Ziel verfolgt, die Ermittlung fachlicher Grundlagen möglichst transparent darzustellen und Informationen bereitzustellen, um die jeweiligen kommunalen Anforderungen an solche Beauftragungen passgenau zu formulieren.

3. Gibt es Stadtgebiete, in denen hohe Temperaturen sowie weitere Faktoren die Gesundheit der Menschen besonders ungünstig beeinflussen?

Um dieser Frage nachzugehen, sollten auch die Folgen des Klimawandels für die Gesundheit der Bevölkerung in das Projekt integriert werden. Damit besteht die Möglichkeit, die hohe Bedeutung stadtklimatischer Belange in Planungsverfahren und Abwägungsverfahren deutlicher herauszustellen.

Zielsetzung im Projekt war es, zur Abschätzung der Empfindlichkeit (Sensitivität) der Bevölkerung gegenüber Hitze sowie deren räumlicher Verteilung im Stadtgebiet einen umfassenden Ansatz zu wählen.

Mit dem Begriff Armut – wie er hier im Projekt verstanden wird – wird die relative Benachteiligung von Menschen im Hinblick auf ihre Lebenslage in einer Stadt adressiert.

Es soll damit ein Ansatz verfolgt werden, der deutlich macht, dass städtische Strukturen, der sozio-ökonomische Status der Bevölkerung und die Folgen des Klimawandels (hier: Hitze) wichtige miteinander

verwobene Handlungsfelder für Kommunen sind, die Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel erforderlich machen.

Die Betroffenheit der Bevölkerung wird nicht nur vom Individuum her erfasst, sondern in einer ganzheitlichen Sichtweise.

Für eine erfolgreiche Projektarbeit war es wichtig fachübergreifend zu kommunizieren.

Alle betroffenen Fachbereiche mussten interdisziplinär zusammenarbeiten, um sich über Ziele, Erwartungen sowie die jeweiligen Anforderungen an die Ergebnisse einig zu werden.

1 Einführung

Das Fachzentrum Klimawandel und Anpassung im Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) in Wiesbaden untersuchte im Rahmen des Projekts „**Klimawandel in der Praxis**“ (KLIMPRAX Stadtklima) die temperaturbedingten Folgen des Klimawandels für Kommunen und daraus folgend die Möglichkeiten der Anpassung des planerischen Handelns in den Kommunen.

In Zusammenarbeit mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD), der Landeshauptstadt Wiesbaden, der Landeshauptstadt Mainz, dem Landesamt für Umwelt, Rheinland-Pfalz, dem Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen und dem Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie/Fachzentrum Klimawandel und Anpassung erfolgten die **Untersuchung des gegenwärtigen und zukünftigen Stadtklimas, die Ermittlung des Handlungsbedarfs (unter Berücksichtigung der menschlichen Gesundheit) sowie die Formulierung von Empfehlungen für die kommunale Praxis.**

Über die gesamte Projektlaufzeit wurden in einer Arbeitsgruppe zusammen mit den Modellkommunen Wiesbaden und Mainz die dabei gewonnenen Erkenntnisse und daraus entwickelten Konzepte hinsichtlich ihrer praktischen Relevanz geprüft.

Im Rahmen der Projektbearbeitung konnten dazu in diesen Modellkommunen die aufgestellten Konzepte sowie die dazugehörigen Methoden getestet und gemeinsam präzisiert werden.



Abbildung 1: KLIMPRAX Stadtklima Logo

Dabei flossen zum einen Erkenntnisse mit ein, die aus zahlreichen Gesprächen mit Akteuren verschiedener Fachämter oder aus Interviews mit weiteren Kommunen aus Hessen und Rheinland-Pfalz sowie aus Planungs- und Expertenworkshops gewonnen wurden. Zum anderen fanden ebenso Ergebnisse aus Forschungsprojekten wie auch kommunale Praxisbeispiele zur Anpassung an den Klimawandel Berücksichtigung.

Im Ergebnis liegt ein **Methodenbaukasten** vor, der **Sie als Kommune befähigt und unterstützt**, Informationen zur **Bewertung der Hitzebelastung und der Sensitivität der Bevölkerung** zu erfassen, auszuwerten und daraus entsprechende **Maßnahmen zur Klimaanpassung** abzuleiten und durchzuführen.

1.1 Ziel des Handlungsleitfadens

Die Anpassung an die nicht mehr vermeidbaren Folgen des Klimawandels ist neben Maßnahmen zum Schutz des globalen Klimas ein wichtiger Bestandteil kommunalen Handelns.

Seit 2011 ist durch die Klimaschutzklausel im Baugesetzbuch (§ 1a BauGB) festgehalten: „Den Erfordernissen des Klimaschutzes soll sowohl durch Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegenwirken, als auch durch solche, die der Anpassung an den Klimawandel dienen, Rechnung getragen werden.“ Auch der Deutsche Städtetag empfiehlt in seinem Positionspapier „Anpassung an den Klimawandel in den Städten – Forderungen, Hinweise und Anregungen“ (2019) den Kommunen, den Klimawandel und seine Auswirkungen bei der Stadtplanung zu berücksichtigen und geeignete Anpassungsmaßnahmen zu ergreifen. Kommunen stehen aufgrund der temperaturbedingten Auswirkungen des Klimawandels daher vor der Herausforderung, sich frühzeitig mit planungsrelevanten Folgen für die Raumordnung und Stadtentwicklung auseinanderzusetzen, mögliche Risiken zu erfassen und wirkungsvolle Gegenmaßnahmen rechtzeitig zu ergreifen. Mit dem Handlungsleitfaden erhalten Sie eine fundierte Anleitung, um die dafür notwendigen Prozesse zu initiieren und durchzuführen.

Ziel des Handlungsleitfadens

Der vorliegende Handlungsleitfaden unterstützt Kommunen bei der **Berücksichtigung temperaturbedingter Auswirkungen des Klimawandels in kommunalen Planungsprozessen, wobei ein besonderer Fokus auf der menschlichen Gesundheit liegt.**

Der Handlungsleitfaden richtet sich speziell an hessische Kommunen. Die darin aufgestellten Methoden und Kriterien berücksichtigen unterschiedliche lokale Gegebenheiten.

Angesprochen werden mit dem Handlungsleitfaden in erster Linie **Planer unterschiedlicher Fachgebiete auf kommunaler Ebene**, aber auch politische Entscheidungsträger in den Kommunen wie (Ober-)Bürgermeister, Stadtverordnete, Gemeindevertretungen oder Ausschussmitglieder¹.

1.2 Inhalt und Aufbau des Handlungsleitfadens

Der Handlungsleitfaden ist **modular** aufgebaut und **bietet Ihnen** Lösungsansätze für unterschiedliche Fragestellungen an.

Hinweisboxen

Im Handlungsleitfaden finden Sie in blauen Hinweisboxen Erläuterungen zu relevanten Begriffen oder Fallbeispiele, die Ihnen detailliertere Hintergrundinformationen liefern. Grüne Hinweisboxen verweisen Sie auf zusätzliche Informationen in bereits veröffentlichten Unterlagen des KLIMPRAX Stadtklima-Projekts.

Hier ist darauf hinzuweisen, dass RCPs zum Zeitpunkt der Bearbeitung der Klimaanalyse nicht vorlagen. Ergebnisse aus den RCPs wurden jedoch teilweise (Kap. 2) herangezogen. Gleiches gilt für den Integrierten Klimaschutzplan 2025 des Landes Hessen, der erst 2017 verabschiedet wurde und für die Projektarbeit nicht mehr berücksichtigt werden konnte.

¹Es sind stets Personen aller Geschlechter gleichermaßen gemeint; aus Gründen der einfacheren Lesbarkeit wird im Handlungsleitfaden die männliche Form verwendet.

Fragestellung	Inhalt	Zielgruppe
<p>Interessieren Sie sich für die Auswirkungen des Klimawandels auf die Kommune und die menschliche Gesundheit und wünschen eine Einführung in das Thema?</p>	<p>Kapitel 2</p> <ul style="list-style-type: none"> • Überblick über den beobachteten und zu erwartenden Klimawandel in Hessen und Rheinland-Pfalz • Einfluss des Klimawandels auf die Stadtentwicklung und die menschliche Gesundheit 	<p>kommunale Fachplaner, politische Entscheidungsträger</p>
<p>Möchten Sie wissen, wie Sie die Voraussetzungen schaffen, um die Anpassung an den Klimawandel erfolgreich in Ihre Planungsprozesse einbeziehen können?</p>	<p>Kapitel 3</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erläuterung der Anforderungen an die Kommunen, um klimarelevante Belange in den kommunalen Planungsprozessen zu berücksichtigen • Vorstellung von vier Handlungsfeldern für eine erfolgreiche Implementierung der Anpassung an den Klimawandel in kommunalen Planungsprozessen 	<p>kommunale Fachplaner, politische Entscheidungsträger</p>
<p>Welche Ergebnisse liefern Stadtklimamodellierungen und welche Kenntnisse und Daten benötigen Sie als Kommune, wenn Sie eine modellbasierte Analyse durchführen möchten?</p>	<p>Kapitel 4</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ergebnisse von Stadtklimamodellierungen am Beispiel Wiesbaden und Mainz • Information für eine fachliche und technische Aufbereitung der Eingangsdaten und Weiterverarbeitung der Modellierungsergebnisse 	<p>kommunale Fachplaner, GIS-Spezialisten in den Kommunen</p>
<p>Interessieren Sie sich dafür, wie Sie in Ihrer Kommune die Erkenntnis zur städtischen Hitzebelastung und Sensitivität der Bevölkerung aufbereiten, darstellen und bewerten können?</p>	<p>Kapitel 5</p> <ul style="list-style-type: none"> • Methodenbaukasten zur Bewertung der Hitzebelastung für die kommunale Planungspraxis unter Berücksichtigung der menschlichen Gesundheit • konkrete Lösungsvorschläge und Empfehlungen für unterschiedliche kommunale Problemstellungen 	<p>kommunale Fachplaner</p>
<p>Welche Planungshinweise können Sie auf Grundlage der Bewertung der Hitzebelastung unter Berücksichtigung der menschlichen Gesundheit für Belastungs- und Ausgleichsräume ableiten?</p>	<p>ANHANG II</p> <ul style="list-style-type: none"> • Umfassende Planungshinweisdatenbank für Kommunen inklusive vieler Beispielmaßnahmen • Datenbank Planungshinweise: https://www.hlnug.de/?id=10236 	<p>kommunale Fachplaner</p>

2 Der Kontext: Klimawandel, Hitze und Gesundheit

Kapitel 2 setzt sich mit dem gegenwärtigen und zu erwartenden Klimawandel, insbesondere in Hessen und Rheinland-Pfalz auseinander.

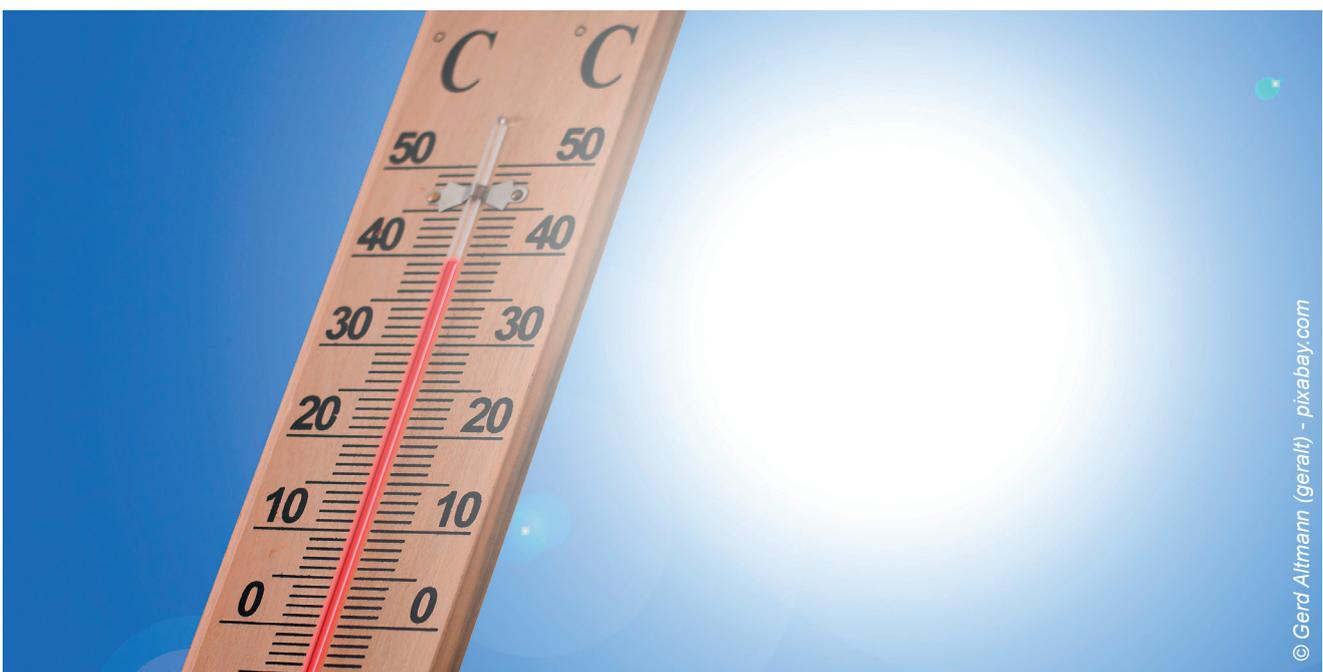
Sie erfahren, wie sich aus der Auswertung entsprechender Wetterdaten sowie durch Klimaprojektionen Aussagen zum **Klimawandel** ableiten lassen. Am Beispiel von Modellkommunen werden Ihnen die konkreten temperaturbedingten Auswirkungen des Klimawandels auf Kommunen gezeigt (**Kapitel 2.1**). Zudem wird darauf eingegangen, welche Einflüsse diese Entwicklungen auf das Stadtklima (**Kapitel 2.2**) sowie die Gesundheit der Bevölkerung haben können (**Kapitel 2.3**).

Klimawandel

Jede Veränderung des Klimas, unabhängig von der betrachteten Größenordnung in Raum und Zeit, wird als Klimawandel oder auch Klimaveränderung bezeichnet. „Neben Veränderungen der Mittelwerte können auch Änderungen anderer statistischer Kenngrößen (Streuung, Extreme, Form der Häufigkeitsverteilungen) einzelner Klimaparameter (Temperatur, Niederschlag, Wind, Feuchte, Bewölkung usw.) auftreten.“ (DWD 2016)

Kapitelüberblick für den schnellen Leser:

- Die Temperaturen steigen global an, auch in Hessen und Rheinland-Pfalz. Zudem werden häufiger Hitzeextreme beobachtet. Regionale Klimaprojektionen erwarten eine weitere Zunahme Heißer Tage und Tropennächte in Hessen und Rheinland-Pfalz. (**Kapitel 2.1**)
- Insbesondere Städte leiden unter der zunehmenden Hitzebelastung und müssen frühzeitig Anpassungsmaßnahmen treffen, um für die Bevölkerung gesunde Lebens- und Arbeitsverhältnisse zu gewährleisten. Dafür müssen Kommunen klimarelevante Belange in den Planungsprozessen berücksichtigen. (**Kapitel 2.2**)
- Die zunehmende Hitzebelastung stellt für die menschliche Gesundheit eine große Herausforderung dar. Insbesondere Personen mit reduzierter Anpassungskapazität (z. B. ältere Personen oder Säuglinge) sind durch Hitzeereignisse besonders gefährdet. (**Kapitel 2.3**)



2.1 Klimawandel: Temperaturanstieg und häufigere Hitzeextreme

Die Anpassung an temperaturbedingte Auswirkungen des Klimawandels gewinnt zunehmend an Bedeutung. Kommunen sind dabei wichtige Akteure, so dass die Bundesregierung in ihrer Nachhaltigkeitsstrategie anstrebt, Städte als Treiber nachhaltiger Entwicklung national und international handlungsfähig zu machen und dabei regionale und lokale Bedingungen sowie daraus resultierende Anforderungen zu berücksichtigen (Bundesregierung 2016). Zudem sind Städte „Hauptbetroffene ökologischer Risiken globaler Entwicklungen und besonders anfällig für die Auswirkungen des Klimawandels“ (Bundesregierung 2016: S. 158).

2.1.1 Aktuelle Veränderungen des Klimas

Seit dem Ende der 1980er Jahre ist in Hessen und Rheinland-Pfalz – basierend auf den seit 1881 vorliegenden Flächendaten des Deutschen Wetterdienstes – eine starke Häufung von Jahren mit weit überdurchschnittlichen Temperaturwerten zu beobachten. So traten in Hessen (HE) und Rheinland-Pfalz (RLP) die im Mittel wärmsten Jahre seit 1881 in den Jahren 2018 (HE: 10,5°C, RLP: 10,8°C), 2014 (HE: 10,3°C, RLP: 10,7°C) und 2015 (HE: 9,9°C, RLP: 10,2°C) auf. Die zehn heißesten Jahre seit Messbeginn traten in beiden Bundesländern seit 1994 auf.

Neben dem Anstieg der Temperaturen sind vor allem **extreme Wetterereignisse** deutlich in Erinnerung geblieben. In Bezug auf **Hitzeextreme** waren dies die **Hitzewellen** in den Sommermonaten der Jahre 2003, 2015 und 2018. So lag in Hessen und Rheinland-Pfalz die Temperatur zwischen Juni und August 2018 mit jeweils 19,6°C um 3,4°C bzw. 3,3°C über dem langjährigen Durchschnitt der Jahre 1961 bis 1990 von 16,2°C bzw. 16,2°C. Ebenso wurde 2018 in Frankfurt am Main mit 18 aufeinanderfolgenden heißen Tagen der im Jahre 1976 aufgestellte Rekord von 16 aufeinanderfolgenden heißen Tagen gebrochen (DWD 2018).

Extremwetterereignisse

Diese Ereignisse zeichnen sich durch seltenes Auftreten am betrachteten Ort und zur gegebenen Zeit aus (Starkniederschläge, Stürme, extreme Hitze, etc.) (Birkmann et al. 2013).

Hitzeextrem

Das Überschreiten einer Temperaturschwelle unabhängig von der Anzahl von Tagen, an denen dies erreicht wird, wird als Hitzeextrem bezeichnet. Für Hessen wurde im Projekt HEAT II anhand der Übersterblichkeit retrospektiv eine Tagesmitteltemperatur von 23°C als Temperaturschwelle ermittelt.

Hitzewelle

Eine Hitzewelle ist das Aufeinanderfolgen mehrerer Tage mit hohem Temperaturmaximum. Es existiert keine einheitliche Definition. Der DWD versteht unter dem Begriff Hitzewelle mindestens drei aufeinander folgende Tage, an denen das Temperaturmaximum über dem 98-Perzentil-Schwellenwert der Referenzperiode von 1961–1990 sowie über 28°C liegt (DWD 2016). Andere Quellen in Deutschland definieren eine Überschreitung der Temperaturschwelle von 30°C an mindestens fünf aufeinander folgenden Tagen als Hitzewelle (GERICS 2012).

Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur

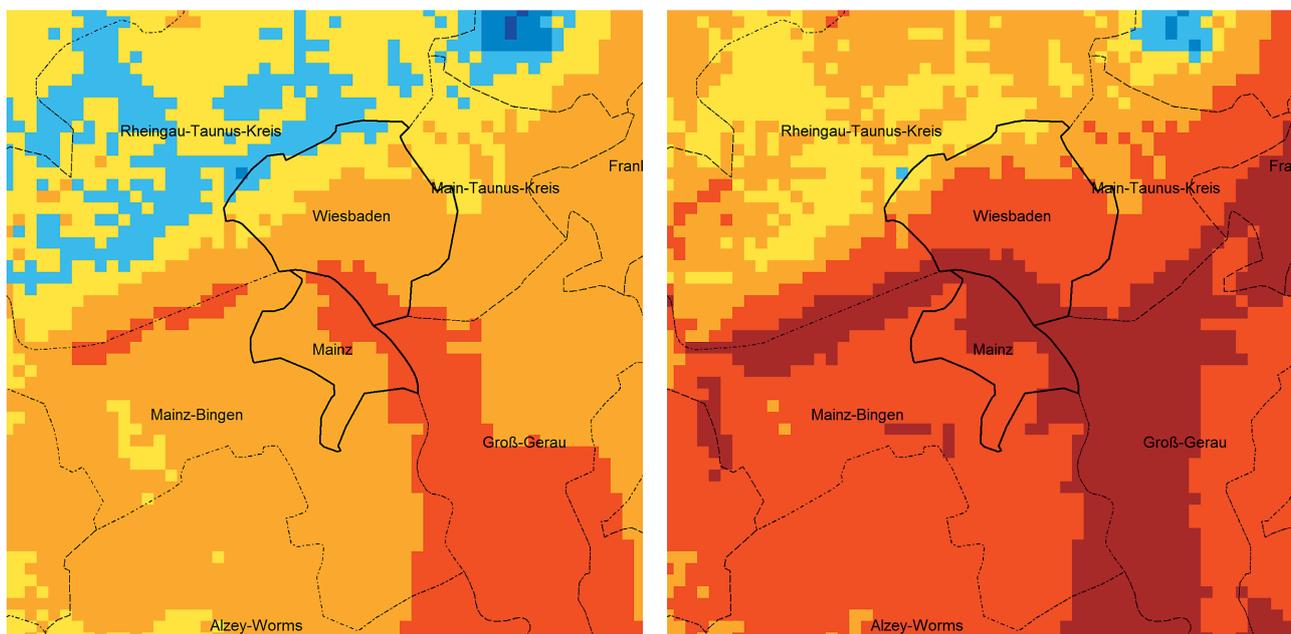
Die Jahre 2014 bis 2018 waren global die fünf wärmsten jemals gemessenen Jahre. Die globale Durchschnittstemperatur ist bisher um circa 1°C gegenüber vorindustriellen Bedingungen angestiegen (IPCC 2018).

Im KLIMPRAX Stadtklima-Projektgebiet liegt der Mittelwert der Jahrestemperatur der 30-jährigen Periode 1989–2018 (10,5°C) inzwischen deutlich über dem Durchschnittswert der Referenzperiode 1961–1990 (9,4°C).

Die mit dem Temperaturanstieg einhergehende räumliche Veränderung der Temperaturverteilung wird für das KLIMPRAX Stadtklima-Projektgebiet Wiesbaden/Mainz sehr anschaulich dargestellt (siehe Abbildung 2). Aufgrund dieser deutlichen Veränderung der Temperaturverteilung wurde untersucht, welcher Anstieg der Temperatur speziell in den Sommermonaten von Juni bis August zu verzeichnen ist.

1961-1990

1989-2018



Jahresmitteltemperatur [°C]



Datenquelle: Deutscher Wetterdienst

Abbildung 2: Jahresmitteltemperaturen in der Klimanormalperiode 1961–1990 sowie der aktuellen 30-jährigen Periode 1989–2018. Das Projektgebiet Wiesbaden/Mainz ist hervorgehoben. (Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 3 zeigt die mittleren Sommertemperaturen im Projektgebiet Wiesbaden/Mainz im Zeitraum von 1881 bis 2018 sowie Kennlinien gemittelter Temperaturwerte für unterschiedliche Zeitperioden. Insgesamt ist seit etwa 1991 ein regelrechter Niveausprung hin zu höheren Sommertemperaturen zu beobachten, der die seit 1881 beobachtete Schwankungsbreite übersteigt.

Ein Vergleich des 30-jährigen Mittels der Temperatur zu unterschiedlichen Zeitperioden zeigt, dass in der letzten Zeitperiode von 1989–2018 (rote Kennlinie) dieser Mittelwert im Vergleich zu den vorherigen Zeitperioden (blaue, grüne, gelbe Kennlinien) durchschnittlich um über 1 °C höher liegt.

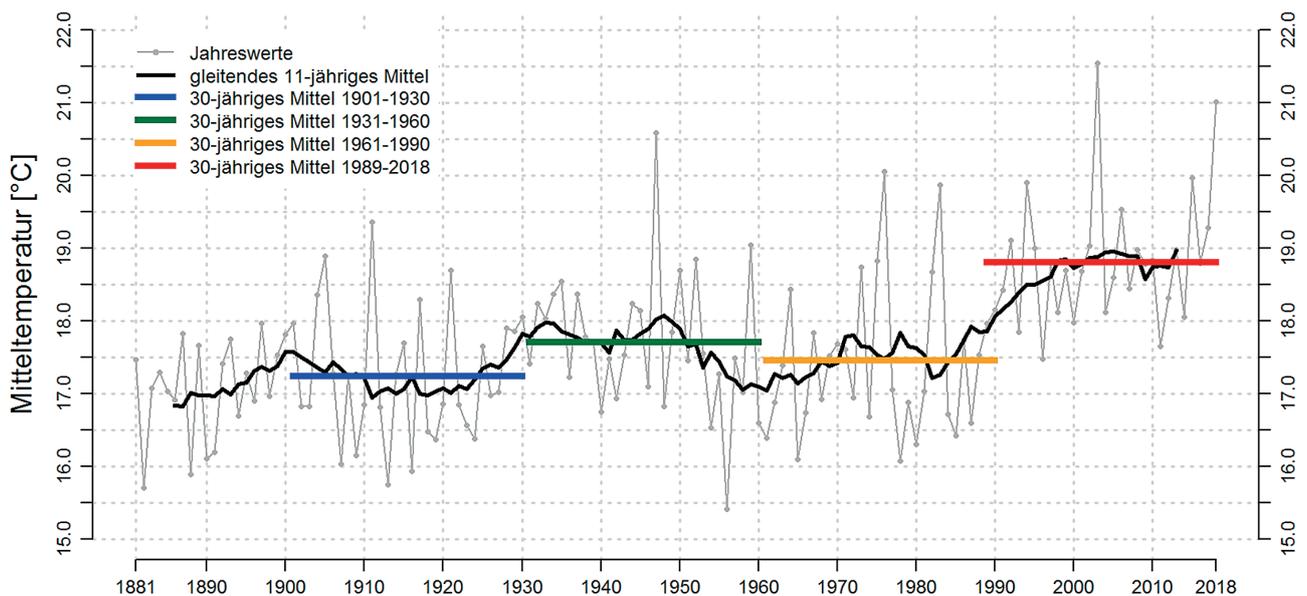
Das hessische **Portal für Wetterextreme** sowie der **Witterungsbericht** stellen die aktuellen Daten übersichtlich und gut verständlich dar.

- Wetterextreme in Hessen:
<https://www.hlnug.de/messwerte/witterungs-und-klimadaten/wetterextreme.html>
- Witterungsbericht Hessen:
<https://www.hlnug.de/messwerte/witterungs-und-klimadaten/witterungsbericht-hessen.html>

Für Rheinland-Pfalz bietet das **Klimawandelinformationssystem** umfangreiche Informationen zu beobachteten und möglichen zukünftigen klimatischen Entwicklungen.

- Klimawandelinformationssystem:
www.kwis-rlp.de

Entwicklung der Mitteltemperatur im meteorologischen Sommer im KLIMPRAX-Projektgebiet Wiesbaden/Mainz im Zeitraum 1881 bis 2018



Datenquelle: Deutscher Wetterdienst

Abbildung 3: Mitteltemperaturen im Sommer (Juni bis August) im KLIMPRAX Stadtklima-Projektgebiet Wiesbaden/Mainz für den Zeitraum 1881–2018 (Quelle: eigene Darstellung)

Dieser Trend des Anstiegs der Temperatur zeigt sich auch im Vergleich der Dekadenmittel verschiedener sommerlicher **Temperaturkenntage**, deren Häufigkeit seit den 1990er Jahren deutlich angestiegen ist.

Tabelle 1 stellt spezielle Kenntage am Beispiel der Klimastationen Frankfurt/Main-Innenstadt und Geisenheim gegenüber. Beide Stationen liegen ca. 20 km von Wiesbaden und Mainz entfernt. Da die klimatologischen Messungen in Wiesbaden und Mainz durch häufige Verlagerungen der Messfelder sowie Datenlücken (Wiesbaden) für diese Betrachtungen nicht geeignet sind, wurden sie alternativ als die nächstgelegenen vergleichbaren Standorte mit hochwertigen Klimainformationen ausgewählt.

Das Klima von Frankfurt/Main ist durch seine Lage im Maintal südöstlich des Taunushauptkamms dem Klima der Region Wiesbaden-Mainz sehr ähnlich. Auch diese beiden am Rhein gelegenen Städte Mainz und Wiesbaden befinden sich in einem weiten Flusstal südwestlich des Taunus und Rheingaugebirges.

Klimatologischer Kenntag:

„... ein Tag, an dem ein **definierter Schwellenwert** eines klimatischen Parameters erreicht beziehungsweise über- oder unterschritten wird ...“

Temperaturkenntage:

Sommertag: „Ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur $\geq 25^\circ\text{C}$ beträgt.“

Heißer Tag (Hitzetag): „Ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur $\geq 30^\circ\text{C}$ beträgt.“

Tropennacht: „Eine Nacht, in der das Minimum der Lufttemperatur $\geq 20^\circ\text{C}$ beträgt.“

(DWD 2016)

Tabelle 1 zeigt auf, dass die Werte der Frankfurter Innenstadt deutlich durch den urbanen Charakter ihrer Umgebung geprägt sind. Geisenheim wiederum befindet sich im Rheintal etwas westlich der Untersuchungsregion, direkt an der Landesgrenze von Hessen und Rheinland-Pfalz. Der Standort repräsentiert eine eher ländlich geprägte Weinbaulandschaft, wie sie im Umland der beiden Städte Wiesbaden und Mainz recht häufig anzutreffen ist.

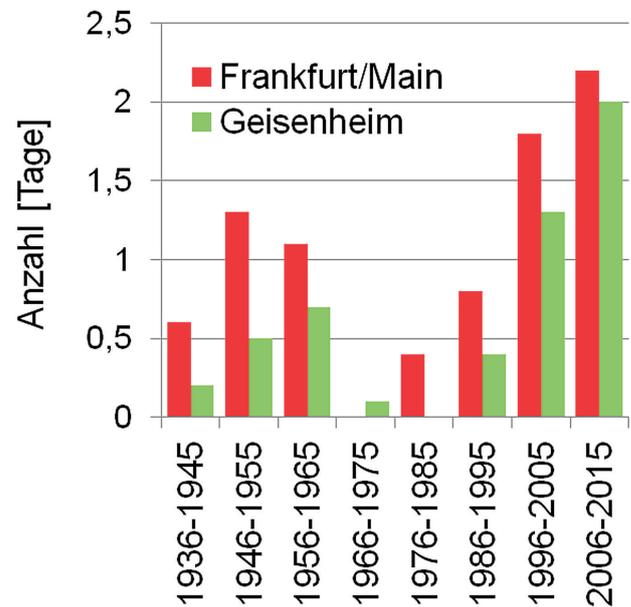
Tabelle 1: Anzahl der Tage (Mittelwerte) verschiedener warmer Temperaturkenntage pro Jahr für Frankfurt/Main-Innenstadt und Geisenheim im Vergleich der Perioden 1961–1990 und 1986–2015 (Quelle: HLNUG 2017a)

Kenntag	Kriterium	Frankfurt/Main-Innenstadt		Geisenheim	
		1961–1990	1986–2015	1961–1990	1986–2015
Sommertage	Max. $\geq 25^\circ\text{C}$	41,2	58,9	39,2	54,0
Heiße Tage	Max. $\geq 30^\circ\text{C}$	8,1	16,1	6,9	13,2
Heiße Tage	Max. $\geq 35^\circ\text{C}$	0,3	1,9	0,1	1,5
Tropische Nächte	Min. $\geq 20^\circ\text{C}$	0,7	3,6	0,5	1,4

Die zunehmende Überschreitung verschiedener Schwellenwerte, die aus dem Vergleich der Daten aus Tabelle 1 geschlussfolgert werden kann, geht mit einer erhöhten Wärmebelastung einher, die stadtplanerisch berücksichtigt werden muss. Insbesondere extrem hohe Tages- und Nachttemperaturen sind dabei problematisch. Diese treten aufgrund der zusätzlichen urbanen Aufheizung in den Großstädten häufiger als im Umland auf, insbesondere **Tropennächte**. In den letzten 20 Jahren stieg sowohl die Anzahl sehr heißer Tage als auch die Anzahl tropischer Nächte an (Abbildung 4).

Trotz ihres eher seltenen Auftretens stellen die angesprochenen Kenntage eine zunehmende Belastung der Bevölkerung dar, insbesondere wenn sie gehäuft an mehreren aufeinanderfolgenden Tagen auftreten. Die Kennzahlen veranschaulichen deutlich die angestiegene Wärmebelastung, der durch Berücksichtigung in planerischen Entscheidungen Rechnung zu tragen ist.

Sehr heiße Tage ($\geq 35^{\circ}\text{C}$)



Tropische Nächte ($\geq 20^{\circ}\text{C}$)

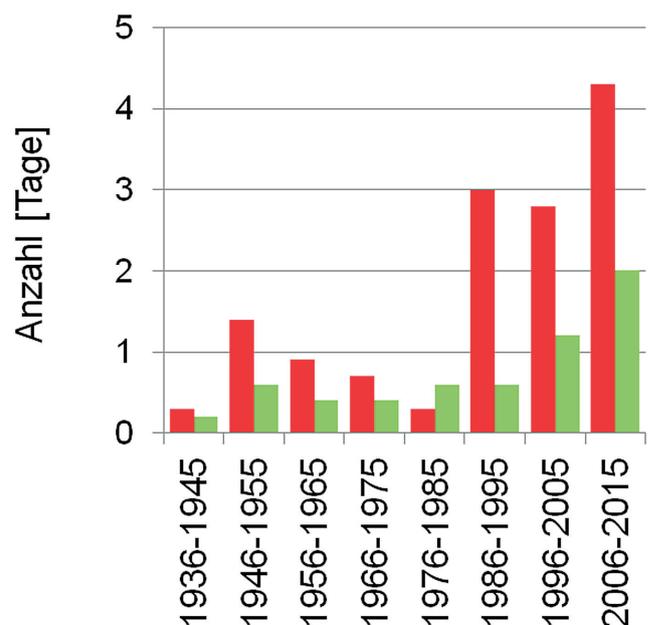


Abbildung 4: Mittlere Häufigkeit von Tagen mit extremer Wärmebelastung (oben) und tropischen Nächten (unten) von 1936–2015 (dekadisch) in Frankfurt/Main-Innenstadt und Geisenheim (Quelle: HLNUG 2017a)

2.1.2 Klimaprojektionen für Hessen und Rheinland-Pfalz

Die betrachteten regionalen Klimaprojektionen zeigen für Hessen und Rheinland-Pfalz für das 21. Jahrhundert eine Fortsetzung des bereits beobachteten Temperaturanstiegs.

Je nach betrachtetem Szenario ergeben sich dabei unterschiedliche Bandbreiten dieser Erwärmung (auf Grundlage einer Vielzahl regionaler **Klimaprojektionen**² mit verschiedenen Kombinationen globaler sowie regionaler Klimamodelle).

Die Durchschnittstemperatur im Gebiet Hessen und Rheinland-Pfalz, selbst bei Einhaltung des 2°C-Zieles (RCP2.6), würde bis zum Ende des 21. Jahrhunderts im Vergleich zur Referenzperiode 1971–2000 um 1°C steigen (Bandbreite : 0,6°C bis 1,7°C) – falls jedoch das Szenario RCP8.5 eintritt, ist gar mit einer Erwärmung von ca. 3,5°C (Bandbreite : 2,7°C bis 4,3°C) zu rechnen. Aus heutiger Sicht extrem warme Sommer wie 2003 und 2018 würden bis zum Ende des 21. Jahrhunderts und unter RCP8.5-Bedingungen als normal bis eher kühl eingestuft werden.

Abbildung 5 zeigt die projizierte Zunahme der Anzahl Heißer Tage für das Gebiet Hessen und Rheinland-Pfalz. Für RCP2.6, hier „Klimaschutz-Szenario“ genannt, ist im Mittel eine Zunahme von 3 Tagen zu erwarten. Die Bandbreite der Ergebnisse der Modellkombinationen liegt jedoch zwischen einer Zunahme von 0 und 7 Tagen. Für das RCP8.5-Szenario, hier „Weiter-wie-bisher-Szenario“ genannt, ist sogar eine Zunahme von durchschnittlich 13 heißen Tagen, bei einer Bandbreite von 5 bis 23 Tagen zu erwarten.

² Da die regionalen Projektionen für die RCP-Szenarien zum Zeitpunkt der Bearbeitung noch nicht verfügbar waren, bezieht sich der vorliegende Handlungsleitfaden auf die älteren IPCC SRES-Szenarien.

IPCC Zukunftsszenarien

Die **RCP's (Representative Concentration Pathways)** sind Zukunftsszenarien, welche auf Grundlage von projizierten Treibhausgas-Emissionen erstellt werden. Gebräuchlich sind folgende RCP's: **2.6, 4.5, 6 und 8.5**, die mögliche zukünftige Emissionsverläufe beschreiben. Das Szenario RCP2.6 geht von einer unmittelbaren und drastischen Treibhausgasreduktion aus. Das Szenario RCP8.5 hingegen geht von einer „weiter wie bisher“-Entwicklung aus. (DKRZ 2016) Mit den RCP-Szenarien wurden die **älteren SRES-Szenarien** (Special Report on Emissions Scenarios) abgelöst (MWKEL 2013).

Die SRES-Szenarien sind in vier Hauptszenarien mit verschiedenen Varianten eingeteilt: A1, A2, B1, B2. A1B repräsentiert dabei eine ökonomisch orientierte, globalisierte Welt, in der eine starke Technologieentwicklung stattfindet und in der sich durch die Globalisierung diese Technologien rasch in weite Teile der Welt verbreiten.

Der angenommene zeitliche Verlauf der Treibhausgas-Emissionen der SRES-Szenarien unterscheidet sich deutlich von dem der RCP-Szenarien. So lag zum Zeitpunkt der Erarbeitung der RCPs im Jahre 2007 der tatsächliche Verlauf der Treibhausgas-Konzentration bereits über den angenommenen Werten der SRES-Szenarien für die erste Dekade des Jahrtausends. Des Weiteren sind explizite Klimaschutzmaßnahmen in den SRES-Szenarien nicht berücksichtigt. Grundsätzlich sind in den RCP-Szenarien mehr und komplexere Klimamodelle integriert.

„Im Vergleich zu Ergebnissen auf Basis des SRES-Szenarios A1B werden voraussichtlich die Änderungssignale auf Basis von RCP2.6, RCP4.5 und RCP6.0 geringer ausfallen und für RCP8.5 höher [...] Die Existenz von drei RCP-Szenarien mit einer geringeren globalen Erwärmung als im Szenario A1B ist keinesfalls als Entwarnung zu verstehen: Die globalen THG-Emissionen müssten stark verringert werden, damit eines der optimistischeren Szenarien (RCP2.6, RCP4.5 oder RCP6.0) eintreten kann.“ (HLNUG 2013: S. 8-9)

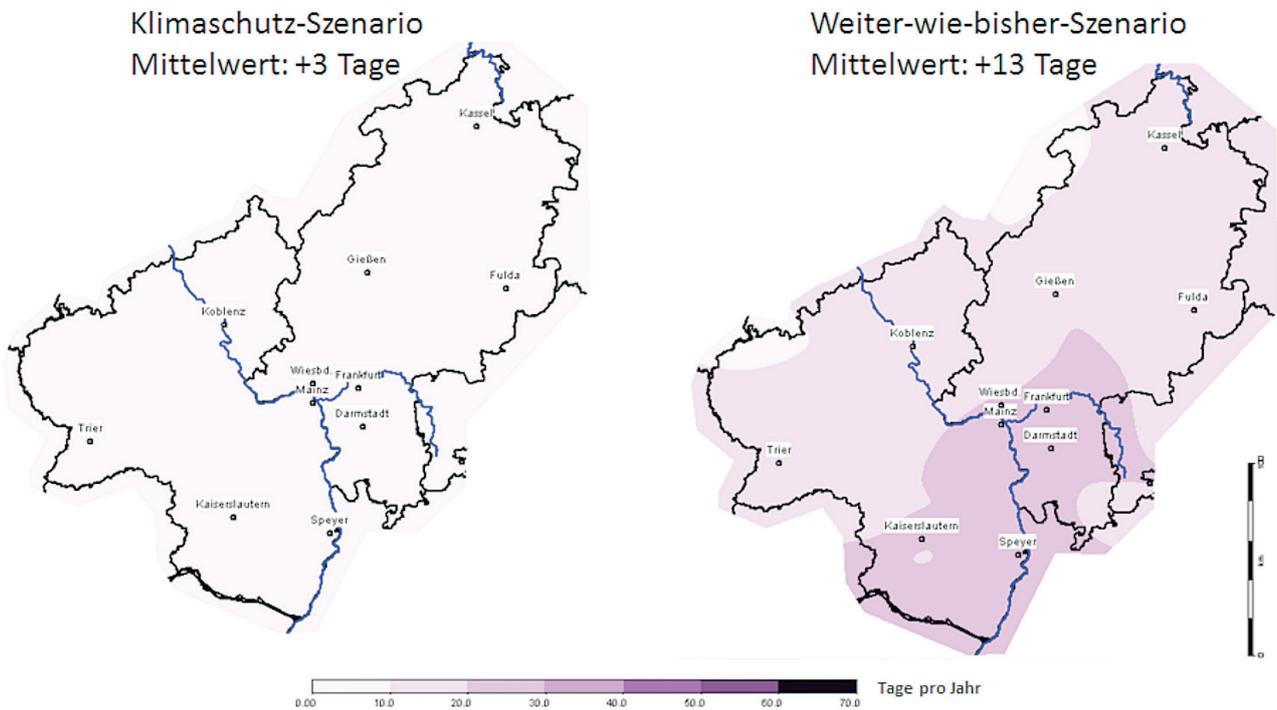
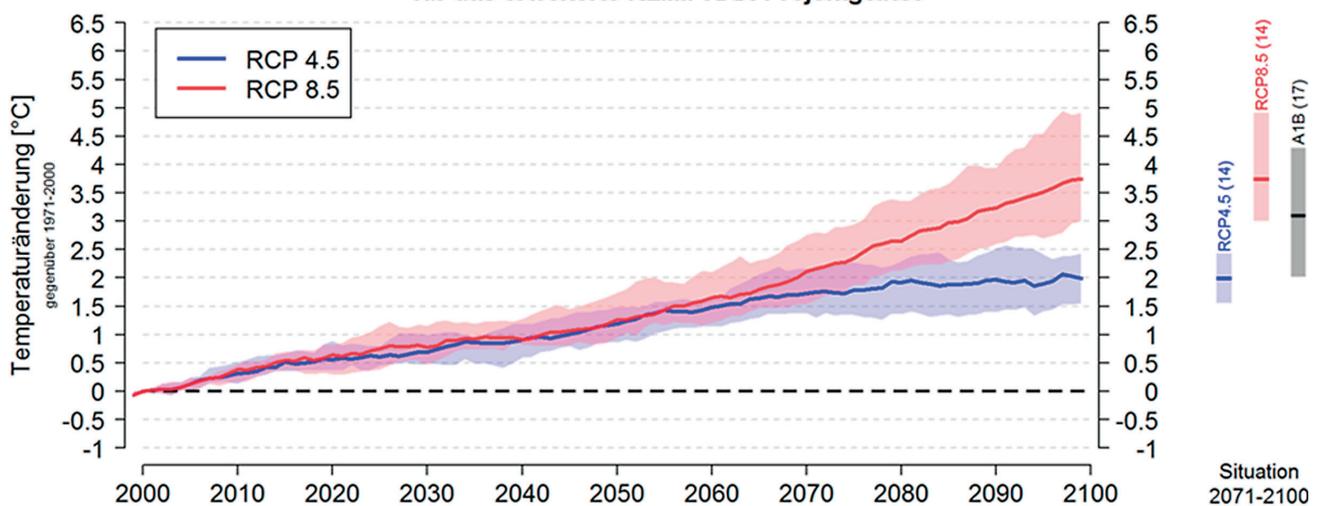


Abbildung 5: Anstieg der Anzahl Heißer Tage pro Jahr (Tageshöchsttemperatur über 30 °C) 2071–2100 im Vergleich zu 1971–2000 für das „Klimaschutz-“ (RCP2.6) und das „Weiter-wie-bisher-Szenario“ (RCP8.5) (Datenquelle: ReklEs-De und EURO-Cordex, Quelle: eigene Darstellung)

Ensemble der Temperaturänderung im meteorologischen Sommer für das erweiterte KLIMPRAX-Projektgebiet



Dargestellt sind gleitende 30-jährige Mittel der Abweichung vom langjährigen Mittel (1971 bis 2000). Als Ensemble bezeichnet man eine Vielzahl von Klimaprojektionen (die Zahl in Klammern gibt die Anzahl an). Die Bandbreite der Klimaprojektionen wird mit Hilfe des 15%- sowie des 85%-Perzentils dargestellt.

Abbildung 6: Projizierte Änderung der mittleren Sommertemperatur für das erweiterte KLIMPRAX-Modellgebiet Wiesbaden/Mainz bis Ende des 21. Jahrhunderts (Quelle: HLNUG 2017a)

Für das Modellgebiet Wiesbaden und Mainz berechnen die Projektionen für das (Mittelwegs-) Szenario RCP4.5 einen weiteren Anstieg der Jahresmitteltemperatur zwischen 1,7°C und 2,6°C bis Ende des 21. Jahrhunderts, die Projektionen für RCP8.5 einen weiteren Anstieg zwischen 3,2°C und 4,5°C (jeweils gegenüber dem Referenzzeitraum 1971–2000 und einer Bandbreite vom 15. bis zum 85. **Perzentil**).

Für den für die Wärmebelastung relevanten meteorologischen Sommer (Juni bis August) zeigen die Projektionen ebenfalls einen Anstieg der Temperatur (siehe Abbildung 6). Die Bandbreiten für das RCP8.5- (3,0–4,9°C) und RCP4.5-Szenario (1,6–2,4°C) unterscheiden sich dabei leicht von denen der Jahresmitteltemperatur.

Perzentil

Ein Perzentil „ist ein Lagemaß aus der Statistik. Durch die Perzentile wird ein der Größe nach **geordneter Datensatz in 100 umfangsgleiche Teile zerlegt**. Diese teilen somit den Datensatz in **1 % Schritte** auf. Das x. Perzentil ist sozusagen ein Schwellenwert innerhalb eines geordneten Datensatzes bei dem x% aller Werte kleiner oder gleich dieses Schwellenwertes sind. Der Rest ist größer. Für das 25. Perzentil bedeutet das zum Beispiel, dass 25% der Werte unterhalb oder gleich dieses Perzentils liegen. Anhand von Perzentilen lässt sich somit ein einzelner Wert einer Datenreihe qualitativ einordnen. Das 50. Perzentil entspricht genau dem Median.“ (Noppel 2017)

2.2 Der Einfluss des Klimawandels auf die Stadtentwicklung

Die Gewährleistung gesunder Lebens- und Arbeitsverhältnisse ist eine wichtige Aufgabe der Stadtplanung. Vor dem Hintergrund negativer Auswirkungen von Hitzeereignissen auf das menschliche Wohlbefinden und die Gesundheit müssen sich Kommunen verstärkt mit den Zusammenhängen zwischen der Veränderung des (Stadt-)Klimas und den spezifischen Effekten in bebauten Bereichen auseinandersetzen. Kommunen müssen daher auf eine Reihe möglicher Folgen vorbereitet sein, wie beispielsweise Schäden an Infrastruktur und Gebäuden, negative gesundheitliche Auswirkungen für Mensch und Tier sowie eine allgemeine Beeinträchtigung des täglichen Lebens. Durch eine rechtzeitige Umsetzung klimawandelangepasster Maßnahmen wie die vorsorgende Umgestaltung oder Anpassung der städtischen Siedlungsräume haben Sie die Möglichkeit, hier proaktiv gegenzusteuern.

Ballungsräume wie das Rhein-Main-Gebiet sind von den Folgen des Klimawandels besonders betroffen: Innerhalb der Stadt wird das lokale Klima u. a. durch eine dichte Bebauung und einen hohen Versiegelungsgrad beeinflusst. Mit steigender Einwohnerzahl nimmt so die Intensität des **Wärmeineleffektes** auch weiter zu: „In Städten mit rund 100.000 Einwohnerinnen und Einwohnern beträgt der Temperaturunterschied zwischen Stadt und Umland bis zu 6 °C, [...]“ (UBA 2015a: S.214). Diese Einflussfaktoren führen zum sogenannten „städtischen Wärmeineleffekt“. Abbildung 7 zeigt auf, in welcher Weise die Bebauung das Stadtklima beeinflusst und zur Bildung einer städtischen Wärmeinsel beiträgt.

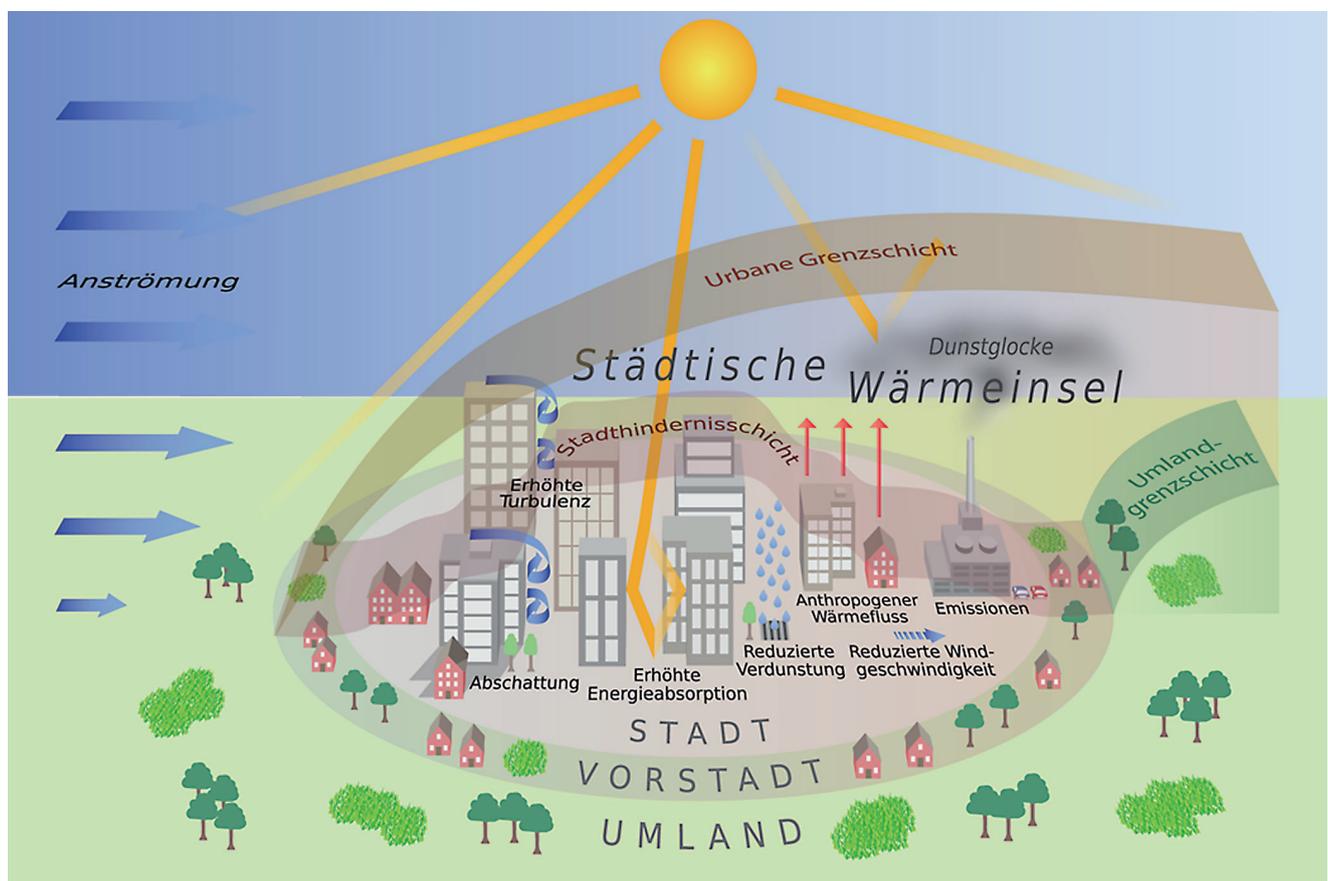


Abbildung 7: Das Stadtklima und dessen Einflussfaktoren (Quelle: DWD o.J.)

Wärmeinseleffekt

beschreibt das Phänomen der höheren Luft- und Oberflächentemperaturen in Siedlungsgebieten im Vergleich zum Umland, auch Hitzeinseleffekt genannt (MKULNV 2011). „Die Ausprägung des Wärmeinseleffekts hängt von der Größe der Stadt, der Bebauungsstruktur sowie der jeweiligen Wetterlage ab. Die höchsten Temperaturdifferenzen ergeben sich bei geringem Wind und hoher Ein- bzw. Ausstrahlung (d. h. geringer Bewölkung). In Städten, die in einer wind-schwachen Region liegen, wird der mittlere Wärmeinseleffekt also z. B. höher sein, als in Städten, in deren Umgebung in der Regel eine relativ hohe Windgeschwindigkeit herrscht (Noppel 2017: S. 70).

In kleinen und mittleren Kommunen in ländlichen Räumen ist ein Wärmeinseleffekt in der Regel nur gering ausgeprägt. Hitzewellen und weitere Folgen des Klimawandels werden in Zukunft dennoch auch kleine und mittlere Kommunen fordern, weswegen eine frühzeitige und umfassende Analyse und Berücksichtigung in kommunalen Prozessen ebenfalls notwendig ist.

Für die Stadtentwicklung können Sie formelle und informelle Verfahren in unterschiedlichen Ausprägungen und Kombinationen nutzen, um negative Auswirkungen des Klimawandels zu vermindern.

Die wichtigsten formellen Instrumente sind die Bauleitplanung (Flächennutzungsplan, Bebauungspläne, Vorhaben- und Erschließungspläne) inklusive der sie begleitenden Landschaftsplanung und die nachfolgenden Baugenehmigungen.

In den Innenstädten bzw. den Orts- und Dorfkernen spielen für die Nachverdichtung auch Genehmigungen gemäß § 34 BauGB (unbeplanter Innenbereich) eine wichtige Rolle. Vorbereitet werden die Inhalte der Bauleitplanung z. B. durch die Aufstellung von Masterplänen, städtebaulichen Entwicklungskonzepten oder auch mit Hilfe städtebaulicher Wettbewerbe (informelle Verfahren) (HLNUG 2017a: S. 12).

Planungsentscheidungen im Hinblick auf Versiegelung, Grünflächenentwicklung, Wasserflächen und Gebäudegestaltung beeinflussen so die konkreten Auswirkungen der Hitzentwicklung in Ihrer Kommune. Sie können mit den entsprechenden Planungsinstrumenten über ausgewählte Maßnahmen negative Auswirkungen des Klimawandels vermindern.

Um hitzeanfällige Bereiche in der Stadt zu entlasten und zudem die städtische Umgebung attraktiver zu gestalten, können so beispielsweise gezielt Grünflächen, Wasserflächen sowie Kalt- und Frischluftschneisen geschützt und entwickelt werden (Bundesregierung 2008).

Vor dem Hintergrund des Klimawandels und dessen Folgen auf kommunaler Ebene kommen auf die kommunale Planung neue Herausforderungen und Steuerungsaufgaben zu. Die Bewältigung des Klimawandels ist eine bereichsübergreifende und querschnittsorientierte Disziplin, die besonders im Hinblick auf die Gewährleistung der Daseinsvorsorge und gleichwertiger Lebensverhältnisse an Bedeutung gewinnt (ARL 2016).

2.3 Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit

Der prognostizierte Temperaturanstieg wird zu höheren gesundheitlichen Belastungen und Risiken führen. Schon heute sind die Auswirkungen von Hitzeperioden auf die menschliche **Gesundheit** erheblich, wie der „Hitzesommer“ 2003 in Europa zeigte.

Allein im August 2003 starben innerhalb eines Zeitraumes von wenigen Wochen etwa 45.000 Menschen in Europa aufgrund von Hitze; in Deutschland stieg die Sterblichkeit in diesem Zeitraum um mehr als 20% (Robine et al. 2007). Für Hessen wurden etwa 1.000 zusätzliche Sterbefälle in einem Zeitraum von drei Wochen ermittelt (Uphoff und Hauri 2005), davon ca. 200 allein in der Stadt Frankfurt (Heudorf und Schade 2014).

Die Untersuchung aus Frankfurt zeigte außerdem, dass insbesondere ältere Menschen, und hier in häuslicher Umgebung gleichermaßen wie in Pflegeheimen wohnende Personen, von der Übersterblichkeit betroffen waren.

In Folge des „Hitzesommers“ wurden eine Vielzahl von Studien durchgeführt, um das gesundheitliche Risiko hoher Umgebungstemperaturen besser einschätzen zu können. In einer umfassenden Untersuchung, die über einen Zeitraum von 1999 bis 2008 sowohl Sterbedaten als auch Krankenhausdaten für ganz Deutschland analysierte, konnte an heißen Tagen eine erhöhte Sterblichkeit von ungefähr 10% in allen Altersgruppen

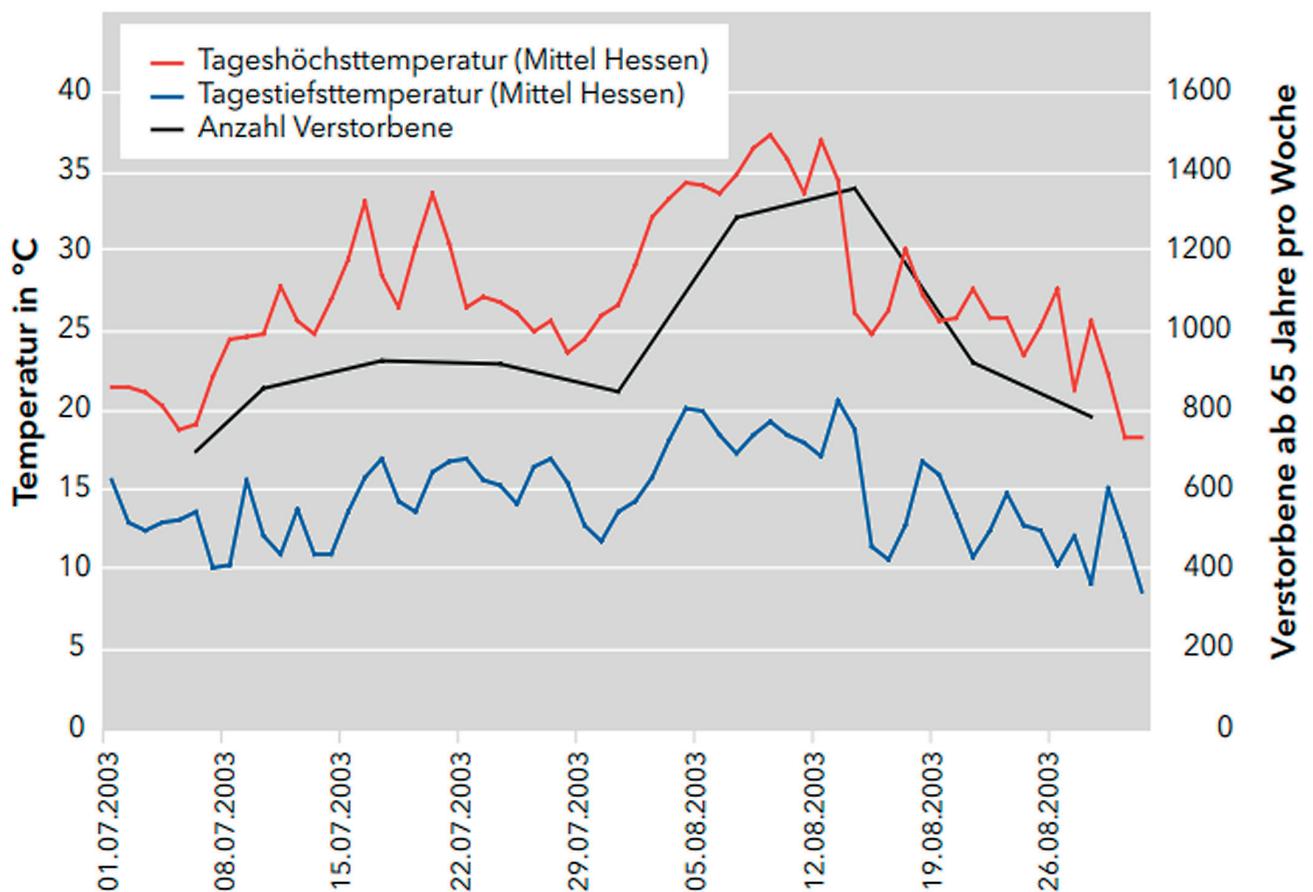


Abbildung 8: Durchschnittliche maximale und minimale Tagestemperatur (Mittel über hessische Stationen) sowie verstorbene ältere Menschen in Hessen, Juli bis August 2003 (Quelle: HLNUG 2018: S. 7)

über 30 Jahre beobachtet werden, während Krankenhauseinlieferungen für dieselben Altersgruppen um 5 % stiegen (Karlsson und Ziebarth 2018).

Abbildung 8 zeigt für Hessen den Verlauf der durchschnittlichen maximalen und minimalen Tagestemperatur im Hitzesommer 2003 sowie die Anzahl verstorbener älterer Menschen auf.

Gesundheit

wird an Mortalität (Anzahl von Todesfällen in einem bestimmten Zeitraum), Morbidität (Anzahl von Krankheitsfällen in einem bestimmten Zeitraum) oder gesundheitsbezogener Lebensqualität (Wohlbefinden und Funktionalität) gemessen. Im Kontext von Hitzeextremen liegen aus methodischen Gründen belastbare Studien vor allem zu Mortalität vor. Mortalität ist zugleich der relevanteste Endpunkt menschlicher Gesundheit. Morbiditätsrisiken werden an einzelnen Erkrankungen bestimmt, bislang meist nicht in der Summe.

Exposition

Das Ausmaß, in dem ein Mensch einer bestimmten Gesundheitsbelastung ausgesetzt ist, wird als Exposition bezeichnet. Die Exposition eines Menschen gegenüber Hitze im Kontext des Klimawandels ist abhängig vom Eintreffen eines Hitzeextremwetterereignisses, der Intensität und Dauer, der Intensität, mit der das Hitzeextrem eine bestimmte Region betrifft, von dem genauen Ort, an dem sich der Mensch während des Ereignisses überwiegend aufhält, ggf. vom thermischen Verhalten des Gebäudes, des bewohnten bzw. genutzten Gebäudes.

Unter Exposition werden in den Gesundheitswissenschaften damit prinzipiell Faktoren zusammengefasst, die dem klimatischen Einfluss und seinem räumlichen Vorkommen zuzuordnen sind, zum Teil aber auch der Sensitivität gegenüber dem Hitzeereignis und der Anpassungsfähigkeit von Individuen.

Zur besseren Klarheit wird im Rahmen von KLIMPRAX Stadtklima die Exposition als das Eintreten eines Hitzeereignisses in einer Region verstanden, also die Kombination von klimatischen Einfluss und räumlichen Vorkommen des Ereignisses, d. h. dem Ausmaß, in dem ein Hitzeereignis eine Stadt betrifft.

Risikogruppen

Personen mit veränderter Anpassungskapazität sind aufgrund körperlicher und geistiger Einschränkungen durch Hitzeereignisse gefährdet. Dies betrifft insbesondere:

- ältere Personen
- pflegebedürftige Personen
- Säuglinge und Kleinkinder im Alter unter vier Jahren
- Personen mit Erinnerungslücken oder Gedächtnisstörungen, mit Verständnis- oder Orientierungsschwierigkeiten und Personen, die für ihre täglichen Verrichtungen auf die Hilfe anderer angewiesen sind
- Personen unter bestimmter medikamentöser Behandlung (Beruhigungsmittel, Antidepressiva, psychotrop wirkende Medikamente, Anticholinergika, Diuretika, verschiedene blutdrucksenkende Medikamente)
- chronisch Kranke (z.B. mit Herz-Kreislauf-Krankheiten, zerebrovaskulären Krankheiten, starkem Übergewicht, Unterernährung, Diabetes mellitus, M. Parkinson, respiratorischer Insuffizienz, Niereninsuffizienz, peripheren Gefäßkrankheiten, M. Alzheimer)
- Personen mit fieberhaften Erkrankungen
- Konsumenten von psychoaktiv wirkenden Drogen und Alkohol
- Personen mit anamnestisch bekannten Störungen der Hitzeadaptation.

Auch bestimmte Lebens- und Arbeitsbedingungen verstärken mit der Hitze verbundene Gesundheitsrisiken, wie z.B.

- Fehlen eines Belüftungssystems im Wohn- oder Arbeitsumfeld
- schwer zu kühlende bzw. zu belüftende Wohnumgebungen (oberstes Stockwerk, Mansardenwohnung, Flachdach, große Glasfenster, schlechte Isolierung)
- intensiv ausgeübter Sport
- anstrengende körperliche Arbeit (im Freien, auf Baustellen usw.)
- Arbeiten, bei denen Wärme freigesetzt wird (Hochofen, Bügeln, Backofen u. ä.)
- soziale Isolation und Vereinsamung.

Zwei Faktoren tragen zusätzlich dazu bei, dass Kommunen die menschliche Gesundheit während Hitzewellen besonders im Auge behalten sollten:

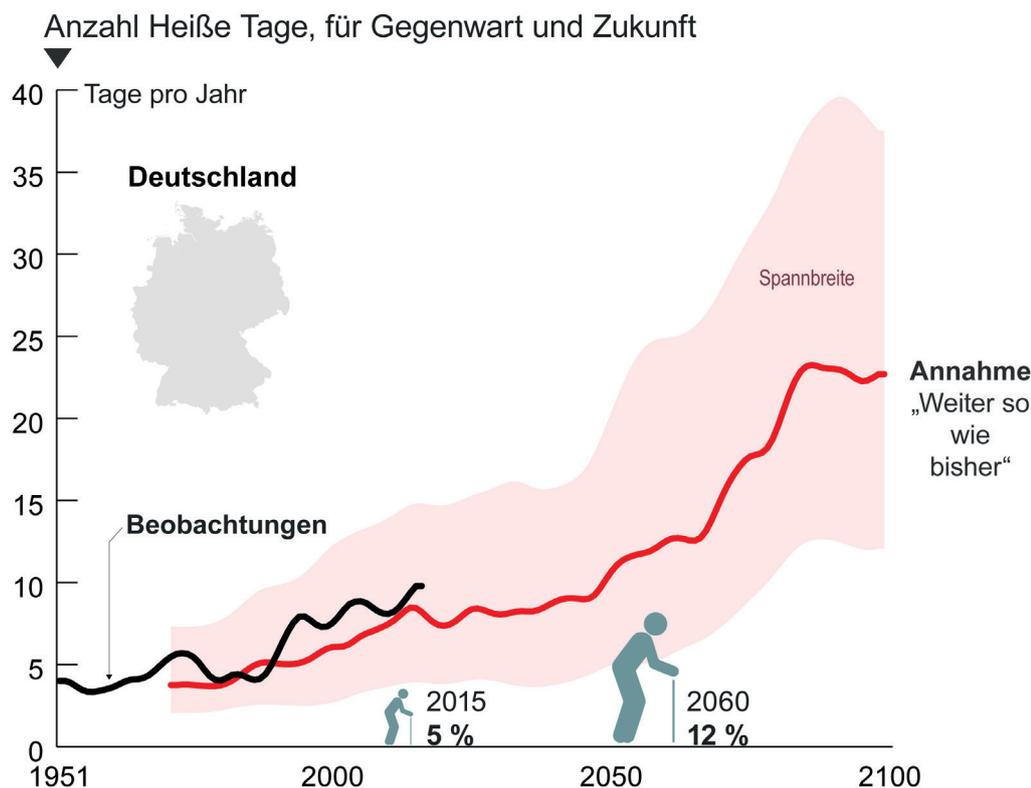
Einerseits steigt bis 2060 der projizierte Anteil an über 80-Jährigen in Deutschland von 5% auf 12% der Gesamtbevölkerung – über ein Zehntel der Gesamtbevölkerung wäre dann im Falle von Hitzewellen besonders gefährdet.

Andererseits wohnen heute über 75 % der deutschen Bevölkerung in Städten. In Hessen sind bereits über 80 % der Bevölkerung in mittel bis dicht besiedelten Gebieten wohnhaft (Statistisches Bundesamt 2018).

Dieser Trend zur Verstärkung nimmt nach wie vor zu, was dazu führt, dass ein signifikanter Anteil der Bevölkerung verstärkt von Hitze und den damit einhergehenden gesundheitlichen Konsequenzen betroffen sein wird.

Abbildung 9 „zeigt die Entwicklung der Anzahl der heißen Tage (T_{max} mindestens 30°C) pro Jahr gemäß den Beobachtungen im Zeitraum 1951–2016 (schwarz) sowie auf Basis eines Zukunftsszenarios“ (DWD 2017a). Die rote Kurve basiert auf dem RCP8.5-Szenario. Zusätzlich ist der Bevölkerungsanteil der über 80-Jährigen eingetragen.

Steigende Hitzebelastung für über 80-Jährige



Die Grafik zeigt die Entwicklung der Anzahl der heißen Tage mit einer Höchsttemperatur von mindestens 30°C pro Jahr gemäß den Beobachtungen im Zeitraum 1951-2016 (schwarz) sowie auf Basis zweier unterschiedlicher Zukunftsszenarien. Die rote Kurve beruht dabei auf den Auswertungen von insgesamt 14 Klimaprojektionen unter der Annahme eines ungebremsen Treibhausgasausstoßes bis zum Ende des 21. Jahrhunderts (RCP-Szenario 8.5 „Weiter so wie bisher“).

www.dwd.de/klima | Quelle: DWD, Statistisches Bundesamt

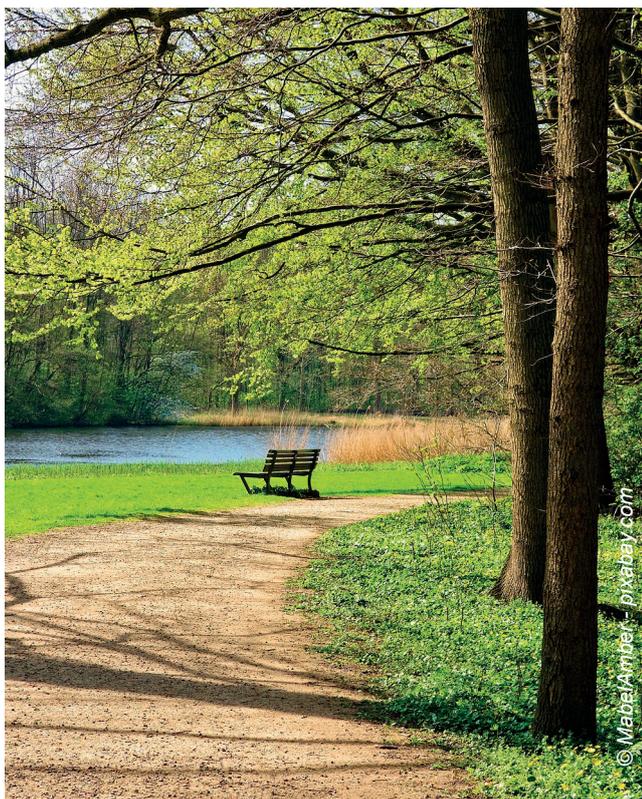
Abbildung 9: Steigende Hitzebelastung für über 80-Jährige (Quelle: DWD 2017a, modifiziert)

3 Voraussetzungen für eine erfolgreiche Einbeziehung der Anpassung an den Klimawandel in Planungsprozessen

Kapitel 3 greift aktualisierte Inhalte des Leitfadens für Kommunen („Anforderungen an die Berücksichtigung klimarelevanter Belange in kommunalen Planungsprozessen“ (HLNUG 2017a)) auf. Das Kapitel zielt darauf ab, Sie als Kommune zu unterstützen, die erforderlichen Voraussetzungen zu schaffen, um die **Anpassungskapazität** innerhalb Ihrer Kommune zu verbessern.

Der Leitfaden für Kommunen (HLNUG 2017a) enthält Empfehlungen für vier Handlungsfelder mit vielen Fallbeispielen.

Neben ausführlichen Hinweisen stehen Ihnen dort auch Steckbriefe zur Verfügung, die die Informationen übersichtlich und kurz zusammenfassen. Die Steckbriefe beinhalten zusätzliche Informationen wie Kurzbeschreibungen, Zeithorizonte der Maßnahmen oder Relevanz der Maßnahmen für Kommunen unterschiedlicher Größe.



© MabelAmber - praxibay.com

Anpassungskapazität

Mit Anpassungskapazität wird allgemein „... das Potenzial bzw. die Fähigkeit einer [...] Kommune [beschrieben], strategisch auf externe Veränderungen reagieren zu können. Dies schließt sowohl die Fähigkeit zu einer reaktiven Anpassung wie auch zur antizipativen Vorsorge mit ein.“ (UBA 2016: S. 42)

Weitere Informationen

Verweise auf explizite Handlungsempfehlungen, die im Leitfaden für Kommunen (HLNUG 2017a) in **Steckbriefen** (siehe unten) übersichtlich zusammengefasst sind, finden Sie jeweils in den **grünen Boxen**.

The image shows three overlapping fact sheets (Steckbriefe) from HLNUG and INFRASTRUKTUR & UMWELT. Each sheet contains information about a specific climate adaptation measure, including its title, goals, and implementation status. The sheets are partially overlapping, showing different sections of the documents.

Kapitelüberblick für den schnellen Leser:

Vier Handlungsfelder sind für eine erfolgreiche Implementierung der Anpassung an den Klimawandel in kommunale Planungsprozesse entscheidend:

1. Wahrnehmung der Betroffenheit und Motivation zum Handeln in Politik und Verwaltung (Kapitel 3.1):

Wie können wir ein Bewusstsein dafür schaffen, dass Anpassung an den Klimawandel erforderlich ist und die Politik und Verwaltung dazu motivieren, sich mit dem Thema zu beschäftigen?

Um die Anpassung an den Klimawandel in kommunalen Planungsprozessen zu etablieren, müssen Politik und die kommunale Verwaltung die lokale Betroffenheit wahrnehmen. Alle Ebenen der Politik und Verwaltung sollen motiviert werden, die Anpassung an den Klimawandel mit hoher Priorität zu behandeln und zu unterstützen.

2. Kenntnisse zum Klimawandel und seinen lokalen Folgen (Kapitel 3.2):

Welche fachlichen Grundlagen benötigen wir als Kommune?

Das Wissen über den Klimawandel und seine lokalen Folgen bilden die Basis, um die Anpassung an den Klimawandel in kommunale Planungsprozesse zu integrieren. Dazu müssen diese Kenntnisse in der Kommune aufgearbeitet und bereitgestellt werden.

3. Einbettung des Themas in kommunale Entwicklungsstrategien, Gewichtung und Verknüpfung mit weiteren relevanten Themen (Kapitel 3.3):

Wie können wir Synergien für die Arbeit in der Verwaltung nutzen?

Eine Einbettung der Anpassung an den Klimawandel in bereits existierende und neue Strategien oder Aufgaben hat das Potenzial, Synergien zu schaffen und die Effizienz zu erhöhen.

4. Kooperation und Koordination innerhalb der kommunalen Verwaltung und mit weiteren Akteuren innerhalb der Planungsprozesse (Kapitel 3.4):

Wer sollte mit wem kooperieren?

Die Kooperation und Koordination unter den verwaltungsinternen Akteuren und der Politik, sowie mit Dritten (Bauherren, Architekten etc.) erleichtert die erfolgreiche Einbeziehung der Anpassung an den Klimawandel in die kommunalen Planungsprozesse.

3.1 Wahrnehmung der Betroffenheit und Motivation zum Handeln in Politik und Verwaltung

Der Klimawandel ist inzwischen nahezu täglich ein Thema in den Medien. Berichte über extreme Wetterereignisse und Hitzeperioden in Deutschland, Europa und anderen Regionen werden meist durch Experten detailliert kommentiert und dabei der Zusammenhang zum globalen Klimawandel erläutert. Die Bestürzung über die oft verheerenden Folgen solcher Ereignisse ist allgemein groß. Aber solange es in einer Kommune oder Region kein entsprechendes Ereignis gab, fühlen sich Politik und Verwaltungen nicht direkt betroffen.

Der Klimawandel ist für sie ein Problem, das andere haben. Gute fachliche Grundlagen zum lokalen **Klima** und dessen Veränderungen sowie Forschungsprojekte und Modellvorhaben können hier eine Auseinandersetzung mit den lokalen Folgen des Klimawandels anstoßen (siehe **Kapitel 3.2**; UBA 2015b: S. 24 ff.).

Einige Städte wie z.B. die Kurstadt Wiesbaden oder Stuttgart beschäftigen sich aufgrund ihrer besonderen Lage oder Funktion schon sehr lange mit der lokalen klimatischen Situation. Wenn in der Kommune eine solche „Tradition“ der Beschäftigung mit der lokalen klimatischen Situation existiert, ist es wichtig, dieses Bewusstsein für die Bedeutung der klimatischen Funktionen und ihrer Veränderungen wachzuhalten und langjährige Erfahrungen weiterhin zu nutzen.

Klima

Das Klima „ist definiert als die Zusammenfassung der Wettererscheinungen, die den mittleren Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort oder in einem mehr oder weniger großen Gebiet charakterisieren. Es wird repräsentiert durch die statistischen Gesamteigenschaften (Mittelwerte, Extremwerte, Häufigkeiten, Andauerwerte u.a.) über einen genügend langen Zeitraum. Im Allgemeinen wird ein Zeitraum von 30 Jahren zugrunde gelegt, die sog. Normalperiode, es sind aber durchaus auch kürzere Zeitabschnitte gebräuchlich.“ (DWD 2016)

Mit folgenden Maßnahmen können Sie in Ihrer Kommune die Wahrnehmung der Betroffenheit und Aktivierung unterschiedlichster Personen aus Politik und Verwaltung fördern.

Aktive Unterstützung durch die Führungsebene schafft strukturelle Durchsetzungsfähigkeit

In der Kommunalpolitik oder -verwaltung ist der Klimawandel ein Thema unter vielen, das im Gesamtkontext der aktuellen Herausforderungen und der kommunalen Entwicklungsstrategie zunächst positioniert werden muss (Agendasetting). Entscheidend ist, dass Schlüsselpersonen und Motivatoren (Treiber) aus dem Kreis Ihrer Verwaltung das Thema aufgreifen und innerhalb der städtischen Diskurse vertreten (UBA 2015b: S. 28). Um dieses Thema langfristig in Ihrem Verwaltungsalltag zu etablieren, ist die Unterstützung der Führungsebenen in Verwaltung und Politik maßgeblich.

Die Personen der Führungsebene schaffen das Umfeld für einen aufgeschlossenen und kreativen Umgang der Verwaltung mit zukünftigen Herausforderungen, damit ein neues Thema angenommen wird, Vorgaben und Ziele formuliert werden und Handlungsstrategien der Verwaltung vorbereitet werden (Apfel et al. 2012).

In manchen Städten werden Ansprechpersonen benannt, die diese Rolle im Rahmen der übrigen Tätigkeiten ausfüllen. In anderen Städten wird die Rolle der Ansprechpersonen und die Zusammenarbeit in der Verwaltung zu diesem Thema stärker institutionalisiert, z.B. mit der Einrichtung einer Stabsstelle oder der Zuordnung des Themas zu einer Dezernatsleitung.

Eine Institutionalisierung ist insbesondere für größere Kommunen hilfreich. In kleinen Kommunen hingegen bestehen „... häufig kurze Wege zwischen den betroffenen Verwaltungsakteuren, die durch eine Institutionalisierung eher gelähmt werden könnten“ (UBA 2015b: S. 37).

Weitere Informationen zu dieser Maßnahme

Steckbrief 5.1-01: Etablierung eines zentralen Ansprechpartners innerhalb der Verwaltung zum Thema Stadtklima und Anpassung an den Klimawandel

(Quelle: HLNUG 2017a: S. 46)

Politische Vorgaben zur Orientierung der Verwaltung festlegen

Es gibt bisher nur wenige handlungsleitende Vorgaben zur Anpassung an den Klimawandel in Form von Gesetzen, Verordnungen, Erlassen oder einer Rechtsprechung für die Verwaltung. Für eine möglichst ebenen- und ressortübergreifende Zusammenarbeit sind daher entsprechende politische Beschlüsse von hoher Bedeutung, da durch solche Beschlüsse die Verwaltung eine Legitimation und verbindliche Regeln zum Handeln erhält.

Auch für die Gewichtung der Belange, die sich aus den Folgen des Klimawandels ergeben (z. B. innerhalb der Bauleitplanung), sind politische Beschlüsse ggf. richtungsweisend. Für viele Umweltgüter wird dies durch technische Regeln, Normen und Grenzwerte unterstützt.

Für die Frage nach einem erforderlichen Maß der Anpassung an den Klimawandel fehlen solche Orientierungswerte – als Kommune müssen Sie sich also mit den lokalen Begebenheiten auseinandersetzen, um eine Gewichtung der Belange zu erzielen. Mithilfe dieser Gewichtung sind Sie in der Lage, relevante Ziele zu definieren.

Weitere Informationen zu dieser Maßnahme

Steckbrief 5.1-02: Politischer Beschluss zur Berücksichtigung von Klimabelangen inklusive der Anpassung an den Klimawandel in der Planung

(Quelle: HLNUG 2017a: S. 47)

Klimaprojektionen

Für die Analyse der Auswirkungen der menschlichen Aktivitäten auf das Klima der Erde werden Klimamodelle [...] genutzt. [...] Möchte man Aussagen über die Zukunft, z. B. die nächsten 100 Jahre, machen, so benötigen die Klimamodelle angenommene Vorgaben („Szenarien“). [...] Diese beruhen auf Annahmen über zukünftige gesellschaftliche und technologische Entwicklungen, die mit erheblichen Unsicherheiten verbunden sind. Man spricht deshalb nicht von Klimaprognosen, sondern von Klimaprojektionen.“ (Noppel 2017)

Aktive Auseinandersetzung mit dem „eigenen Bezug“ zum Thema in allen Fachbereichen

Für eine erfolgreiche Berücksichtigung der Anpassung an den Klimawandel in Planungsverfahren kommt es auf das Zusammenspiel der verschiedenen Bereiche in Ihrer Verwaltung an, weshalb der fachlich inhaltliche Bezug aller Fachbereiche zu der Thematik verdeutlicht werden muss.

Vorgaben und Grundlagen der regionalen Ebene und der Landesebene zu den Folgen des Klimawandels beeinflussen das Bewusstsein für dieses Thema und die Motivation, sich damit innerhalb der kommunalen Verwaltung auseinanderzusetzen. Zu nennen sind hier die Anpassungsstrategie des Bundeslandes Hessen (HMUELV 2012) und der „Integrierte Klimaschutzplan 2025“ (HMUKLV 2017) sowie der Klimawandelbericht des Bundeslandes Rheinland-Pfalz (MWKEL 2013), in denen die Rolle der Kommunen auf politischer, fachlicher und kommunikativer Ebene beschrieben wird.

Auf Basis einer Auswertung regionaler **Klimaprojektionen** können die möglichen Folgen des Klimawandels für Ihre Kommune ermittelt werden und anhand betroffener Handlungsfelder und Wirkungsketten die Berührungspunkte der einzelnen Fachbereiche innerhalb Ihrer Kommune ausgemacht werden. Aufgabe der Fachbereiche ist es, die möglichen Klimafolgen und notwendige Maßnahmen zur Anpassung in den Planungsprozessen im Blick zu haben und zu vertreten.

So ergeben sich durch das Thema „Hitze in der Stadt“ unter anderem Bezüge zur Freiraumplanung (Durchgrünung, Beschattung, Frischluft), zum Hochbau (Planung und Gestaltung öffentlicher Gebäude) oder zur Gebäudewirtschaft (Nutzung/Komfort in öffentlichen Gebäuden).

Weitere Informationen zu dieser Maßnahme

Steckbrief 5.1-03: Aufzeigen der fachlichen Bezüge der einzelnen Verwaltungsbereiche zum Thema Klimawandel

(Quelle: HLNUG 2017a: S. 48)

Steckbrief 5.1-04: Organisation des fachlichen Austausches zwischen den Fachbereichen

(Quelle: HLNUG 2017a: S. 49)

3.2 Kenntnisse zum Klimawandel und zu dessen lokalen Folgen

Um neue Themen in die Verwaltungsarbeit und in Planungsprozesse zu integrieren, ist ein verwaltungsinternes Management von Informationen über Zusammenhänge und Prozesse des Klimawandels und dessen Folgen notwendig. Damit die Erfassung und Bearbeitung der Thematik innerhalb von Planungsverfahren möglich wird, müssen zuvor fachliche Grundlagen zu den regionalen und lokalen Auswirkungen des Klimawandels erstellt und verfügbar gemacht werden.

Gute fachliche Grundlagen haben eine große Bedeutung, um in Planungsprozessen und Abwägungsverfahren die stadtklimatischen Belange nachdrücklich zu vertreten. In **Kapitel 4 und 5** wird diese Thematik vertieft behandelt; insbesondere **Kapitel 5** stellt praxisrelevante Ansätze und Umsetzungsvorschläge vor.

Folgende vier Ansätze können dazu von den Kommunen verfolgt werden, welche nachfolgend erläutert sind:

Grundlagen zu lokalen Effekten und möglichen Folgen des Klimawandels aufbauen

„Neue Themen brauchen Zeit, um sich in Verwaltungen zu etablieren (Apfel et al. 2012: S. 9). Ein allgemeines Grundwissen über mögliche Folgen des Klimawandels, insbesondere im Bereich der Extremereignisse, ist inzwischen relativ verbreitet.

Wichtig für die konkrete Umsetzung in der Kommune ist die fachliche Aufbereitung der Zusammenhänge und Prozesse vor Ort, z. B. welche Faktoren lokal zum Entstehen von Wärmeinseln beitragen und welche Stadtteile und Quartiere davon betroffen sein können. Die entsprechenden Daten und Informationen werden in der Regel zunächst in den zuständigen Fachämtern aufbereitet und aufgebaut. Um die Folgen des Klimawandels besser einschätzen zu können, helfen regionale Klimaprojektionen, wie sie z. B. durch den DWD (siehe **Kapitel 4**) oder auch durch die entsprechenden Landesbehörden in den einzelnen Bundesländern zur Verfügung gestellt werden.

Die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Faktoren sind komplex. In Städten wirken Topographie, Bebauung und Grünflächen kleinräumig auf die klimatischen Bedingungen, es entstehen sehr spezifische **lokalklimatische Verhältnisse**. Eine Erhebung und Analyse dieser Verhältnisse ist beispielsweise mit Hilfe von Temperaturfahrten oder Thermalbefliegungen möglich. Die thermischen Verhältnisse innerhalb einer Stadt, Luftströmungen und **bioklimatische** Bedingungen wie auch das lokale Abflussverhalten lassen sich unter anderem in Form von Klimafunktionskarten auf Basis stadtklimatologischer Gutachten darstellen. Dabei werden den Räumen bestimmte klimatische Funktionen anhand sogenannter **Klimatop** zugeordnet (siehe **Baustein 1.6.3, Kapitel 5**).

Lokalklima

Das **Klima an einem konkreten Ort** wird als Lokalklima bezeichnet. Es ist eingebettet in das Regional Klima und wird zusätzlich durch Relief und Flächennutzung in der näheren Umgebung des Ortes bestimmt (DWD 2016).

Bioklima

Das Bioklima beschreibt „die Gesamtheit aller atmosphärischen Einflussgrößen auf den menschlichen Organismus. Entsprechend ihrer Ausprägung und Wirkung werden sie als belastend, schonend oder als Reiz empfunden“ (DWD 2016).

Klimatop

Nach VDI bezeichnen Klimatop die „**klimatische räumliche Einteilung** von Gebieten mit ähnlichen mikroklimatischen Ausprägungen hinsichtlich des thermischen Tagesgangs, der durch Bodenrauigkeitsänderungen bedingten Windfeldstörungen, der topografischen Lage und/oder Exposition sowie der Art der realen Flächennutzung.“

Klimamodelle

„Für die **Analyse** der Auswirkungen der menschlichen Aktivitäten auf das Klima der Erde werden Klimamodelle [...] genutzt. [...] Mit ihnen können die beobachteten Änderungen des Klimas in der Erdgeschichte analysiert und nachvollzogen werden.“ (Noppel 2017) Klimamodelle unterscheiden sich unter anderem nach ihrer Maßstabsebene. Es gibt **mikroskalige, meso-skalige, regionale** und **globale** Klimamodelle.

Im Rahmen von KLIMPRAX Stadtklima werden meso-skalige Klimamodelle betrachtet und ihre Ergebnisse in die kommunale Planungspraxis übersetzt.

Verschiedene Institutionen führen Modellierungen der Wirkung unterschiedlicher Baustrukturen durch und bieten Simulationen mit hochauflösenden **Stadtklimamodellen** (z. B. MUKLIMO_3, FITNAH) für die Erstellung lokaler Klimakarten an.

Vor allem kleinere Kommunen haben aber in der Regel nicht die Möglichkeiten, eigene lokale Klimamodellsimulationen durchzuführen und sind auf die regionalen Auswertungen Dritter angewiesen.

Für diese kann ein Zusammenschluss mit Nachbarkommunen oder auch innerhalb eines Landkreises hilfreich sein, um gemeinsam die regionalen Klimaprojektionen und Klimadaten auszuwerten bzw. auswerten zu lassen beispielsweise im Rahmen der Aufstellung einer gemeinsamen Anpassungsstrategie.

Weitere Informationen zu dieser Maßnahme

Steckbrief 5.2-01: Auswertung regionaler Klimaprojektionen für die lokale Entwicklung des Klimas in der Zukunft

(Quelle: HLNUG 2017a: S. 50)

Steckbrief 5.2-02: Simulation des heutigen Stadtklimas mit Stadtklimamodellen

(Quelle: HLNUG 2017a: S. 51)

Steckbrief 5.2-03: Erstellung einer Klimafunktionskarte zur Unterstützung der systematischen Berücksichtigung stadtklimatischer Aspekte in Bauleitplänen

(Quelle: HLNUG 2017a: S. 52)

Steckbrief 5.2-04: Erstellung einer Planungshinweiskarte „Klima“ zur Unterstützung der systematischen Berücksichtigung stadtklimatischer Aspekte

(Quelle: HLNUG 2017a: S. 53)

Aufbereitung und Vermittlung der Ansatzpunkte und Handlungsmöglichkeiten in der Kommune

Damit die vorhandenen Informationen in Planungsprozesse innerhalb Ihrer Kommune einfließen können, müssen diese in einer für die Handelnden (Planer, Personen mit Entscheidungsbefugnis, etc.) verständlichen Form aufbereitet und zur Verfügung gestellt werden. Diese Aufbereitung sollte für das gesamte Gebiet der Kommune z. B. im Zusammenhang mit dem Flächennutzungsplan (z. B. Teilkarte „Klima“) oder im Rahmen der Landschaftsplanung (z. B. **Analyse der Klimafunktionen**) durchgeführt werden.

Klimaanalysekarte

„Ist eine Karte, die die **räumlichen Klimaeigenschaften** wie thermische, dynamische sowie luft-hygienische Verhältnisse einer Bezugsfläche darstellt, die sich aufgrund der Flächennutzung und Topografie einstellen.“ (VDI 2015)

Klimabelange in Ausschreibungen

Die Integration der Klimabelange in Ausschreibungen, z. B. von Wettbewerben, ermöglicht eine frühe Berücksichtigung bereits in der Vorbereitungsphase. Eine entsprechende Formulierung und Ausprägung der Auswahlkriterien kann dazu beitragen, dass nicht das jeweils günstigste Angebot den Zuschlag erhält, sondern z. B. das nachhaltigste (Future Cities 2013).

Idealerweise stehen diese Informationen allen relevanten Beteiligten zur Verfügung, so dass z. B. die Stadtplaner bereits bei Anfragen durch Investoren eine erste Auskunft zur Klimarelevanz/Klimabetroffenheit einer Planungsidee geben können.

Damit unabhängig von den zuständige Personen in allen Planungsverfahren regelmäßig die relevanten Grundlagen und Fragestellungen zur Anpassung an den Klimawandel berücksichtigt und bearbeitet werden, können Checklisten oder auch Leitfäden hilfreich sein. Darin sind z. B. die zu berücksichtigenden Einzelfragen aufgelistet, entsprechende Unterlagen und Analysen benannt und ggf. auch Ansprechpersonen für Detailfragen aufgeführt.

Für Stellungnahmen nutzen die Fachverwaltungen häufig vorgefertigte Textbausteine, die je nach Bedarf ausgewählt und angepasst werden können. Auch hier können entsprechende Textbausteine zur Thematik des Klimawandels eine Berücksichtigung in den Planungsverfahren unterstützen und insbesondere eine vergleichbare Behandlung in unterschiedlichen Verfahren unabhängig von den jeweils zuständigen Personen sicherstellen.

Regionale Klimasimulationen sind Projektionen möglicher zukünftiger Veränderungen der Klimaparameter, d. h. sie unterliegen Bandbreiten über die regionale und zeitliche Verteilung von Klimaänderungen. Bei der Aufbereitung der fachlichen Grundlagen sind diese Bandbreiten einzubeziehen.

Vor allem wenn es darum geht, rechtssichere Planungsentscheidungen zu treffen (z. B. Festsetzungen in einem Bebauungsplan), werden die verfügbaren Informationen zum Klimawandel aufgrund der Bandbreiten häufig nicht als belastbare Grundlage angesehen.

Dabei kann es hilfreich sein, die bereits jetzt gegebene Anfälligkeit gegenüber den derzeit auftretenden klimatischen Bedingungen als Begründung für planerisches Handeln heranzuziehen (siehe **Modul 3**, Kapitel 5). Diese kann dann argumentativ ergänzt werden, um Aussagen zu möglichen zukünftigen Entwicklungen zu treffen (BBSR/BBR 2016: S. 42).

Schwierig wird die Durch- und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen für Kommunen gegenüber einem Bauträger, wenn entsprechende Festsetzungen in Bebauungsplänen mit (Mehr-)Kosten verbunden sind. Überzeugen können hier Argumente wie z. B. eine gesteigerte Qualität (z. B. thermische Gebäudequalität) oder bessere Vorsorge gegenüber Extremereignissen (nachvollziehbar z. B. mit Hilfe von Immo-Risk als Werkzeug zur Einschätzung zukünftiger Risiken aus Extremwetterereignissen für Immobilien).

Mittel- und langfristig hilft der Aufbau eines Monitorings innerhalb der Kommune, um die tatsächliche Entwicklung und Veränderung des Lokalklimas nachvollziehbar zu machen. Die regelmäßige Evaluation ist gleichzeitig die Grundlage für eine Überprüfung bisher getroffener Maßnahmen und Planungen sowie für die Anpassung neuer Maßnahmen.

Weitere Informationen zu dieser Maßnahme

Steckbrief 5.2-05: Checklisten und Textbausteine

(Quelle: HLNUG 2017a: S. 54)

Steckbrief 5.2-06: Aufbau eines Monitoringsystems

(Quelle: HLNUG 2017a: S. 55)

Unterschiede und Synergien zwischen der Anpassung an den Klimawandel und dem Klimaschutz deutlich machen

Viele Kommunen haben bereits erfolgreiche Konzepte und Ansätze für den **Klimaschutz**. Die Akteure sind sensibilisiert und kennen Klimaentwicklungen und Klimaprojektionen. Die Beschäftigung mit dem Klimaschutz kann in der Folge auch zur Bearbeitung von Anpassungsthemen führen (UBA 2015b: S. 26).

Andererseits empfinden die Beteiligten nicht selten die Beschäftigung mit der Anpassung an den Klimawandel – angesichts knapper finanzieller und personeller Ressourcen – zunächst als Konkurrenz zum Klimaschutz. Außerdem wird befürchtet, dass durch eine Beschäftigung mit der Anpassung an den Klimawandel das Eingeständnis verbunden wird, dass der Klimaschutz gescheitert oder von geringerer Priorität sei (UBA 2015b: S. 27; UBA 2016: S. 54, 68).

Da beide Strategien – Klimaschutz und Klimaanpassung – sowohl Konfliktpotenziale als auch Synergien aufweisen, sollten Sie sie nicht losgelöst von einander betrachten und umsetzen.

Weitere Informationen zu dieser Maßnahme

Steckbrief 5.2-07: Gemeinsame Aufbereitung der Anforderungen aus Klimaschutz und Klimaanpassung

(Quelle: HLNUG 2017a: S. 56)

Klimaschutz

hat das Ziel, Treibhausgasemissionen anhand zuvor festgelegter Zielgrößen zu vermindern, indem z. B. regenerative Energieträger (wie Solarenergie, Wasser- und Windkraft) genutzt werden oder die Erhaltung natürlicher Treibhausgassenken (z. B. Wälder, Feuchtgebiete) gefördert wird (DIFU 2013).

Anpassung an den Klimawandel

beinhaltet „Initiativen und Maßnahmen, um die Empfindlichkeit natürlicher und menschlicher Systeme gegenüber tatsächlichen oder erwarteten Auswirkungen des Klimawandels zu verringern. Es können verschiedene Arten von Anpassungen unterschieden werden, darunter vorausschauende und reaktive, private und öffentliche, autonome und geplante Maßnahmen.“ (UBA o.J.)

Verfügbarkeit und Bekanntheitsgrad der verfügbaren Grundlagen und Hilfsmittel verbessern (Wissensmanagement)

Neben der Erstellung bzw. Verbesserung der fachlichen Grundlagen zum Klimawandel auf lokaler Ebene ist es wichtig, diese zu verbreiten und bekanntzumachen. Wie das organisiert wird, hängt von den Rahmenbedingungen innerhalb Ihrer Kommune ab. Eine Veröffentlichung z. B. der relevanten Karten und Checklisten im Intranet ist ebenso möglich wie eine Bekanntmachung über neue Informationen in einem internen Newsletter oder Infobrief.

Soweit eine fachübergreifende Arbeitsgruppe existiert, sollte diese regelmäßig über aktuelle Informationen und Hilfsmittel informiert werden.

In Planungsverfahren können entsprechende Checklisten unterstützend wirken, indem sie die vorhandenen Informationen und Grundlagen benennen, die jeweils heranzuziehen sind.

Ein vom DWD zur Verfügung gestelltes Instrument ist **INKAS** (Informationsportal Klimaanpassung in Städten). Mit Hilfe von INKAS können Sie für typische Bebauungsstrukturen die Auswirkungen unterschiedlicher (städte-)baulicher Maßnahmen zur Minderung der städtischen Überwärmung in wenigen Schritten analysieren und vergleichen. Die Effekte der einzelnen Maßnahmen können Sie dabei nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ erfassen.

Das neue Unterstützungswerkzeug soll Akteure befähigen, die für Ihre Kommune sinnvollsten Klimaanpassungsmaßnahmen zu identifizieren und sie einer Bewertung, z. B. durch eine Kosten-Nutzen-Analyse, zuzuführen (DWD 2016).

INKAS

Das „Informationsportal Klimaanpassung in Städten“ ist ein Online Beratungswerkzeug des Deutschen Wetterdienstes. Der Schwerpunkt von INKAS ist die Analyse und die Bewertung der thermischen Wirkung verschiedener stadtplanerischer Maßnahmen zur Minderung von Wärmeinseln. „Mithilfe der INKAS-Wirkungsanalyse kann die zu erwartende Änderung der Lufttemperatur bei einer städtebaulichen Maßnahme eingeschätzt und mit anderen Maßnahmen verglichen werden. Somit lassen sich Anpassungsmaßnahmen stadtklimatisch priorisieren und konkrete Handlungsempfehlungen (z. B. 20 % Entsiegelung oder 30 % Dachbegrünung) ableiten.“ (DWD 2016).

Weitere Informationen zu dieser Maßnahme

Steckbrief 5.2-08: Bekanntmachung und Verbreitung der fachlichen Grundlagen innerhalb der Verwaltung

(Quelle: HLNUG 2017a: S. 57)

3.3 Verknüpfung mit kommunalen Entwicklungsstrategien und Nutzung von Synergien

Wenn sich viele Themen in einer Kommune überlagern, kann es sinnvoll sein, die Anpassung an den Klimawandel bewusst nicht als weitere Zusatzaufgabe darzustellen. „Kommunen konnten immer dann Klimaanpassung erfolgreich umsetzen, wenn sie diese in bestehende kommunale Abläufe, Konzepte, Projekte und Maßnahmen integriert haben, sie quasi „huckepack“ genommen und so Synergiepotenziale wirkungsvoll genutzt haben“ (BBSR/BBR 2016: S. 40). Um Synergieeffekte innerhalb Ihrer kommunalen Strukturen rechtzeitig erkennen und wirkungsvoll nutzen zu können, können Sie folgende vier Ansätze verfolgen.

Klimapolitische Leitbilder und Ziele erarbeiten

Kommunale Leitbilder und Ziele zur Anpassung an den Klimawandel definieren und konkretisieren die stadtklimatischen Belange der Anpassung u. a. für die Planungsverfahren. Mögliche Interessenskonflikte und Synergien zwischen den Handlungsfeldern und den entsprechenden Ämtern können darin benannt und berücksichtigt werden.

Weitere Informationen zu dieser Maßnahme

Steckbrief 5.3-01: Entwicklung eines klimapolitischen Leitbilds mit Zielen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung

(Quelle: HLNUG 2017a: S. 58)

Ebenen- und ressortübergreifende Strategien (Anpassungsstrategie) anstreben

Die Anpassung an den Klimawandel umfasst als Querschnittsaufgabe viele Fachgebiete/Ämter Ihrer Kommune und berührt unterschiedliche Belange auf verschiedenen Ebenen. Idealerweise sollten Sie daher strategische Ziele und Maßnahmen zur Anpassung fachübergreifend entwickeln und verfolgen (**Gesamtstrategie zur Anpassung an den Klimawandel**).

Strategien zur Anpassung an den Klimawandel

Diese sind langfristig angelegte planerische Vorhaben, Konzepte oder Verhaltensweisen einschließlich der zu ihrer Umsetzung eingesetzten Instrumente und Maßnahmen, um Nachteile von tatsächlichen oder erwarteten Klimaveränderungen mit deren Folgen zu mindern und Vorteile zu nutzen“ (Birkmann et al. 2013: S. 196). Das Ziel einer Anpassungsstrategie ist häufig die Abwendung bzw. Minimierung von Gefahren oder Schäden, wobei eine sukzessive Weiterentwicklung der Strategie von wesentlicher Bedeutung ist (BMVBS/BBSR/BBR 2009b).

Zwischen der klimawandelgerechten Stadtentwicklung können sich darüber hinaus Synergien auch zum demographischen Wandel, zum Klimaschutz und zur Verbesserung der Widerstandsfähigkeit von Infrastrukturen entwickeln.

In den Projekten und Planungsprozessen zu diesen Themen sollten Sie Fragen der Anpassung an Folgen des Klimawandels regelmäßig miteinbeziehen (UBA 2015b: S. 35 f.). Ein anderer Ansatz ist, dass in strategischen Prozessen zur Stadtentwicklung das Thema explizit berücksichtigt wird.

Weitere Informationen zu dieser Maßnahme

Steckbrief 5.3-02: Entwicklung einer gesamtstädtischen Anpassungsstrategie

(Quelle: HLNUG 2017a: S. 59)

Steckbrief 5.3-03: Einbindung des Klimawandels in Stadtentwicklungsstrategien

(Quelle: HLNUG 2017a: S. 60)

Frühzeitige Konfliktlösungen anstreben, z.B. im Flächennutzungsplan / Landschaftsplan

Ein Instrument zur strategischen Stadtentwicklung ist der Flächennutzungsplan mit dem zugehörigen Landschaftsplan. Im Flächennutzungsplan können Sie räumliche Voraussetzungen sowohl für die Umsetzung von Maßnahmen des Klimaschutzes als auch von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel schaffen. Wichtige Themen im Bereich der Anpassung, insbesondere die Freihaltung klimarelevanter Flächen, das Aufzeigen von bereits hoch belasteten Räumen sowie die Freihaltung bzw. Vorsorge in Bereichen, die durch

Extremereignisse besonders betroffen sein können, können im Landschaftsplan als Fachbeitrag aufbereitet werden, in den Flächennutzungsplan einfließen und rechtsverbindlich beschlossen werden.

Hilfreich ist z. B. eine entsprechende Themenkarte zum Stadtklima in Form eines eigenständigen Fachgutachtens zum Landschaftsplan, das als Abwägungsgrundlage für Vorhaben dient und stadtklimarelevante Strukturen bei der Ausweisung freiraumbezogener Nutzungen berücksichtigt. Im Landschaftsplan können Sie darüber hinaus Hinweise auf stadtklimatische Verbesserungspotenziale (Vernetzungsachsen, lockere Bauweise, starke Durchgrünung) geben.

Ein Zielkonflikt innerhalb der Stadtentwicklung entsteht durch die Forderung einer lockeren Bebauung mit hohem Freiflächenanteil zur Verringerung des Wärmeinseleffektes.

Dem entgegen stehen das Ziel der Innenentwicklung zur Verringerung der Flächeninanspruchnahme und die Ansprüche an eine kompakte dichte Siedlungsweise aus Sicht des Klimaschutzes (energie- und verkehrsoptimiert). Eine Lösung solcher Zielkonflikte kann im Flächennutzungsplan durch entsprechende Schwerpunktsetzungen erfolgen.

(Doppelte) Innenentwicklung

Das städtebauliche Konzept der Innenentwicklung zielt darauf ab, den künftigen Flächenbedarf soweit wie möglich durch innerörtliche, bereits erschlossene Flächen zu decken. Die doppelte Innenentwicklung zielt weiter darauf ab, gleichzeitig auch urbane Grünflächen zu erschaffen oder zu erhalten (Difu 2013). Zielkonflikte zwischen baulicher Verdichtung und dem Erhalt und der Entwicklung urbaner Grünflächen können durch die Umsetzung einer integrierten Strategie minimiert werden (Böhm et al. 2017).

Weitere Informationen zu dieser Maßnahme

Steckbrief 5.3-04: Fortschreibung des Flächennutzungsplans und Landschaftsplans unter Berücksichtigung der möglichen Folgen des Klimawandels
(Quelle: HLNUG 2017a: S. 61)

Verteilung der vorhandenen finanziellen und personellen Ressourcen im Hinblick auf die Behandlung stadtklimatischer Belange klären

Damit eine Kommune die Voraussetzungen schaffen kann, die Belange aus der Anpassung an den Klimawandel im Rahmen von Planungsverfahren zu berücksichtigen, sind entsprechende Ressourcen erforderlich. Dies gilt sowohl für die Erstellung und Bereitstellung von fachlichen Grundlagen und notwendigen Informationen als auch für die Koordination zwischen den unterschiedlichen Fachbereichen innerhalb der Planungsprozesse.

Genutzt werden können z. B. Fördermittel für die Einstellung eines Klimamanagers, der solche Aufgaben übernehmen kann. Allerdings ist die Einwerbung von Fördermitteln im ersten Schritt auch mit einem personellen Einsatz seitens der Kommune verbunden, was gerade für kleine und mittlere Kommunen häufig ein Hemmnis darstellt (UBA 2015b: S.30; UBA 2016: S.67). Eine weitere Möglichkeit ist es, Beschäftigte für eine entsprechende Arbeitsgruppe und/oder für die Wahrnehmung von Koordinationsaufgaben abzustellen. Voraussetzung hier ist, dass Prioritäten gesetzt werden und ggf. Aufgaben innerhalb der Fachbereiche umverteilt werden.

Beschaffung notwendiger Ressourcen

Eine Übersicht der Fördermöglichkeiten bietet die Förderdatenbank des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie:

- <http://www.foerderdatenbank.de/>

Das **Land Hessen** fördert kommunale Klimaschutz- und Klimaanpassungsprojekte sowie kommunale Informationsinitiativen:

- <https://umwelt.hessen.de/klima/foerderung>

Weitere Informationen zu dieser Maßnahme

Steckbrief 5.3-05: Ermittlung und Bereitstellung ausreichender Ressourcen unter Berücksichtigung von Synergien

(Quelle: HLNUG 2017a: S. 62)

Steckbrief 5.3-06: Akquisition von Fördergeldern zur Verbesserung der finanziellen / personellen Ressourcen

(Quelle: HLNUG 2017a: S. 63)

3.4 Kooperation und Koordination innerhalb der kommunalen Verwaltung und mit weiteren Akteuren

Die Fähigkeit einer Kommune, eigene Kapazitäten zur Anpassung an den Klimawandel aufzubauen, ist u. a. von der Größe und fachlichen Spezialisierung innerhalb der kommunalen Verwaltung abhängig. Eine sehr ausgeprägte fachliche Spezialisierung und Ausdifferenzierung innerhalb einer Verwaltung kann jedoch auch die notwendige interdisziplinäre Zusammenarbeit aller Ämter erschweren. Je mehr bestehende Kompetenzen, Funktionen und Verantwortungen koordiniert werden müssen, umso höher wird der Aufwand für Kooperation und Koordination.

Abläufe und Aufgaben in Planungsprozessen klären

Planungsprozesse sind fachübergreifend angelegt, da innerhalb der Stadtentwicklung jeweils die Belange aus unterschiedlichen Ämtern einfließen müssen.

Die Anpassung an den Klimawandel als Querschnittsaufgabe

Die Anpassung an den Klimawandel ist eine Querschnittsaufgabe, die in Ihrer Kommune viele Fachgebiete/Ämter umfasst und unterschiedliche Lebensbereiche auf verschiedenen Ebenen berührt. So sind im Zusammenhang mit Hitze in der Stadt und der Betroffenheit der Gesundheit der Bevölkerung durch Hitze Fachgebiete von der Stadtplanung über die Gesundheitsämter und sozialen Dienste bis hin zur Verkehrsplanung oder Grünflächenpflege betroffen und in ihrem Handeln gefragt.

Die Art der Zusammenarbeit (wer koordiniert, wer wird beteiligt) und der Ablauf der Prozesse (wann erfolgt eine erste Information, wann werden Stellungnahmen abgerufen, Umgang mit Stellungnahmen) sind in der Regel in den Kommunen klar geregelt.

Hier gilt es zu erkennen, dass das Querschnittsthema „Klimawandel“ nicht nur ein Thema für die Umweltverwaltung (im Sinne des Schutzgutes Klima) ist. Die Folgen des Klimawandels berühren viele Fachbereiche und deren Beiträge zur Anpassung an den Klimawandel.

Weitere Informationen zu dieser Maßnahme

Steckbrief 5.4-01: Klare Zuständigkeit und Aufgabenverteilung inklusive Verfahrenleitfaden

(Quelle: HLNUG 2017a: S. 64)

Ämterübergreifende Zusammenarbeit zwischen den Akteuren fördern

Ein regelmäßiger Austausch zu den jeweils relevanten Fragen und Themen in Bezug auf den Klimawandel kann das gegenseitige Verständnis über die fachbezogenen Anforderungen einer für den Planungsprozess relevanten Anpassung verbessern (Verknüpfung zu fachlichen Grundlagen). Dabei können auch ablehnende Haltungen und Vorbehalte gegenüber einer Einbeziehung der Anpassung an den Klimawandel in Planungsverfahren angesprochen und geklärt werden. Manche Kommunen haben dafür feste Arbeitsgruppen eingerichtet.

Insbesondere für kleinere Städte und Gemeinden bietet sich eine interkommunale Zusammenarbeit sowohl bei der Aufbereitung der Daten als auch bei der Strategie zum Umgang damit an. Hitze- und Überflutungsvorsorge sollte hier Gemeindegrenzen übergreifend ursachen- und wirkungsbezogen betrachtet werden. Bereits bestehende Kooperationen, z. B. im Bereich der Siedlungsflächenentwicklung und Gewerbeflächenentwicklung, können die Anpassung an den Klimawandel als Thema aufgreifen.

Weitere Informationen zu dieser Maßnahme

Steckbrief 5.4-02: Regelmäßiger fachlicher Austausch zu aktuellen Fragen bei der Anpassung an den Klimawandel

(Quelle: HLNUG 2017a: S. 65)

Steckbrief 5.4-03: Interkommunale Zusammenarbeit zwischen kleineren Städten und Gemeinden

(Quelle: HLNUG 2017a: S. 66)

Informationsaustausch und Kooperation mit Dritten (Bauherren, Architekten etc.) aktiv gestalten

In Planungsprozessen sind neben den Personen in der Verwaltung auch Personen außerhalb der Verwaltung beteiligt, z.B. der Bauherr bzw. ein Investor, Architekten, Ingenieure etc. Auch diese sollten ein Bewusstsein für die Fragen der Anpassung an den Klimawandel entwickeln. Entsprechende Hilfsmittel zur Information können Broschüren und Flyer sein, wie sie z. B. die Stadt Frankfurt für Bauherren erstellt hat.

Hilfreich ist es, vorhandene Netzwerke wie z.B. Klima-beiräte oder Agenda-21-Gruppen zu nutzen, um die Auseinandersetzung mit der Anpassung an den Klimawandel zu begleiten und durch solche Netzwerke sowie partizipative Einbeziehung die Akzeptanz und Sensibilisierung zu fördern (vgl. Umweltbundesamt 2015b: S.48). Vor dem Hintergrund, dass im Rahmen der Planungsverfahren regelmäßig eine Beteiligung der Öffentlichkeit stattfindet, können relevante Informationen mithilfe bestehender Netzwerke und Umweltinitiativen an die Bürger vermittelt werden.

Weitere Informationen zu dieser Maßnahme

Steckbrief 5.4-04: Informationsmaterial für Dritte

(Quelle: HLNUG 2017a: S. 67)

Steckbrief 5.4-05: Nutzung bestehender Netzwerke zwischen Politik, Verwaltung und Gesellschaft

(Quelle: HLNUG 2017a: S. 68)

4 Modellbasierte Analyse des Stadtklimas als Grundlage für die Klimaanpassung

Um strategische Entscheidungen hinsichtlich der erforderlichen klimaangepassten Maßnahmen treffen zu können, liefert eine modellbasierte Analyse wesentliche Informationen sowie eine belastbare Datenbasis. Mit einer solchen Analyse lassen sich Veränderungen des lokalen Klimas simulieren.

4.1 Klimaanalyse und -projektion am Beispiel der Modellkommunen Wiesbaden und Mainz

Im Rahmen des KLIMPRAX Stadtklima-Arbeitspakets „Klimaanalyse und -projektion für das erweiterte Stadtgebiet Wiesbaden und Mainz“ führte der DWD Simulationen mit dem Stadtklimamodell MUKLIMO_3 durch. Im Ergebnis stehen den Modellkommunen quantitative Informationen zur Temperaturverteilung, den Windverhältnissen und zum erwartenden Temperaturanstieg für das gesamte Stadtgebiet zur Verfügung.

Weitere Informationen

Dieses Kapitel enthält eine Zusammenstellung wichtiger Inhalte des vom DWD erstellten Berichts „**Modellbasierte Analyse des Stadtklimas als Grundlage für die Klimaanpassung am Beispiel von Wiesbaden und Mainz**“ (Noppel 2017). Wenn Sie sich zu einem bestimmten Aspekt detaillierter informieren möchten, erhalten Sie weitere ausführliche Informationen im genannten Bericht.

Kapitelüberblick für den schnellen Leser:

- Mithilfe eines Stadtklimamodells können lokale Klimaanalysen und -projektionen durchgeführt werden. Stadtklimamodellierungen liefern Analysen zum Klima der Gegenwart, Analysen zum Klima der Zukunft sowie Kaltluftanalysen. Mit Hilfe dieser Analysen kann beispielsweise der Stadteffekt auf das lokale Klima gezeigt werden oder die Entwicklung von Heißen Tagen in der Zukunft projiziert werden. Für die Modellkommunen Wiesbaden und Mainz werden Ergebnisse aus einer Stadtklimamodellierung vorgestellt. Die Ergebnisse bieten wichtige Informationen für die Planungspraxis. (**Kapitel 4.1**)
- Die Realisierung einer Stadtklimaanalyse kann für Kommunen eine Herausforderung darstellen, da für die Ermittlung der Eingangsdaten und für die Weiterverarbeitung der Modellierungsergebnisse umfangreiche technische und fachliche Kenntnisse erforderlich sind. Am Beispiel der Erfahrungen der AG KLIMPRAX Stadtklima können Sie sich informieren, welche Eingangsdaten für eine Stadtklimasimulation aufbereitet werden müssen. Zudem sind auch die Ergebnisse der Stadtklimasimulation für die weitere Verarbeitung in Ihrer Kommune optimal vorzubereiten. Falls diese Kenntnisse in Ihrer Kommune nicht vorhanden sind, kann die Vergabe an externe Dienstleister erfolgen. (**Kapitel 4.2**)

4.1.1 Hintergrund und Analyserahmen des Stadtklimamodells

Auch wenn Sie als Fachplaner keine Stadtklimamodellierung durchführen, so ist doch ein Hintergrundwissen zu den angewendeten Methoden oftmals hilfreich, insbesondere auch bei der Abstimmung zwischen Ihnen und den meteorologischen Sachverständigen. In diesem Kapitel erhalten Sie daher eine kurze Darstellung der in KLIMPRAX Stadtklima eingesetzten Methoden. Die grundsätzlichen Zusammenhänge sind jedoch auch auf andere Stadtklimamodelle übertragbar.

Darauf aufbauend erfahren Sie, welche wesentlichen Rahmenbedingungen für das Modellgebiet festgelegt wurden. Diese Informationen können Ihnen als Orientierung bei der Definition des Analyserahmens dienen.

Vom globalen Klimamodell zur lokalen Stadtklimaanalyse

Ausgangspunkt lokaler Klimamodelle sind globale Zukunftsszenarien, die wiederum auf Basis von Klimamodellen und Emissionsszenarien des Weltklimarats

(IPCC) ermittelt werden. „Die auf IPCC Emissionsszenarien basierenden globalen Klimasimulationen dienen als Antrieb für ein Ensemble höher auflösender regionaler Klimamodelle. Die Ergebnisse der regionalen Klimamodelle dienen wiederum als Eingabedaten des Stadtklimamodells MUKLIMO_3 zur Berechnung der Änderung des urbanen Klimas.“ (Noppel 2017: S.80).

Abbildung 10 zeigt schematisch den Prozess dieses „Downscalings“ auf.

Für die Skalierung der Ergebnisse von der regionalen auf die städtische Ebene wurde im Rahmen des Projekts KLIMPRAX Stadtklima die sogenannte „Quadermethode“ genutzt. Mit dieser statistisch-dynamischen Methode ist es möglich, die Rechenoperationen auf „Fragestellungen, die nur bei bestimmten Wetterlagen auftreten (z.B. bei Wärmebelastung)“ zu begrenzen. Diese Begrenzung ist aufgrund der hohen räumlichen Auflösung und Komplexität des Klimamodells notwendig (Noppel 2017: S. 80).

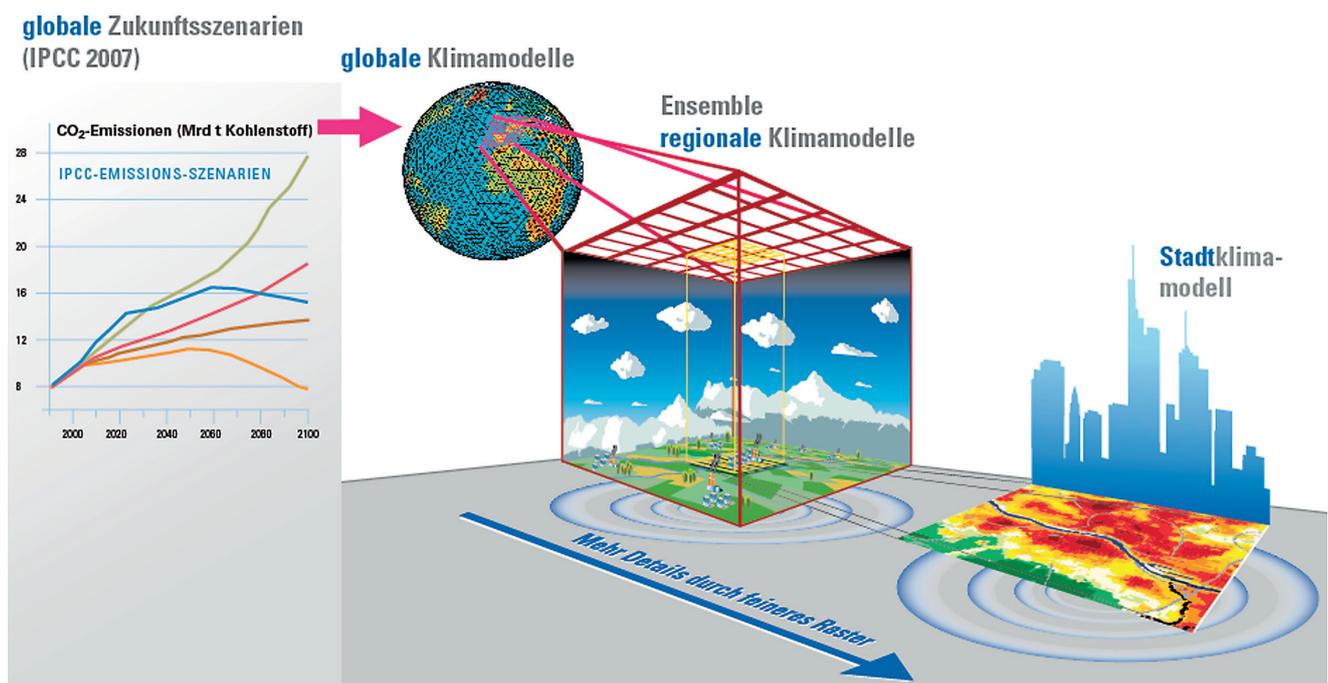


Abbildung 10: Schematische Darstellung der räumlichen Verfeinerung (Downscaling) der Klimasimulationsrechnungen von der globalen Skala zur städtischen Skala (Quelle: DWD).

Modell zur Untersuchung stadtklimatologischer Fragestellungen

Unter Verwendung des hochauflösenden Stadtklimamodells MUKLIMO_3, das seit vielen Jahren speziell für lokale Fragestellungen des Klimas genutzt wird, führte der DWD in den Modellkommunen eine computerbasierte Simulation des Stadtklimas durch. Die Simulationen werden unter Berücksichtigung folgender Eingangsparameter durchgeführt:

- Geländehöhe,
- Landnutzung bzw. Bebauungsstruktur.

Diese Eingangsdaten werden von den Kommunen bereitgestellt und vom DWD in definierte Landnutzungsklassen mit typischen physikalischen Eigenschaften überführt.

Vorbereitung der Stadtklimasimulation: Abstimmung des Analyserahmens

Vor Durchführung der Stadtklimasimulation ist die räumliche Auflösung der Modellierung abzustimmen. Nach VDI 3787 Blatt 1 eignet sich für Stadtklimaanalysen, die sich auf die räumliche Ebene eines Flächennutzungsplans beziehen, eine Auflösung von 25 m bis 100 m. Grundsätzlich steigt mit zunehmender Größe des betrachteten Gebiets und mit höherer Auflösung der Modellierungsaufwand, sodass bei großen Gebieten vornehmlich niedrigere Auflösungen zu empfehlen sind. Im Projekt KLIMPRAX Stadtklima wurde eine Auflösung (Seitenbreite eines Rasters) von 100 m festgelegt.

Die Simulation des Stadtklimas konzentriert sich schwerpunktmäßig auf:

- Klima der Gegenwart,
- Klima der Zukunft,
- und Kaltluftanalysen.

Die Ergebnisse liegen für das gesamte Modellgebiet für die entsprechend festgelegte Rastergröße mit einer Kantenlänge von 100 Metern vor. Das Modellgebiet ist in Abbildung 11 dargestellt.

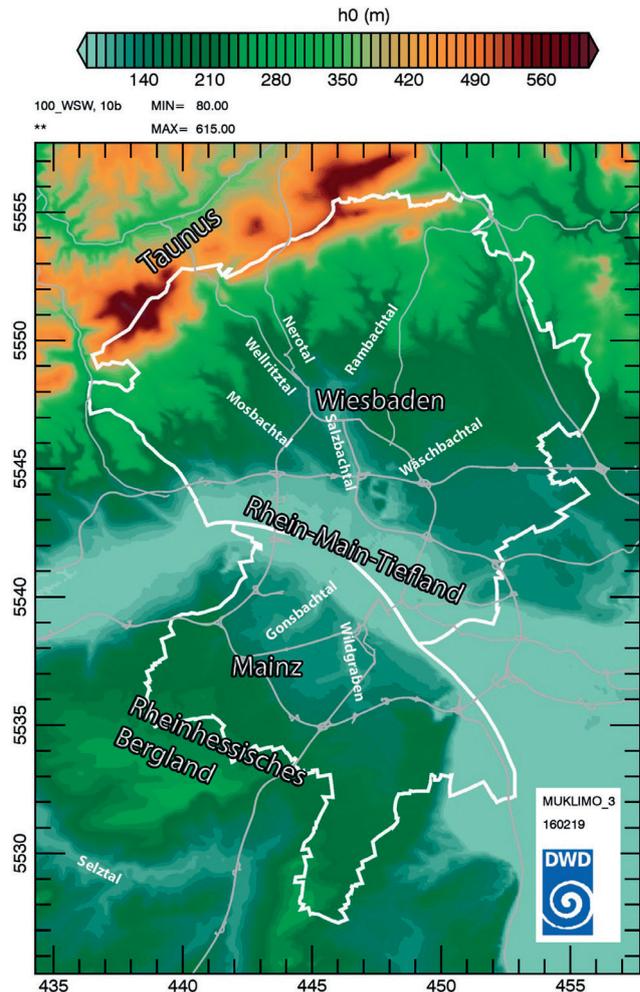


Abbildung 11: MUKLIMO_3 Modellgebiet mit den Grenzen des politischen Stadtgebiets von Mainz im Süden und von Wiesbaden im Norden sowie Geländehöheninformationen in m über NN. Die hellgrauen Linien geben die Hauptverkehrsstraßen wieder. (Quelle: Noppel 2017: S. 17)

4.1.2 Ergebnisse der Stadtklimasimulation

Die Stadtklimasimulation liefert Ihnen umfangreiche Datensätze zu den jeweilig abgestimmten Themenschwerpunkten. Die im Projekt KLIMPRAX Stadtklima durchgeführten Untersuchungen beschäftigen sich inhaltlich mit verschiedenen Fragestellungen (vgl. Noppel 2017: S. 11):

- Analyse des Klimas der Gegenwart:
Welches lokale Stadtklima liegt aktuell vor? In welchen Gebieten ist es besonders warm? Welchen Einfluss hat die Bebauung auf die Temperaturverteilung? Welche Gebiete sind hingegen weniger durch Wärme belastet?
- Analyse des Klimas der Zukunft:
Wie verändert sich das lokale Klima in der Zukunft? Ist mit einer gleichbleibenden Temperaturerhöhung im gesamten Stadtgebiet zu rechnen oder entwickeln sich die Temperaturen heterogen?
- Kaltluftanalysen:
Welche Flächen bilden besonders viel Kaltluft? Welche Kaltluftbahnen lassen sich im Stadtgebiet identifizieren?

Darüber hinaus werden mithilfe von MUKLIMO_3 Modellsimulationen für einen windschwachen, heißen, trockenen Sommertag durchgeführt. An einem solchen Tag bilden sich lokale Unterschiede des Wind- und Temperaturfeldes in der Stadt besonders klar heraus (vgl. Noppel 2017: S.21). Die Ergebnisse werden im Kontext des Themas „Analyse des Klimas der Gegenwart“ vorgestellt.

Die aufgeführten Fragen können mit Hilfe der Ergebnisse der Stadtklimamodellierung des DWD beantwortet werden. Grundsätzlich sollten Sie bei der Interpretation von Ergebnissen einer Stadtklimamodellierung für Ihre Kommune beachten, dass die Ergebnisdatsätze für jedes Gitterfeld, das in diesem Fall 100 m x 100m groß ist, einen gemittelten Wert enthalten. Daher kann nicht von einem linearen Verlauf der einzelnen Gitterfeldwerte ausgegangen werden (vgl. Noppel 2017).

Modellsimulation eines windschwachen, heißen, trockenen Tages und Klima der Gegenwart

Mit Hilfe von Modellsimulationen für einen windschwachen, heißen, trockenen Sommertag werden Informationen zur Verteilung der Lufttemperatur, zum Windfeld und zur **gefühlten Temperatur** für verschiedene Zeitpunkte ermittelt. Im Projekt KLIMPRAX Stadtklima wurden die Zeitpunkte 16 Uhr, 23 Uhr und 4 Uhr (jeweils MESZ) ausgewählt.

Die gefühlte Temperatur misst die Wärmebelastung des Menschen

„Um die thermische Umwelt gesundheitsrelevant bewerten zu können, wird beim DWD die gefühlte Temperatur verwendet [...]. Diese basiert auf einem Wärmehaushaltsmodell des menschlichen Körpers und umfasst alle relevanten Mechanismen des Wärmeaustauschs. Dabei werden die meteorologischen Elemente Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit sowie die lang- und kurzwelligen Strahlungsflüsse berücksichtigt.“ (Noppel 2017: S.94)

Es zeigt sich, dass die höchsten (Luft-)Temperaturwerte am Tag insbesondere im Innenstadtbereich auftreten, auch nachts bleibt es dort sehr warm. Zusätzlich kann die gefühlte Temperatur aufgrund verschiedener Bedingungen, wie Feuchte, Windgeschwindigkeit oder Sonneneinstrahlung, deutlich von der Lufttemperatur abweichen. Um diesen Effekt zu verdeutlichen, ist in Abbildung 12 beispielhaft die Lufttemperatur um 16 Uhr der **gefühlten Temperatur** gegenübergestellt.

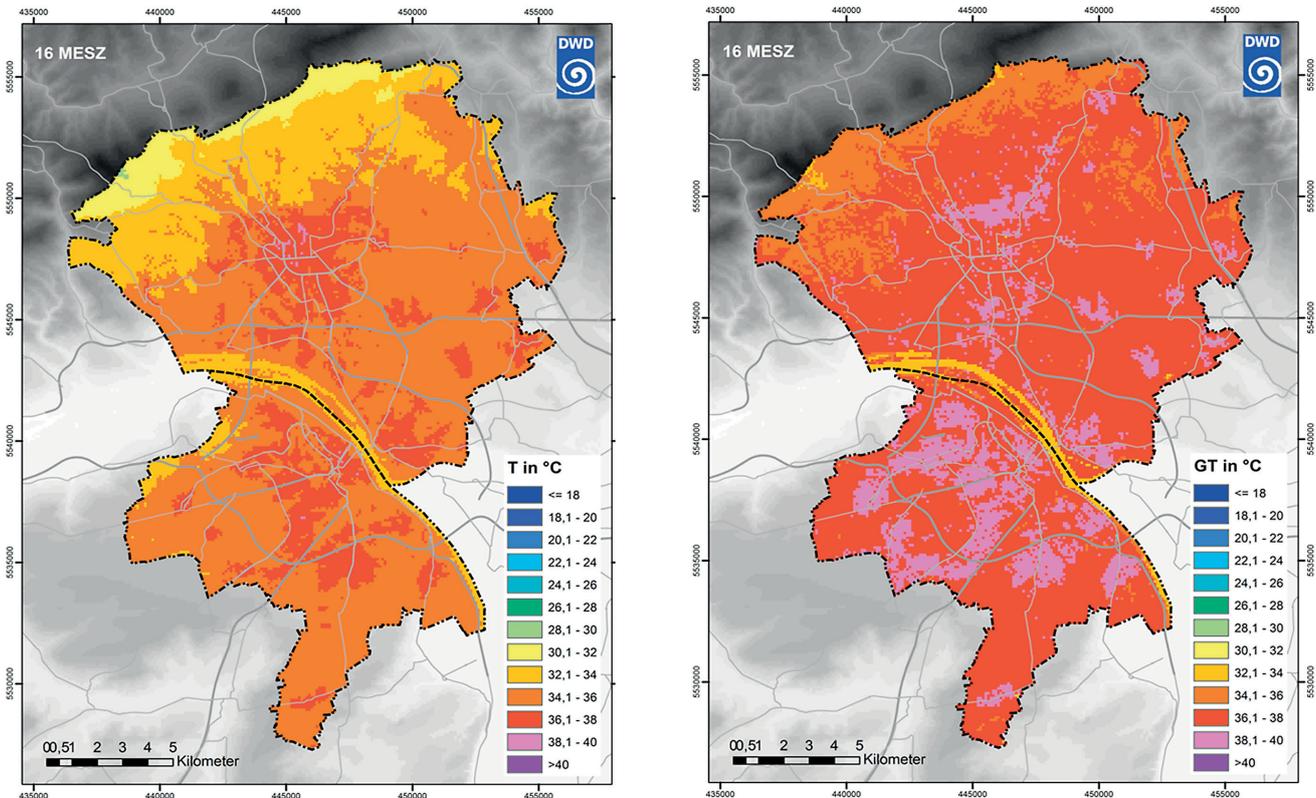


Abbildung 12: Ergebnisse aus dem Stadtklimamodell für einen windschwachen, heißen, trockenen Tag (mit aktueller Bebauung): Lufttemperatur (links) und gefühlte Temperatur (rechts) (Quelle: DWD 2017b)

Neben der Verteilung des Wind- und Temperaturfeldes für einen Tagesgang sind auch Aussagen über das Klima der Stadt, also die Betrachtung des statistischen Mittels einer längeren Periode, interessant. Die sogenannte Normalperiode umfasst 30 Jahre. Es wurden drei sogenannte Klimaindizes für den Zeitraum von 1971–2000 bestimmt:

- die **Anzahl der Sommertage** mit einer Tageshöchsttemperatur von mindestens 25 °C;
- die **Anzahl der Heißen Tage** mit einer Tageshöchsttemperatur von mindestens 30 °C;
- die **Anzahl der Tropennächte**, in denen die Lufttemperatur nicht unter 20 °C sinkt.

Für den betrachteten Zeitraum lässt sich ein bedeutender Einfluss des Wärmeinseleffekts feststellen: Im genannten Zeitraum treten in den Innenstadtbereichen mehr als doppelt so viele Sommertage, dreimal mehr Heiße Tage und siebenmal mehr Tropennächte auf als in den (kühlsten) Randbezirken.

Die Simulationen für die Klimaindizes wurden mit Daten von drei DWD Messstationen verglichen. Für

Sommertage und Heiße Tage erreichten die Simulationen eine sehr gute Übereinstimmung mit den Messungen, während die Simulation der Tropennächte deutlichere Abweichungen zu den Messungen aufzeigte. Dies kann unter anderem damit erklärt werden, dass MUKLIMO_3 tendenziell die nächtliche Abkühlung – insbesondere bei hoher Luftfeuchtigkeit – unterschätzt. Trotz dieser Abweichungen kann die Modellierung der Anzahl der Tropennächte nützliche Informationen liefern, beispielsweise um lokale Unterschiede der nächtlichen Belastung zu bewerten.

Um den Einfluss der Bebauung auf das Stadtklima zu quantifizieren, hat der DWD im Projekt KLIMPRAX Stadtklima die Modellläufe mit Bebauung zusätzlich für ein virtuelles Landnutzungsszenario ohne Bebauung wiederholt (vgl. Noppel: S. 39 ff.). Der Vergleich der Ergebnisse für die Anzahl der Heißen Tage verdeutlicht den städtebaulichen Effekt, wie Abbildung 13 zeigt. Die Anzahl der Heißen Tage im Modelllauf ohne Bebauung und im Lauf mit Bebauung unterscheiden sich insbesondere in den dicht bebauten Innenstädten erheblich.

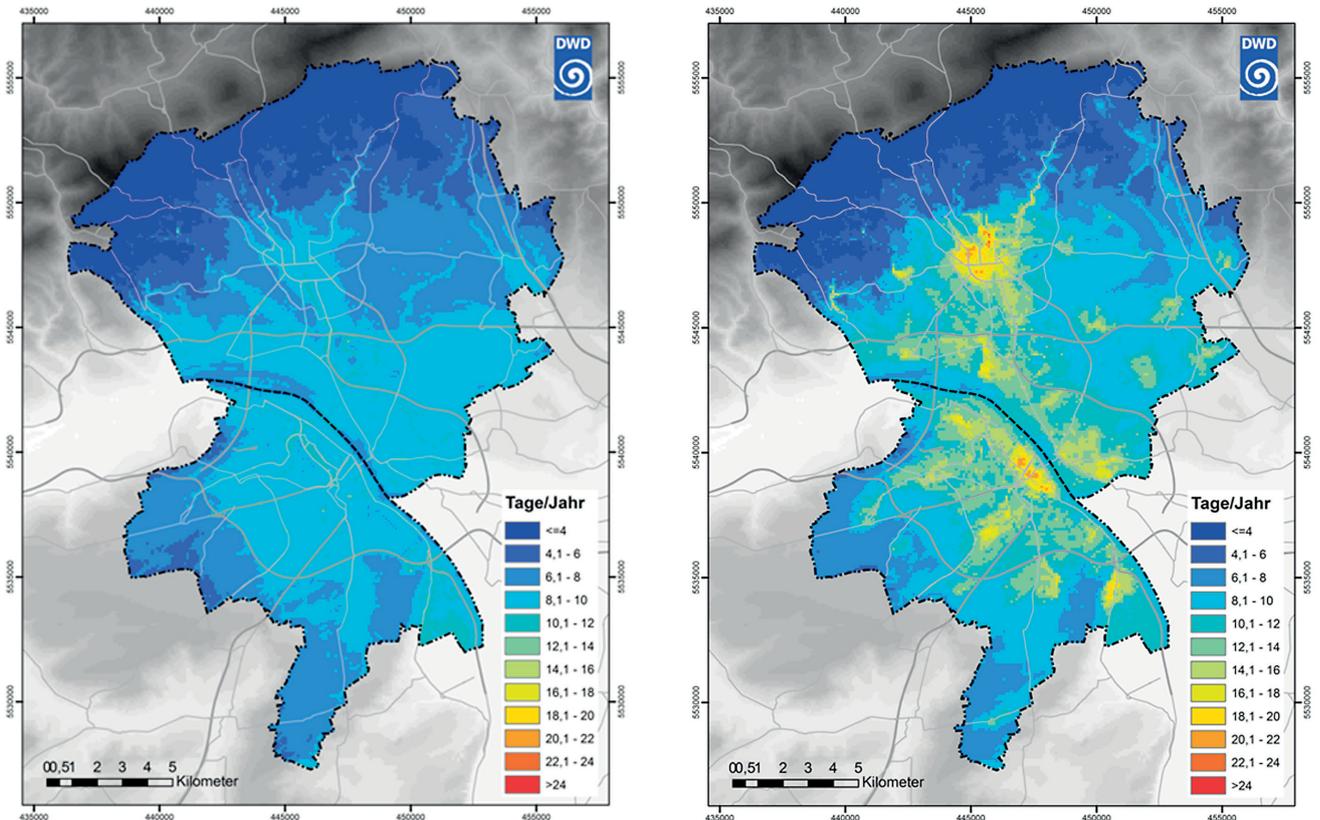


Abbildung 13: Anzahl der Heißen Tage ohne Bebauung (links) und mit aktueller Bebauung (rechts) für den Zeitraum 1971-2000 (Quelle: DWD 2017b)

Klima der Zukunft

Um die Änderung der Klimaindizes für den Zeitraum von 2031–2060 zu bestimmen, wurden 17 regionale Klimaprojektionen herangezogen. Das führt zu einer großen Spannweite an verschiedenen Projektionen.

Tabelle 2 zeigt das 25. und 75. Perzentil der Veränderung der Klimaindizes. Zwischen diesen Werten liegt die Hälfte der Ergebnisbandbreite. Diesen Ergebnissen werden Messungen der Kenntage für die Periode 1971–2000 für je eine Messstation in Mainz und in Wiesbaden gegenübergestellt.

Tabelle 2: Klimaindizes (Sommertage, Heiße Tage, Tropennächte) aus Messungen (1971–2000) und den mit Hilfe der Simulationen projizierten Änderungen (Quelle: Noppel 2017: S. 48)

	Messung	Simulierte Änderung von 1971–2000 auf 2031–2060	
		1971–2000	25. Perzentil
Sommertage			
Wiesbaden Süd	47,5	+12,2	+23,3
Mainz	50,8	+13,4	+22,9
Heiße Tage			
Wiesbaden Süd	10,8	+1,6	+14,1
Mainz	11,7	+1,8	+14,8
Tropennächte			
Wiesbaden Süd	0,9	+4,2	+15,3
Mainz	1,3	+3,7	+15,8

Perzentil

„ist ein Lagemaß aus der Statistik. Durch die Perzentile wird ein der Größe nach geordneter Datensatz in 100 umfangsgleiche Teile zerlegt. Diese teilen somit den Datensatz in 1 % Schritte auf. Das x. Perzentil ist sozusagen ein Schwellenwert innerhalb eines geordneten Datensatzes, bei dem x% aller Werte kleiner oder gleich dieses Schwellenwertes sind. Der Rest ist größer. Für das 25. Perzentil bedeutet das zum Beispiel, dass 25% der Werte unterhalb oder gleich dieses Perzentils liegen. Anhand von Perzentilen lässt sich somit ein einzelner Wert einer Datenreihe qualitativ einordnen. Das 50. Perzentil entspricht genau dem Median.“ (Noppel 2017: S. 97)

Die Zunahme der Klimaindizes fällt im Stadtgebiet unterschiedlich hoch aus. Für die ohnehin belasteten dichter bebauten Innenstadtgebiete werden stärkere Zunahmen erwartet als im Umland der Stadt. Eine Analyse hat gezeigt, dass der Zusammenhang zwischen Landnutzung und Änderung der Klimaindizes am deut-

lichsten beim Vergleich der Anzahl der Heißen Tage ist (s. Noppel 2017: S. 51).

Abbildung 14 verdeutlicht den Einfluss des Klimawandels auf die Anzahl der Heißen Tage und die unterschiedliche Entwicklung der Anzahl der Heißen Tage im Modellgebiet.

Analyse von Kaltluftbildung und Kaltluftabflüssen

Kaltluftbildende Räume und Kaltluftbahnen sind für die Entlastung von hitzebelasteten Stadtteilen von zentraler Bedeutung. Insbesondere auf Freiflächen im Umland der Stadt bildet sich in der Nacht Kaltluft. Weniger Potenzial zur Kaltluftbildung haben in der Regel unbebaute Flächen in der Stadt.

Im Kontext der beiden Modellkommunen Wiesbaden und Mainz wurde das Potenzial der noch unbebauten Flächen zur Kaltluftproduktion analysiert sowie deren Abflüsse simuliert.

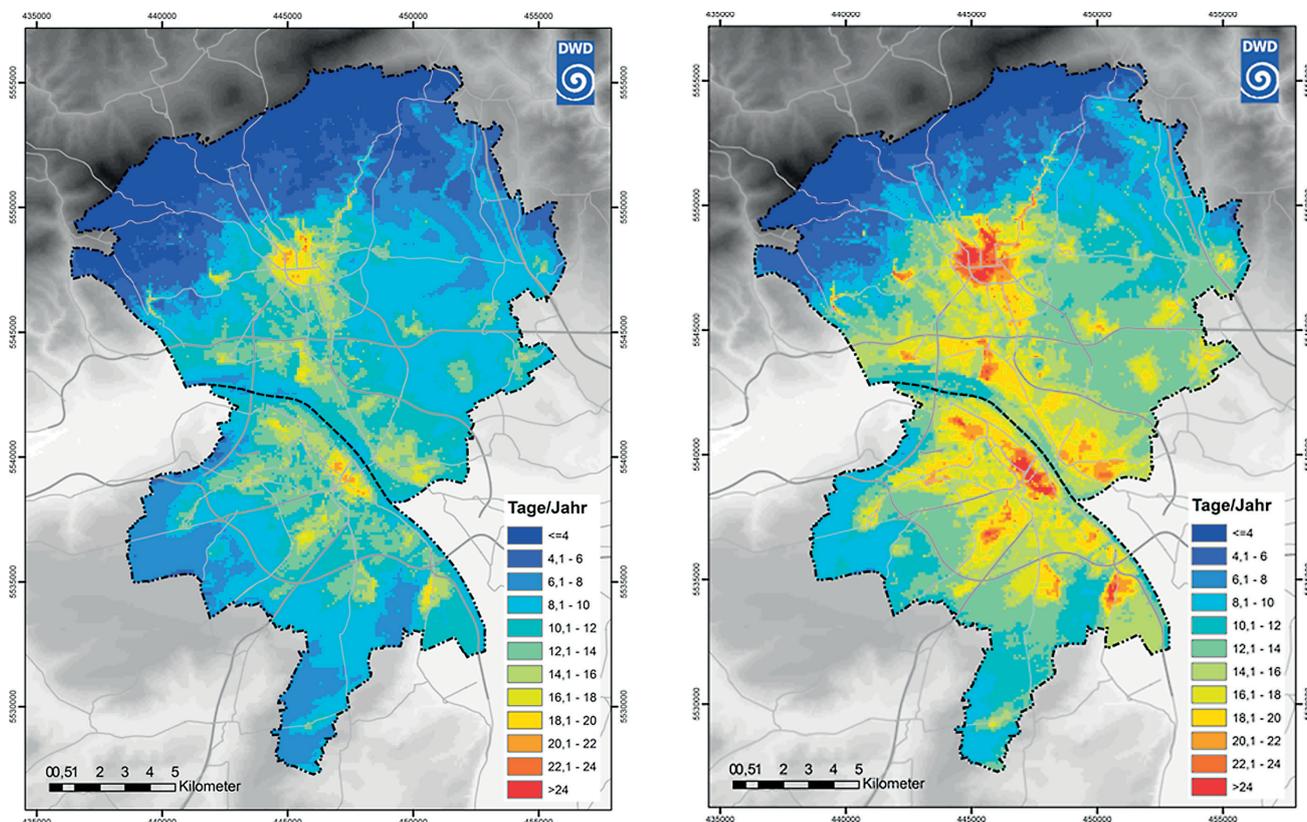


Abbildung 14: Anzahl der Heißen Tage pro Jahr für den Zeitraum 1971–2000 (links) im Vergleich zur Anzahl der Heißen Tage pro Jahr für den Medianwert der Klimaprojektionen für den Zeitraum 2031–2060 (rechts) (Quelle: DWD 2017b)

Das Potenzial einer Fläche Kaltluft zu bilden, wird als „fühlbarer Wärmestrom“ modelliert. „Ein negativer fühlbarer Wärmestrom bedeutet, dass der Atmosphäre Wärme entzogen wird“ (Noppel 2017: S. 52), d. h. Kaltluft gebildet wird. Da sich dieser Wärmestrom im Verlauf der Nacht ändert, wird der Wärmestrom zwischen dem Beginn der Nacht (22 Uhr) und 4 Uhr nachts zeitlich aufintegriert, d. h. zeitlich akkumuliert (vgl. Noppel 2017: S. 52).

Abbildung 15 zeigt das Potenzial einer Fläche Kaltluft zu bilden um 4 Uhr nachts. Je dunkler der Farbton auf der Farbskala, desto größer ist das Potenzial einer Fläche Kaltluft zu bilden.

In der Abbildung sind Bereiche mit Gebäuden ausgeblendet, da die Ausgabe des Wärmestroms zwischen Gebäuden und Atmosphäre nicht in MUKLIMO_3 implementiert ist.

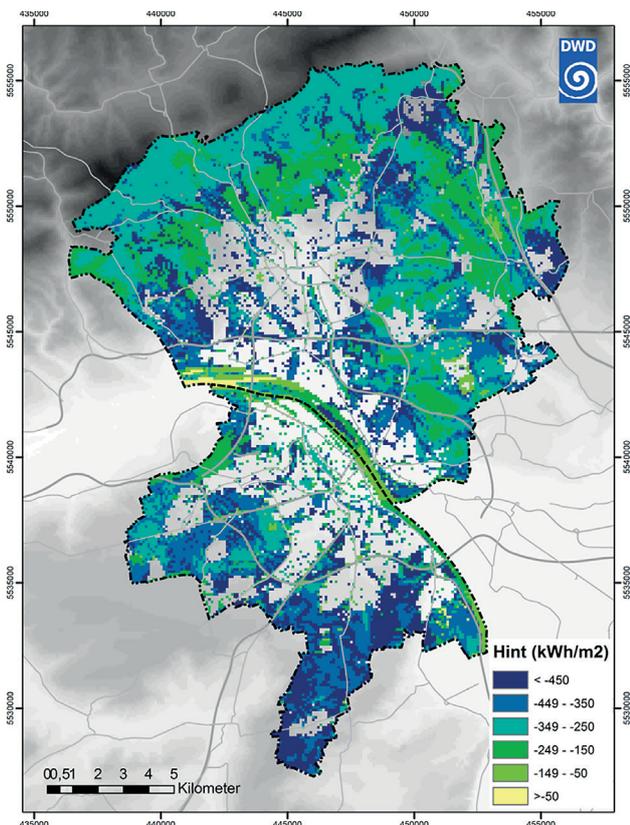


Abbildung 15: Von 22 MESZ bis 4 MESZ zeitlich akkumulierter fühlbarer Wärmestrom zwischen dem Boden sowie den Bäumen und der umgebenden Atmosphäre (in der Abbildung mit Hint abgekürzt) in kWh/m² zur Beurteilung des Potentials einer Fläche, Kaltluft zu bilden (Quelle: DWD 2017b).

Das größte Potenzial zur **Kaltluftbildung** weisen am Hang gelegene Freiflächen auf, aber auch zentral gelegene Parks und Grünflächen. Für beide Kommunen konnten wichtige, unbebaute Kaltluftbildungsflächen identifiziert werden, die bei zukünftigen kommunalen Planungen Berücksichtigung finden sollten.

Um zu erkennen, welche Gebiete belastete Räume mit Kaltluft versorgen und somit auch die Bedeutung verschiedener Kaltluftentstehungsgebiete für das Stadtklima herauszustellen, „muss man wissen,

- wohin die Kaltluft von dort, wo sie entsteht, fließt bzw.
- woher die Luft, die ein belastetes Gebiet erreicht, überhaupt kommt.“ (Noppel 2017: S. 55)

Erkenntnisse zu relevanten Kaltluftentstehungsgebieten wurden daher für die Modellkommunen weiter vertieft, indem bestimmte Bewegungspfade der Luft, sogenannte **Trajektorien**, simuliert wurden.

Mit sogenannten Vorwärtstrajektorien kann verfolgt werden, wohin die Luft aus Kaltluftentstehungsgebieten fließt. Dazu sind die Quellgebiete der Simulation festzulegen, beispielsweise können dies zuvor identifizierte Kaltluftentstehungsgebiete sein.

Demgegenüber können ebenso Zielgebiete definiert werden, um zu hinterfragen, woher die Luft in besonders belasteten Gebieten in der Nacht kommt. Die Simulation erfolgt mit Hilfe der Rückwärtstrajektorien, die ausgehend von der Endzeit den Weg der Luft bis zur Startzeit „rückwärts“ berechnen.

Kaltluftentstehungsgebiet/-leitbahn

Kaltluftentstehungsgebiete sind vor allem landwirtschaftlich genutzte Freiflächen (Wiesen, Felder, Äcker mit geringem Gehölzbestand), auf denen sich auf Grund einer negativen Strahlungsbilanz, insbesondere bei guten nächtlichen Ausstrahlungen, die Oberfläche und somit auch die darüber liegenden Luftmassen verhältnismäßig rasch abkühlen (HLNUG 2017a). Kaltluftleitbahnen transportieren kühle, aber hinsichtlich der lufthygienischen Situation nicht näher spezifizierte Luftmassen (MKULNV 2011).

Trajektorie

„Bahn oder Bewegungspfad, den ein Objekt, z. B. ein Luftpartikel, in einem gewissen Zeitraum durchläuft. Das bedeutet, dass die Trajektorie alle Orte verbindet, die ein Teilchen während seiner Bewegung einmal berührt hat. Durch die Berechnung von Trajektorien lässt sich z. B. die Herkunft und die weitere Verfrachtung von Luftverunreinigungen bestimmen.“

Geht man vom Endpunkt der Bahn aus und „verfolgt“ das Objekt zeitlich rückwärts bis zu seinem „Startpunkt“, spricht man von Rückwärtstrajektorien.

Geht man vom Startpunkt aus und rechnet zeitlich vorwärts von einer Vorwärtstrajektorie.“ (Noppel 2017: S. 99)

Abbildung 16 stellt beispielhaft die Simulationsergebnisse von Trajektorien im Modellgebiet dar. In den Karten sind die Einstufung der Kaltluftentstehungsgebiete auf den unbebauten Flächen und die Anzahl der Tropennächte pro Jahr auf den bebauten Flächen hinterlegt. Ausgehend von den Quell- bzw. Zielgebieten können die Wege der Luft (violette Linien in den Karten) nachvollzogen werden.

Für die Einschätzungen der Wirkung eines Kaltluftabflusses ist des Weiteren zu ermitteln, wieviel Luft auf den Luftleitbahnen strömt. Dafür wurde im Projekt KLIMPRAX Stadtklima im Modellgebiet der Kaltluftvolumenstrom berechnet. Der Kaltluftvolumenstrom „gibt an, welches Luftvolumen pro Sekunde durch einen bestimmten Querschnitt fließt“ (Noppel 2017: S. 63). Für den Querschnitt wurden Schichtdicken von 20 m und 50m festgelegt. Für beide Schichtdicken wurde neben dem Luftvolumen auch die vertikal gemittelte Temperatur bestimmt, um zu erfassen, wie kalt die fließende Luft ist.

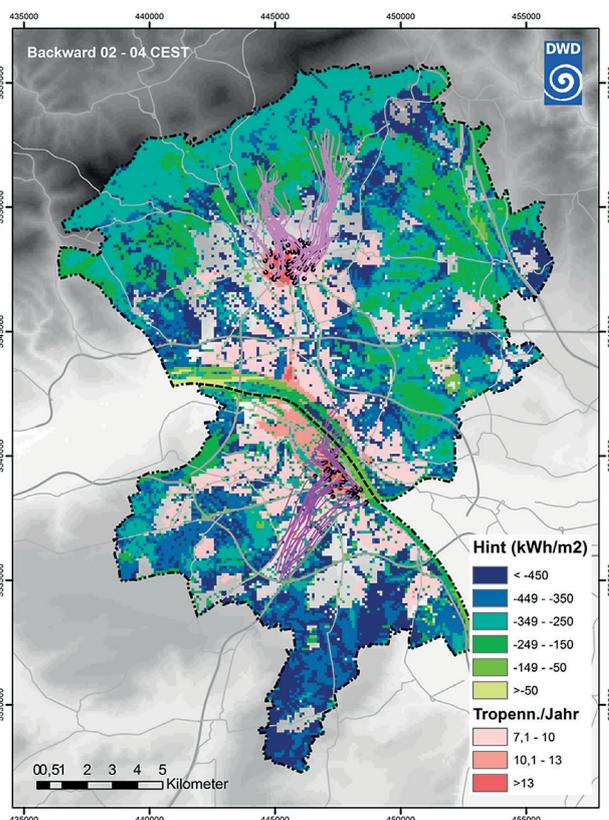
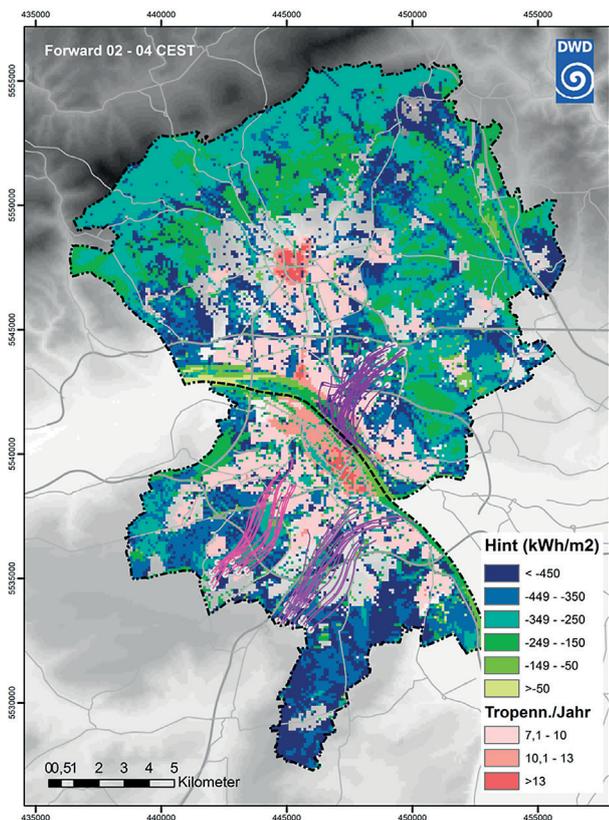


Abbildung 16: Vorwärtstrajektorien im Modellgebiet mit Start 2 Uhr und Ende um 4 Uhr (links) und Rückwärtstrajektorien mit Start um 4 Uhr und Ende um 2 Uhr (rechts) (Quelle: DWD 2017b)

Abbildung 17 zeigt die exemplarische Aufbereitung der Modellierungsergebnisse für einen Kartenausschnitt in Wiesbaden. In der Karte ist der Kaltluftvolumenstrom für die Schichtdicke von 20 m dargestellt. Die Pfeile zeigen die Richtung des **Volumenstroms** an. Ihre Länge entspricht der Stärke des Volumenstroms, ihre Farbe zeigt die mittlere Temperatur an. Je länger und blauer ein Pfeil ist, desto mächtiger und kälter ist der jeweilige Volumenstrom.

Volumenstrom

ist „das Volumen eines Mediums, das sich innerhalb einer Zeiteinheit durch einen Querschnitt bewegt. Wird in der Regel in m^3/s angegeben. Häufig wird der Begriff auch vereinfachend für die Volumenstromdichte verwendet, bei der der Volumenstrom auf die durchströmte Fläche bezogen wird.“ (Noppel 2017: S. 100)

Welche der hier dargestellten Ergebnisse einer Stadtklimamodellierung besonders interessant für die Planungspraxis sind, wie Sie die Daten für die Stadtplanung aufbereiten können und welche Kategorien Sie für die Bewertung ansetzen können, erfahren Sie ausführlich in **Kapitel 5**.

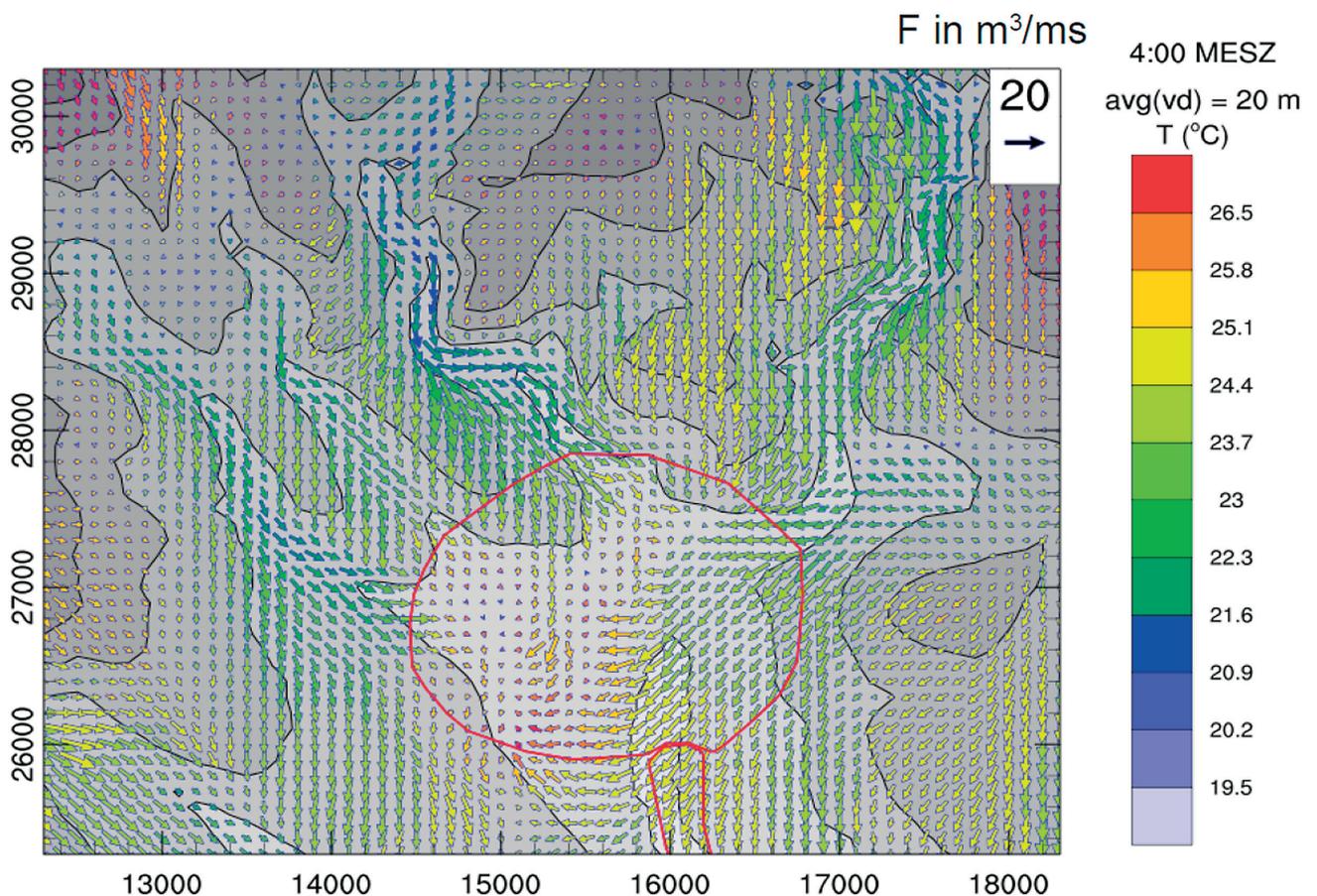


Abbildung 17: Volumenstrom für eine Schichtdicke von 20 m um 4 Uhr in Wiesbaden (Noppel 2017: S. 67)

4.2 Modellbasierte Analysen des Stadtklimas: Hinweise für Kommunen

Hinweis für den Leser

Dieses Kapitel richtet sich an Personen, die mit der Aufbereitung von Geoinformationen vertraut sind. Sollten diese in Ihrer Kommune nicht verfügbar sein, ist eine Vergabe an externe Dienstleister unumgänglich.

Zur Bewertung der Hitzebelastung anhand einer modellbasierten Analyse des Stadtklimas sind für die Ermittlung der Eingangsdaten und für die Weiterverarbeitung der Modellierungsergebnisse umfangreiche technische und fachliche Kenntnisse erforderlich. Das betrifft im speziellen den versierten Umgang mit Geoinformationssystemen und Stadtklimaanalysen. Dafür müssen geeignete Beschäftigte zeitlich verfügbar sowie die entsprechende technische Ausstattung vorhanden sein.

Dieses Kapitel kann ebenfalls für andere Vorgehensweisen zur Erstellung von Stadtklimaanalysen hilfreich sein. Es werden aber ausschließlich Erfahrungen und Erkenntnisse, die im Rahmen des Projekts KLIMPRAX Stadtklima bei der Vorbereitung und Weiterverarbeitung der modellbasierten Analyse des Stadtklimas in den Modellkommunen gesammelt wurden, thematisiert.

4.2.1 Aufbereitung der Eingangsdaten für das Stadtklimamodell MUKLIMO_3

Im Vorfeld der Stadtklimaanalyse bereiten die Kommunen in Abstimmung mit dem DWD Eingangsdaten zur Modellkonfiguration des hochauflösenden Stadtklimamodells MUKLIMO_3 auf und stellen sie zur Weiterverwendung bereit. Wichtige Eingangsdaten sind vor allem:

- Rasterdaten der Geländehöhe und
- Rasterdaten der Landnutzung bzw. der Bebauungsstruktur unter Angabe der Art der Landnutzung in Form der MUKLIMO_3 Landnutzungsklassen und deren jeweiligen typischen physikalischen Eigenschaften (beispielsweise mittlere Gebäudeflächenanteil, mittlere Gebäudehöhe, mittlerer Wandflächenindex oder mittlerer Versiegelungsgrad der nicht bebauten Fläche zwischen den Gebäuden).

Rasterdaten zur Geländehöhe sind beim Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) verfügbar und wurden dem DWD zur Verfügung gestellt. Die Daten basieren auf dem DGM50-Datensatz. Informationen zur Landnutzung und zur Bebauungsstruktur liegen in der jeweiligen Kommune vor, z. B. in Form von Realnutzungsdaten oder in Form einer Biotopkartierung. Ergänzend können Kommunen für Flächen, zu denen keine Landnutzungsinformationen vorliegen, auf öffentlich verfügbare Landnutzungsinformationen (z. B. CORINE-Datensatz) zurückgreifen.

Um diese Informationen als Eingangsdaten für die Stadtklimasimulation aufzubereiten, sind oftmals umfangreiche Arbeiten notwendig. Ein wichtiger Schritt zur Erstellung von Stadtklimaanalysen besteht darin, die vorhandenen Stadtstrukturen in die durch das Modell vorgegebenen Landnutzungsklassen zu transformieren. Dies geschieht mit Hilfe von modellabhängigen Klassen der Landnutzung, die die vorhandenen Bebauungsstrukturen möglichst exakt abbilden sollen. Die Anzahl der Klassen ist von Modell zu Modell verschieden. Bei einigen Modellen können bei Bedarf weitere Klassen hinzugefügt werden, etwa um baustrukturelle Besonderheiten einer Stadt in die Simulation aufzunehmen. Die Klassen der Landnutzung werden in Klassen der städtischen Bebauung und Klassen der unbebauten Landnutzung eingeteilt.

Die Aufbereitung der Landnutzung als Eingangsdaten für die Stadtklimasimulation erfolgt als Rasterdaten. Jedes Raster wird einer Landnutzungsklasse zugewiesen, für die verschiedene statistische Parameter festgelegt sind. Je nach Modell sind dies

- für die bebauten Modelllandnutzungsklassen u. a. der mittlere Gebäudegrundflächenanteil, die mittlere Gebäudehöhe, der mittlere Wandflächenindex, der mittlere Versiegelungsanteil der nicht bebauten Flächen zwischen den Gebäuden;
- für unbebaute Landnutzungsklassen z. B. die aerodynamische Rauigkeit, der mittlere Versiegelungsanteil der nicht bebauten Fläche, der Flächenanteil des nicht versiegelten Bereiches, der mit niedriger Vegetation bedeckt ist und die mittlere Baumhöhe (Noppel 2017).

Da die Eingangsdaten in jedem Modellierungsgebiet unterschiedlich sind, müssen vorbereitende Arbeiten

individuell auf die jeweilige Situation zwischen Kommune und der Institution, die die Stadtklimasimulationen durchführt, abgestimmt werden.

Mögliche Arbeitsschritte können am Beispiel der Erfahrungen im Projekt KLIMPRAX Stadtklima wie folgt zusammengefasst werden:

- 1. Qualitätskontrolle der Datengrundlage** zur Landnutzung durch Korrektur fehlerhafter Polygone³ und Ermittlung physikalischer Eigenschaften, wie mittlere Gebäudehöhe und Wandflächenindex (WAI) der Realnutzungsklassen. Bei der Berechnung des WAI können z. B. Schwierigkeiten auftreten, wenn die Polygon-Features nicht dem physikalischen Gebäude entsprechen. Diese Fehler führen zu einer Unter- oder Überschätzung der Seitenfläche und somit zu einem verzerrten WAI;
- 2. Reklassifizierung der Landnutzung** der Kommune und der umliegenden CORINE-Daten⁴, Zuweisung zu Landnutzungsklassen des Stadtklimamodells MUKLIMO_3 durch den DWD;
- 3. Zusammenführung der Landnutzungs-Layer;**
- 4. Ausschneiden auf das Modellgebiet;**
- 5. Polygon-Raster-Konvertierung** des Landnutzungs-Layers (50- und 100 m-Raster): Bei der Konvertierung von Landnutzungsdaten für bestimmte Raumeinheiten (Polygone) in Rasterzellen ist einer Rasterzelle, in der verschiedene Landnutzungen enthalten sind, ein eindeutiger Wert zuzuweisen;
- 6. Konvertierung in ASCII-Grids.**

Alternativ gibt es auch Möglichkeiten, Satellitenprodukte (CORINE-Daten, Urban Atlas) oder Produkte der Landesvermessungsämter (z.B. ALKIS, ATKIS) zu verwenden. Das genaue Vorgehen und welche Daten genutzt werden, hängt dabei vom gewünschten oder benötigten Detaillierungsgrad ab.

³Beispielsweise verbessert die Auflösung von Multipart-Polygonen, bei denen mehrere räumlich getrennte Gebäudeobjekte einem Polygon zugeordnet sind, in Singlepart-Polygone, also Einzelobjekte, sowie die Korrektur überlagernder Polygone die Qualität der Zuordnung der Einzelgebäude zu den Nutzungsklassen.

⁴Die Auflösung der CORINE-Datensätze ist begrenzt, reicht jedoch aus um den Einfluss der Umgebung auf das Modellgebiet zu simulieren. „Bei der Interpretation der Ergebnisse außerhalb der Stadtgebiete, muss die geringe Auflösung der Eingangsdaten jedoch berücksichtigt werden“ (DWD 2017a: 14).

4.2.2 Technische Nutzung der Modellierungsergebnisse des Stadtklimamodells MUKLIMO_3

Die Modellierungsergebnisse der Stadtklimaanalyse und -projektion sind auf Vollständigkeit zu prüfen und für die Nutzung sorgfältig aufzubereiten. Die Erfahrungen, die im Rahmen des Projekts KLIMPRAX Stadtklima bei der Aufbereitung und Weiterverarbeitung der Modellierungsergebnisse gewonnen wurden, sind im Folgenden als Hinweise für die kommunale Planungspraxis zusammengefasst.

Modellierungsergebnisse und weitere Datengrundlagen

Für die Analyse des Stadtklimas und zur Auswertung der Projektionen des künftigen Stadtklimas bilden im Projekt KLIMPRAX Stadtklima die mit dem Stadtklimamodell MUKLIMO_3 ermittelten Ergebnisse die Ausgangslage. Neben den Modellierungsergebnissen dieses und anderer Stadtklimamodelle sind alternative Vorgehensweisen zur Ermittlung von Erkenntnissen zum Stadtklima möglich (siehe **Kapitel 5**).

Darüber hinaus sind Geodaten mit Bezug zur räumlichen Planung als Arbeitsgrundlage erforderlich, insbesondere:

- Abgrenzung der Stadtteile und statistischer Bezirke
- Flächennutzungen gemäß Flächennutzungsplan
- Lage von sensitiven Einrichtungen, wie Altenheime, Krankenhäuser, Kindergärten etc.

Weitere Pläne oder Dokumente der Raum- und Stadtplanung, wie z. B. ein aktuelles Luftbild, ein amtlicher Stadtplan oder Bebauungspläne, können insbesondere für weiterführende Analysen von Interesse sein.

Optional können Ergebnisse früherer Studien, z. B. zur Durchlüftung des Stadtgebiets, im Rahmen der Stadtklimaanalyse berücksichtigt werden. Diese können beispielsweise zur Identifizierung von Quell- und Zielgebieten zur Simulation von Trajektorien⁵ hinzugezogen werden (siehe Kapitel 4.1.2). Zur Validierung von Modellergebnissen dienen bestehende Fachgutachten, Messfahrten durch das Stadtgebiet oder weitere Daten mit konkreten Klimawerten, die mit der modellierten Messverteilung verglichen werden können.

Übergabe der Ergebnisse aus der Modellierung des Stadtklimas an die Kommunen

Die Übergabe der Ergebnisse aus einer Modellierung des Stadtklimas, im Projekt KLIMPRAX Stadtklima durch den DWD, an die Kommunen erfolgt im Datenformat eines Geoinformationssystems. Zu empfehlen ist die Übergabe als Rasterdaten (z. B. ASCII-Daten mit GIS-Header oder GeoTIFF). Diese eignen sich zur Darstellung verschiedener Indikatoren zur Wärmebelastung und Abkühlungsleistung von Flächen. Daneben sind für einige wenige Parameter die Darstellung und Übergabe als Vektordaten sinnvoll. Im Projekt KLIMPRAX Stadtklima ist dies für die Ergebnisse der Kaltlufttrajektorien der Fall.

Auf Basis dieser Datenformate können die Modellierungsergebnisse weiter analysiert und für die kommunale Planungspraxis übersetzt werden (siehe **Kapitel 5**).

Aufbereitung der Ergebnisse aus der Modellierung des Stadtklimas mit Hilfe einer Geoinformationssystem-Software

Liefert die Institution, die Ihre Stadtklimamodellierung durchgeführt hat, die Modellierungsergebnisse in Punkt-Shapes, sind die Daten in Rasterdaten umzuwandeln. Zu beachten ist, dass die Attribute der Punkt-Shapes üblicherweise den Mittelpunkt einer Rasterzelle beschreiben. Algorithmen zur Transformation von Punkt-Shapes in Rasterzellen nutzen den Punkt häufig jedoch als Rasterzellenursprung, d. h. der Punkt wird in eine Ecke des Rasters gesetzt. Wenn ein Algorithmus eine automatische Umwandlung des Punkt-Shapes als Mittelpunkt nicht erlaubt, müssen die Punktkoordinaten vorab um die Hälfte der Zellengröße auf der Horizontal- und Vertikalachse verschoben werden, beispielsweise um 50 m bei einer Rasterseitenlänge von 100 m.

Daneben ist für die Weiterverarbeitung von Daten in einer Geoinformationssystem-Software die Kartenausdehnung, also die Gesamtbreite und -höhe aller Raster, zu berechnen. Dazu stehen zwei Varianten zur Verfügung:

Ist die Anzahl der Reihen und Spalten von Punkt-Shapes bekannt, so lässt sich die vertikale bzw. horizon-

tales Ausdehnung durch Multiplikation der Anzahl der Reihen bzw. Spalten mit der Kantenlänge eines Rasters ermitteln.

Alternativ kann die Ausdehnung als Differenz der Koordinaten der äußersten Einzelpunkte des Punkt-Shapes ermittelt werden. Da sich die Koordinaten auf den Mittelpunkt der jeweiligen Rasterzelle beziehen, entsprechen diese jedoch nicht der Gesamtausdehnung. Daher wird zum maximalen vertikalen Koordinatenwert der Punkt-Shapes eine halbe Rasterbreite addiert, ebenso wird vom minimalen vertikalen Koordinatenwert der Punkt-Shapes eine halbe Rasterbreite subtrahiert. Die Ausdehnung des betrachteten Gebiets entspricht der Differenz aus den so ermittelten maximalen und minimalen vertikalen Koordinaten. Zur Ermittlung der horizontalen Ausdehnung ist das Vorgehen analog anzuwenden.

Aufbereitung notwendiger Informationen zur Stadtplanung mit Hilfe einer Geoinformationssystem-Software

Informationen aus dem Bereich der Raumplanung und weitere notwendige raumbezogene Objekte einer Kommune sollten als Vektordaten vorliegen. Vektordaten können in verschiedenen Formaten empfangen werden (z. B. ESRI-Shapefiles, DXF-Dateien). Das Einlesen einiger Formate benötigt spezifische Werkzeuge, die sich je nach verwendeter Software unterscheiden.

Zudem ist eine Bearbeitung der Vektordaten vor der Speicherung in der Datenbank notwendig, wenn in den gelieferten Vektordaten nur einzelne Linien enthalten sind. Ein Geometriewerkzeug des GIS-Programms transformiert die Linien in Polygone, um den Flächenbezug der Objekte herzustellen. So ist beispielsweise eine Flächennutzung oder eine administrative Einheit nicht weiter nur von einzelnen Linien begrenzt, sondern das entsprechende Polygon zeigt den vollständigen Raumbezug des Objekts auf.

Falls Kartensymbole als Feature mitgespeichert wurden, sollten diese sinnvollerweise aus dem Layer entfernt werden. Das Vorgehen ist abhängig vom Einzelfall, beispielsweise ist die Auswahl von Objekten möglich, die den Ausdruck „Symbol“ in einer Attributbeschreibung beinhalten.

Die Flächennutzungen einer Kommune werden für die Analyse des Stadtklimas zusammengefasst. Entscheidend für die Aggregation ist, ob die Flächennutzung nur nachts oder auch tagsüber ein Aufenthaltsort der Bevölkerung ist. Da sich die Bevölkerung nachts vorrangig in ihren Wohngebäuden aufhält, sind zur Bewertung der Nachtsituation Wohn- und Mischbauflächen zusammenzufassen. Für die Tagsituation spielen zusätzlich alle weiteren bebauten Flächen wie gewerbliche Bauflächen sowie Flächen der Ver- und Entsorgung, eine Rolle. Diese Flächennutzungen sollten ebenfalls zusammengefasst werden. Die zwei Aggregationen bilden zusammen die Siedlungsfläche, die als Maske für das Ausschneiden der Rasterdaten genutzt wird. Drittens sollten alle unbebauten Flächen wie Wasser-, Grün- und Waldflächen zusammengefasst werden. Für spezifische Fragestellungen und Untersuchungen ist es sinnvoll, die im Flächennutzungsplan zugewiesene Flächennutzung weiter als Attribut mitzuführen.

Wahl des Koordinatensystems

Um Analysen des Stadtklimas durchzuführen, sind alle Daten in ein einheitliches Koordinatensystem zu projizieren. Die EU empfiehlt das Europäische Terrestrische Referenzsystem 1989 (ETRS89) als Bezugssystem.

Verschneidung der Modellierungsergebnisse mit den Geodaten zur Stadtplanung

Die Analyse des Stadtklimas erfolgt durch Verschneidung der Modellierungsergebnisse mit planungsrelevanten Datengrundlagen. Um stadtklimatische Erkenntnisse hinsichtlich der Belastung von Gebieten abzuleiten (vgl. **Modul 2**) sind die Rasterdatensätze zu relevanten Indikatoren (z. B. Heiße Tage) auf die Siedlungsflächen zu beziehen. Es empfiehlt sich, einen Puffer in Höhe der Rasterzellenkantenlänge um die Siedlungsgebiete zu legen. So wird sichergestellt, dass alle Rasterzellen dargestellt werden, die mindestens zum Teil auf den Siedlungsflächen liegen. Ebenso sind die Datensätze der relevanten Indikatoren, die Erkenntnisse zum Kaltluftbildungspotenzial und zur Einstufung der Abkühlungsleistung liefern (vgl. **Modul 1** und

Modul 2), mit unbebauten Flächen in Verbindung zu bringen und ein Puffer um diese Flächen vorzusehen.

Für die Berechnung von Durchschnittswerten für räumliche oder administrative Einheiten aus den Daten der Einzelraster können entweder die Daten der gelieferten Punkt-Shapes oder Mittelwerte der Rasterdaten genutzt werden. Den Punkten können Attributwerte der statistischen oder räumlichen Einheit zugeordnet werden. Für Punkte einer bestimmten räumlichen Einheit lässt sich anschließend der Durchschnittswert bilden.

⁵ Trajektorien werden im Glossar erläutert.

5 Fachliche Grundlagen aufbereiten: Methodenbaukasten zur Bewertung der Hitzebelastung und der Sensitivität der Bevölkerung (menschliche Gesundheit)

5.1 Einführung zum Methodenbaukasten

Informationen aus Klimaanalysen und -projektionen sowie weitere Datengrundlagen, wie beispielsweise Bevölkerungsdaten, müssen in verständlicher und für die Praxis sinnvoller Form aufbereitet werden. Der Methodenbaukasten soll

- Kommunen eine Vorgehensweise zur Aufbereitung, Bewertung und kartografischen Ergebnisdarstellung von Klimaanalysen und -projektionen aufzeigen,
- mögliche Wirkungen von Hitzeextremen auf die Gesundheit der Bevölkerung darstellen und
- Methoden zur Durchführung von Sensitivitätsanalysen unter dem Aspekt der menschlichen Gesundheit vorstellen.

Angesichts der projizierten Zunahme von Hitzeextremen und den damit verbundenen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit ist es sinnvoll, zu untersuchen, in welchen Gebieten einer Stadt im Sinne des Schutzes der Gesundheit der Bevölkerung prioritär gehandelt werden muss. Dafür ist zu ermitteln, in welchen Wohn- oder Mischgebieten die Exposition der Bevölkerung gegenüber Hitze besonders hoch ist. Das Gesundheitsrisiko durch anhaltend hohe Temperaturen während Hitzeperioden betrifft die Bevölkerung in unterschiedlicher Weise (u. a. Benmarhnia et al. 2015). Berufsgruppen, deren Tätigkeitsbereich vorwiegend im Freien liegt, haben aufgrund ihrer Exposition beispielsweise ein hohes gesundheitliches Risiko. Aber auch physiologische Faktoren wie das Lebensalter oder chronische Erkrankungen sowie das individuelle Verhalten beeinflussen das Gesundheitsrisiko. Eine Bevölkerungsgruppe, die gegenüber Hitze besonders empfindlich ist, wird unter dem Aspekt menschliche Gesundheit gegenüber Hitzeextremen als sensitiv bezeichnet. In die Betrachtung eingeschlossen wird daher ebenfalls die räumliche Verteilung sensibler Bevölkerungsgruppen in städtischen Wohngebieten.

Betroffenheit

betrachtet die Klimawirkung auf ein System oder Handlungsfeld (z.B. Wirtschaftssektor, Bevölkerungsgruppe, Ökosystem) unter Berücksichtigung der jeweiligen Sensitivität und des räumlichen Vorkommens (vgl. UBA 2017: S. 10). Die Betroffenheit der Bevölkerung im Stadtgebiet ist also das Ergebnis der dort vorliegenden temperaturbedingten Folgen des Klimawandels (Exposition) und der Sensitivität der Bevölkerung (UBA 2017).

Die Wirkung von Hitzeextremen auf die Bevölkerung im Stadtgebiet ist einerseits abhängig vom klimatischen Einfluss sowie von dessen räumlichem Vorkommen und andererseits von der Sensitivität der Bevölkerung und deren räumlicher Verteilung (vgl. UBA 2017). Die Verknüpfung beider Aspekte wird im Folgenden als „Betroffenheit“ der Bevölkerung definiert.

Für jeden dieser drei Aspekte (Exposition, Sensitivität und Betroffenheit) können Schlussfolgerungen und Planungshinweise für das kommunale Handeln abgeleitet werden. Beispielsweise lassen sich durch stadtplanerische Maßnahmen die Effekte des Klimawandels auf die Erwärmung in städtischen Gebieten reduzieren. Außerdem können präventive Maßnahmen des öffentlichen Gesundheitsdienstes die Anpassungsfähigkeit betroffener Bevölkerungsgruppen verbessern und somit Effekte der Erwärmung städtischer Gebiete auf die Betroffenheit der Bevölkerung abgemildert werden.

Der Methodenbaukasten baut auf anerkannten Grundlagen wie der VDI Richtlinie zur Umweltmeteorologie (VDI 3787) auf und beruht auf den meteorologischen Erkenntnissen, welche vom DWD in der Stadtklimaanalyse Wiesbaden/Mainz (siehe **Kapitel 4**) erarbeitet wurden. Der Methodenbaukasten zeigt neben den möglichen Aufbereitungsansätzen und Methoden aber auch deren Grenzen auf und gibt gegebenenfalls Vorschläge für Weiterentwicklungen. Dadurch bieten sich den Anwendern Alternativen, die je nach Zielen und Rahmenbedingungen gewählt werden können.

Zusätzlich zu den im Methodenbaukasten vorgestellten Kriterien zur Analyse der Sensitivität der Bevölkerung gegenüber Hitzebelastungen wirken sogenannte Co-

Faktoren auf die Gesundheit der Bevölkerung. Ein relevanter Co-Faktor für die Gesundheitsrisiken bei Hitzeextremen scheint die Luftqualität (Feinstaub- und Ozonbelastung) zu sein. Die Studienlage hierzu ist heterogen (Benmarhnia et al. 2017, Analitis et al. 2014, Breitner et al. 2014a), daher können keine eindeutigen Zusammenhänge formuliert werden. Verfügt eine Stadt über Modellierungen der Luftqualität, kann dies dennoch als ergänzende Information hinzugezogen werden.

5.2 Nutzung des Methodenbaukastens

Der Methodenbaukasten unterstützt Kommunen, insbesondere kommunale Fachplaner, bei der Identifikation und Bewertung relevanter Aspekte der Hitzebelastung für die Planungspraxis.

Grundsätzlich kann der Methodenbaukasten von Kommunen jeglicher Größe verwendet werden. Eine reine Betrachtung der Größe einer Kommune im Kontext von Klima- und Betroffenheitsanalysen ist nicht zielführend, da weitere Faktoren von entscheidender Bedeutung sein können. Liegen Kommunen kleiner bis mittlerer Größe beispielsweise in einem Verdichtungsraum, sind sie exponierter gegenüber Hitzebelastungen als Kommunen in ländlicheren Regionen (siehe Abbildung 18).

Auch die regionalklimatischen Verhältnisse beeinflussen die Hitzebelastung erheblich. Abbildung 19 verdeutlicht die Unterschiede der saisonalen Mitteltemperaturen in Hessen: Zwischen Nord- und Südhessen kann der Unterschied der Mitteltemperatur im Sommer bis zu 3 °C betragen.

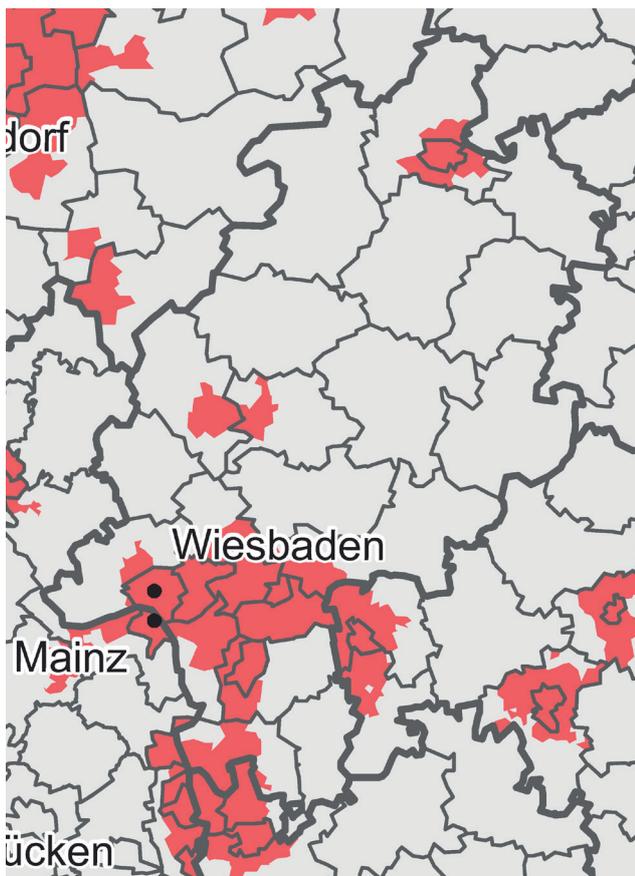


Abbildung 18: Verdichtungsräume in Hessen: Rhein-Main-Gebiet, Gießen und Kassel (Quelle: BBSR 2017)

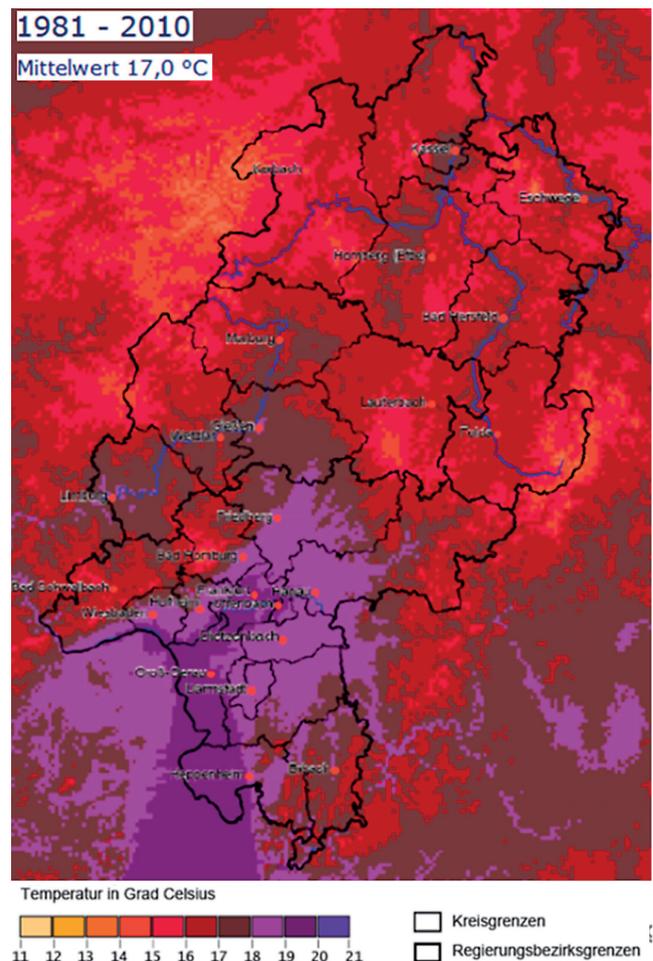


Abbildung 19: Verteilung der saisonalen Mitteltemperatur Sommer in Hessen (Quelle: HLNUG - Fachzentrum Klimawandel Hessen o.J.)

Tabelle 3 enthält Kriterien, nach denen sich aus der Betroffenheit einer Kommune der Handlungsbedarf ableiten lässt. Die Dringlichkeit des Handlungsbedarfs ist farblich unterschiedlich gekennzeichnet. Im Methodenbaukasten sind entsprechend dieser Farbsymbole Maßnahmen vorgeschlagen, welche Kommunen ergreifen können, um negative Folgen der Hitzebelastung zu vermeiden.

Die Vorgehensweise zur Sensitivitätsanalyse der Bevölkerung ist im Wesentlichen von der Verfügbarkeit der benötigten Daten abhängig, sodass diesbezüglich keine Empfehlungen zur Methodenwahl gegeben werden. In kleinen Kommunen (weniger als 30.000 Einwohner) ist die Durchführung einer Sensitivitätsanalyse der Bevöl-

kerung weniger dringlich, da tendenziell weniger neue Erkenntnisse gewonnen werden können als bei größeren Kommunen.

Tabelle 3: Kriterien zur Abschätzung der Dringlichkeit des Handlungsbedarfs

Größe der Kommune	Groß über 70.000 Einwohner	Mittel 30.000 bis 70.000 Einwohner	Klein weniger als 30.000 Einwohner
Kriterium	Dringlichkeit des Handlungsbedarfs		
Lage: Verdichtungsraum (z.B. Rhein-Main, Kassel, Gießen)			
Lage: ländlicher Raum			
Topographie: Talkessel			
Kuppen-Höhenlage			
Klimazone warm-trocken			
Klimazone Mittelgebirge			
Sonstige Faktoren: Kurort			
<p>Die Farbsymbole spiegeln den Handlungsbedarf einer Kommune wider und bieten eine Orientierung zur Auswahl von geeigneten Methoden.</p> <ul style="list-style-type: none">  Sehr hoher Handlungsbedarf (in der Regel hohe Komplexität der Stadtstruktur und der meteorologischen Prozesse)  Hoher Handlungsbedarf  Mittlerer Handlungsbedarf bei in der Regel geringerer Komplexität der Stadt-/Siedlungsstruktur <p>Lesebeispiel: Kriterien wie Lage im Verdichtungsraum oder Topografie Talkessel ergeben für eine mittelgroße Kommune mit bis zu 70.000 Einwohnern einen hohen Handlungsbedarf.</p>			

5.3 Module des Methodenbaukastens

Der Methodenbaukasten umfasst fünf **Module**:

- Modul 1:** Planungsrelevante stadtklimatische Erkenntnisse
- Modul 2:** Bewertung von klimatischen Belastungs- und Ausgleichsräumen
- Modul 3:** Ableiten von Planungshinweisen für die kommunale Planung
- Modul 4:** Sensitivitätsanalyse Gesundheit
- Modul 5:** Betroffenheit der Bevölkerung im Stadtgebiet

Jedes **Modul** besteht aus mehreren Bausteinen, in denen unterschiedliche Vorgehensweisen thematisiert werden. Nach dem Baukastenprinzip können Sie je nach Handlungsbedarf die Modulbausteine bei der Anwendung kombinieren, Sie können diese jedoch ebenso weiterentwickeln oder modifizieren.

Die Inhalte der hier vorgestellten Module sind in den KLIMPRAX Stadtklima-Modellstädten Mainz und Wiesbaden getestet und in Workshops und Gesprächen von weiteren hessischen und rheinland-pfälzischen Kommunen verifiziert worden. Die Ergebnisse und die dabei entwickelten Karten sind beispielhaft dargestellt.

Tabelle 4 bietet eine Übersicht über die Module und deren Inhalte (Bausteine).

Modul 1 enthält Methoden zur Gewinnung der stadtklimatischen Erkenntnisse aus den Modellierungsergebnissen, wie MUKLIMO_3 (siehe **Kapitel 4**) oder aus vergleichbaren Stadtklimamodellen. Weiterhin wird ein mögliches Vorgehen zur Abschätzung stadtklimatischer Parameter anhand von typischen Bebauungsstrukturen und Flächennutzungen dargestellt.

In **Modul 2** werden die Indikatoren und Kriterien zur Ermittlung und Bewertung der Raumkategorien im Hinblick auf deren stadtklimatische Einstufung beschrieben, d. h., hier werden Aufbereitungs- und Bewertungsschritte erläutert.

Modul 3 stellt Planungshinweise für diese Raumkategorien zusammen und gibt Hinweise zu ausgewählten Fragestellungen.

Modul 4 enthält Methoden zur Abschätzung der Sensitivität der Bevölkerung von städtischen Wohngebieten gegenüber Hitzeextremen.

Modul 5 beschreibt Methoden zur Ermittlung der Betroffenheit der Bevölkerung im Stadtgebiet durch Überlagerung der Ergebnisse aus **Modul 2** und **4**.

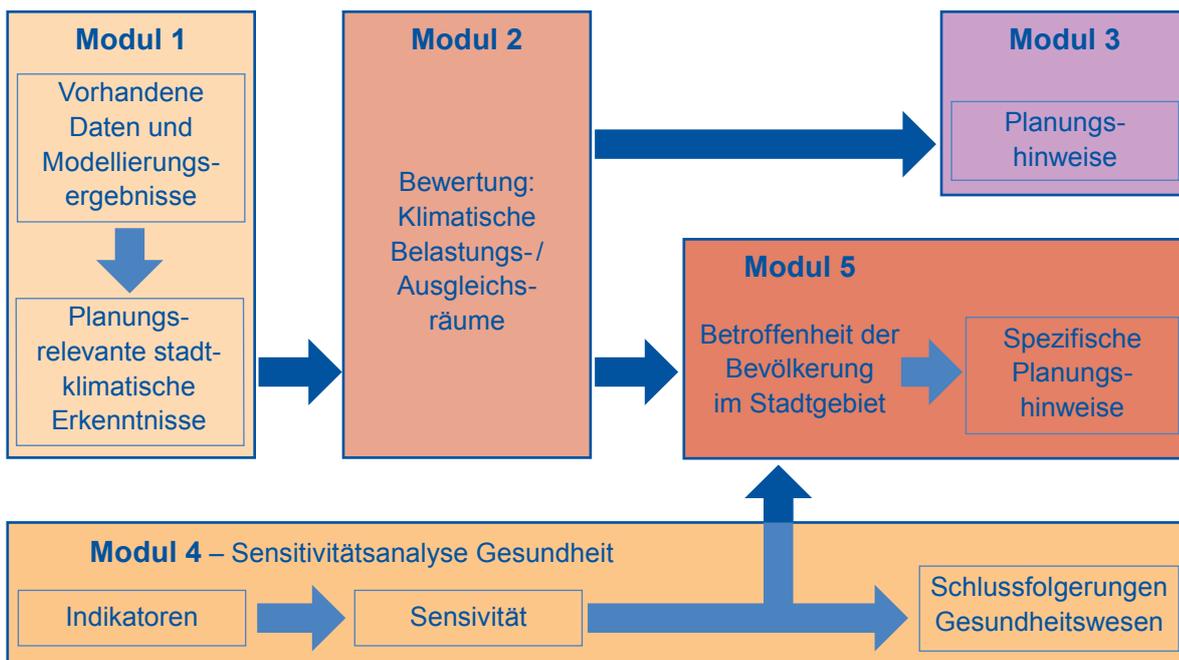


Abbildung 20: Übersicht Methodenbaukasten zur Bewertung der Hitzebelastung und der Sensitivität der Bevölkerung (menschliche Gesundheit). (Quelle: eigene Darstellung)

Tabelle 4: Übersicht der Module und Bausteine des Methodenbaukastens

Modul 1: Stadtklimatische Erkenntnisse

Baustein 1.1	Einführung in Modul 1
Baustein 1.2	Wärme im Stadtgebiet – Merkmal „Temperatur“
Baustein 1.3	Wärme im Stadtgebiet – Merkmal „Klimatologische Kenntage“ (heute/Zukunft)
Baustein 1.4	Kaltluftentstehungsgebiete
Baustein 1.5	Kaltluftabfluss
Baustein 1.6	Abschätzung für typische Bebauungsstrukturen und Flächennutzungen

Modul 2: Bewertung von klimatischen Belastungs- und Ausgleichsräumen

Baustein 2.1	Einführung in Modul 2
Baustein 2.2	Bioklimatisch hoch/mittel belastete Gebiete (B1 und B2), gering belastete Gebiete (C), unbelastete Gebiete (D)
Baustein 2.3	Ausgleichsräume mit hoher klimatischer Bedeutung (A1), mittlerer klimatischer Bedeutung (A2), geringer klimatischer Bedeutung (A3)
Baustein 2.4	Belastungsgebiete in der Zukunft

Modul 3: Ableiten von Planungshinweisen für die kommunale Planung

Baustein 3.1	Einführung in Modul 3
Baustein 3.2	Planungshinweise für Belastungsgebiete B1 und B2
Baustein 3.3	Planungshinweise für Belastungsgebiete C und D
Baustein 3.4	Planungshinweise für Ausgleichsräume A1, A2 und A3

Modul 4: Sensitivitätsanalyse Gesundheit

Baustein 4.1	Einführung in Modul 4
Baustein 4.2	Sensitivität der Bevölkerung – Basisindikatoren
Baustein 4.3	Sensitivität der Bevölkerung – Konzentration in städtischen Räumen
Baustein 4.4	Sozialindex
Baustein 4.5	Sensitivität in der Zukunft

Modul 5: Betroffenheit der Bevölkerung im Stadtgebiet

Baustein 5.1	Einführung in Modul 5
Baustein 5.2	Betroffenheit in der Gegenwart
Baustein 5.3	Potenzielle Betroffenheit in der Zukunft

Modul 1: Stadtklimatische Erkenntnisse

Ziel und Nutzen Modul 1

Damit Sie fundiert darstellen können, wie sich der Klimawandel momentan und zukünftig konkret auf Ihre Kommune auswirkt und welche Maßnahmen der Anpassung notwendig sind, benötigen Sie entsprechende belastbare Grundlagen. Aus diesen Grundlagen muss u. a. hervorgehen, wie die Hitzebelastung im Stadtgebiet verteilt ist und welche Flächen im Stadtgebiet wichtige Ausgleichsfunktionen übernehmen können.

Es gibt verschiedene Datengrundlagen, die Sie für die Ableitung von Erkenntnissen zum Ausmaß und räumlichen Verteilung der Hitzebelastung in Ihrer Kommune nutzen können. Diese unterscheiden sich z. B. hinsichtlich des Aufwands bei der Erhebung und Bearbeitung, der Tiefe und Genauigkeit der ableitbaren Aussagen und der Eignung für unterschiedliche räumliche und regionale Fragestellungen.

In diesem Modul wird Ihnen vorgestellt, welche unterschiedlichen Datengrundlagen Sie nutzen können und wie Sie daraus jeweils die relevanten Erkenntnisse ableiten.

Aufbau Modul 1

Das Modul umfasst insgesamt sechs Bausteine:

- ➔ Baustein 1.1: Einführung in **Modul 1**
- ➔ Baustein 1.2: Wärme im Stadtgebiet – Merkmal „Temperatur“
- ➔ Baustein 1.3: Wärme im Stadtgebiet – Merkmal „Klimatologische Kenntage“ (heute/Zukunft)
- ➔ Baustein 1.4: Kaltluftentstehungsgebiete
- ➔ Baustein 1.5: Kaltluftabfluss
- ➔ Baustein 1.6: Abschätzung für typische Bebauungsstrukturen und Flächennutzungen

In der Moduleinführung (➔ **Baustein 1.1**) erhalten Sie einen Überblick zu den drei grundlegenden Informationen, die als Basis für die Bewertung der stadtklimatischen Situation im Stadtgebiet von Bedeutung sind. Für eine ganzheitliche Betrachtung der stadtklimatischen Situation ist die Auseinandersetzung mit allen drei Themen sinnvoll.

In den ➔ **Bausteinen 1.2 bis 1.5** werden Ihnen unterschiedliche Methoden zur Gewinnung dieser stadtklimatischen Erkenntnisse aus Modellierungsergebnissen, wie beispielsweise von MUKLIMO_3 bereitgestellt, aufgezeigt.

Im ➔ **Baustein 1.6** bekommen Sie Hinweise für eine vereinfachte Grundlagenermittlung anhand **typischer Bebauungsstrukturen und Flächennutzungen**.

BAUSTEIN 1.1: EINFÜHRUNG IN MODUL 1



INHALTE IN MODUL 1 STADTKLIMATISCHE ERKENNTNISSE

Für die Bewertung der stadtklimatischen Situation in Bezug auf Hitze gibt es drei grundlegende Informationen, die als Basis wichtig sind (planungsrelevante stadtklimatische Erkenntnisse):

- **Wärme im Stadtgebiet:** Ausmaß und Verteilung von Wärme im Stadtgebiet geben Auskunft über bioklimatisch belastete oder unbelastete Gebiete (➔ **Modul 2**). Entsprechende Schlussfolgerungen für die Planungspraxis sind u. a. von der Lage dieser Gebiete im Stadtgefüge und der Sensitivität der dortigen Bevölkerung abhängig (➔ **Modul 3 und 4**).
- **Kaltluftentstehungsgebiete:** Kaltluftentstehungsgebiete sind als Ausgleichsräume von Bedeutung (➔ **Modul 2**).
- **Kaltluftabfluss**⁶: Ventilationsbahnen (auch Luftleitbahnen genannt) stellen die Verbindung zwischen den Kaltluftentstehungsgebieten und Räumen her, in denen sie wirken (Durchlüftung zum thermischen Ausgleich, ➔ **Modul 2**).

Es gibt verschiedenen **Datengrundlagen**, die sich eignen, um entsprechende Erkenntnisse zu den o. g. Themen abzuleiten:

- Numerische Modellierungen des Stadtklimas (z. B. Fitnah, MUKLIMO_3)⁷
- Kaltluftabflussmodelle (z. B. KLAM_21, KALM)
- Schlussfolgerungen aus Bebauungsdichte, Oberflächenstrukturen und Relief (z. B. Klimatope nach VDI 3787 Blatt 1)
- Messungen (z. B. Profilmessfahrten, Thermalbefliegungen)
- Abschätzung aus regionalklimatischen Analysen

Abbildung 21 zeigt, welche Daten und Modellierungsergebnisse genutzt und kombiniert werden können, um zu planungsrelevanten stadtklimatischen Erkenntnissen (Wärme, Kaltluftentstehung und Kaltluftabfluss) zu gelangen.

Bioklimatische Belastung

„Zu den bioklimatischen Belastungsfaktoren zählen insbesondere Wärmebelastung, Strahlungsarmut und schadstoffhaltige Luft.“ (Noppel 2017) Das Bioklima generell „beschreibt die Gesamtheit aller atmosphärischen Einflussgrößen auf den menschlichen Organismus. Entsprechend ihrer Ausprägung und Wirkung werden sie als belastend, schonend oder als Reiz empfunden.“ (Noppel 2017)

Kaltluftentstehungsgebiete

sind vor allem landwirtschaftlich genutzte Freiflächen (Wiesen, Felder, Äcker mit geringem Gehölzbestand), auf denen sich auf Grund einer negativen Strahlungsbilanz, insbesondere bei guten nächtlichen Ausstrahlungen, die Oberfläche und somit auch die darüber liegenden Luftmassen verhältnismäßig rasch abkühlen (HLNUG 2017).

⁶Modelliert werden Kaltluftbildung und -abflüsse. Für die städtische Durchlüftung ist insbesondere die unbelastete Kaltluft („Frischluff“) von Bedeutung. Hierfür sind weitere lufthygienische Modellierungen oder Messungen erforderlich. Aufgrund der hochkomplexen Vorgänge muss der Methodenbaukasten auf Kaltluftbildung und -strömungen beschränkt bleiben.

⁷ Übersicht über ausgewählte Modelle siehe Glossar

BAUSTEIN 1.1: EINFÜHRUNG IN MODUL 1



Modul 1

Die **Modellierungsergebnisse** beruhen i. d. R. auf einer wind-schwachen, wolkenlosen Wetter-lage. Bei dieser Wetterlage bilden sich die durch Oberflächenformen verursachten Temperaturunter-schiede am deutlichsten aus. Die Unterschiede zwischen Innenstadt und dem umgebenden Freiland betragen beispielsweise in Wies-baden/Mainz um 4 Uhr über 10 °C und mehr.

Strahlungsnacht

„Von einer windschwachen Strah-lungsnacht wird dann ausgegan-gen, wenn die Windgeschwindig-keit im Stundenmittel höchstens 2,6m/s (oder 5kn) und der Bede-ckungsgrad des Himmels mit Wol-ken höchstens 4 Achtel beträgt [...].“ (Noppel 2017: S. 100)

Gewinnung von planungsrelevanten stadtklimatischen Erkenntnissen aus Modellierungsergebnissen

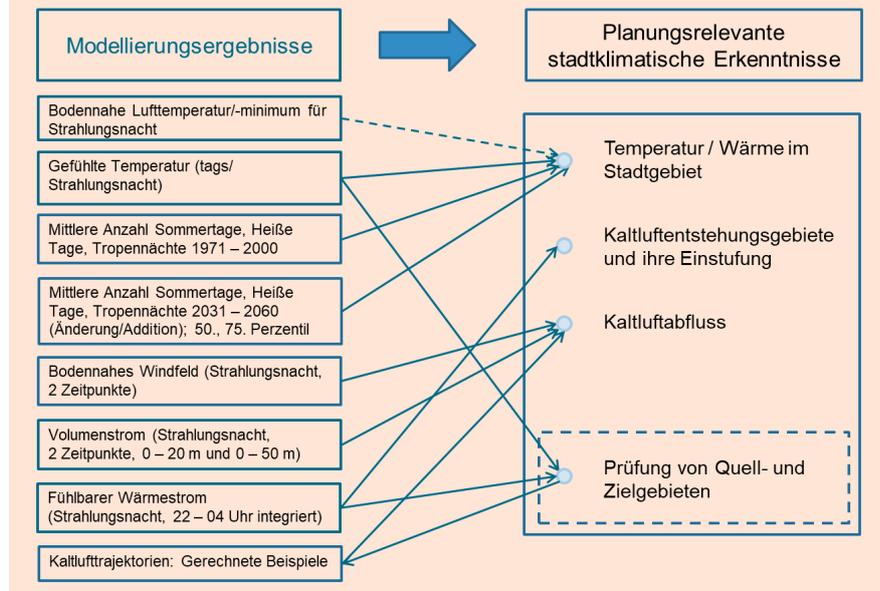


Abbildung 21: Gewinnung von planungsrelevanten stadtklimatischen Erkenntnissen aus Modellierungsergebnissen (Quelle: eigene Darstellung)

Welche Methoden sich eignen, stadtklimatische Erkenntnisse aus Model-lierungsergebnissen (z. B. MUKLIMO_3) abzuleiten, wird in den ➔ **Bausteinen 1.2, 1.3, 1.4 und 1.5** beschrieben.

Hinweise zur Abschätzung stadtklimatischer Erkenntnisse anhand von typischen Bebauungsstrukturen stellt ➔ **Baustein 1.6** vor.

In der Praxis wird häufig auch eine **Kombination verschiedener Methoden** verwendet, beispielsweise werden die Schlussfolgerungen aus Bebauungs-strukturen kombiniert mit der Modellierung von Kaltluftabflüssen.

BAUSTEIN 1.2: WÄRME IM STADTGEBIET MERKMAL TEMPERATUR



EINLEITUNG UND ZIELE

In diesem Baustein wird beschrieben, wie über die Ermittlung der Lufttemperatur und deren Verteilung bzw. der gefühlten Temperatur die Datenbasis für die Beurteilung der Wärmebelastung im Stadtgebiet geschaffen wird.

ERLÄUTERUNG UND EIGNUNG

Für die Beurteilung der Wärmebelastung im Stadtgebiet ist die gefühlte Temperatur besonders interessant. Die Verteilung der gefühlten Temperatur im Stadtgebiet ermöglicht eine Abschätzung der thermophysiologischen Beanspruchung. Alle gängigen Modellierungsergebnisse der gefühlten Temperatur oder ähnlicher humanbiometeorologischer Indikatoren (z. B. nach DWD oder Fanger wie in VDI 3785 Blatt 1 beschrieben) beziehen sich auf eine Normperson und auf außenklimatische Bedingungen.

Die Verteilung der Temperatur im Stadtgebiet ist für verschiedene Zeitpunkte interessant. Zu empfehlen ist die Ermittlung der Lufttemperatur und deren Verteilung bzw. der gefühlten Temperatur für die beiden Zeitpunkte, für die die höchste bzw. geringste Wärmebelastung zu erwarten ist.

- Der Zeitpunkt mit der höchsten Wärmebelastung ermöglicht die Einschätzung der Tagesbelastung.
- Der Zeitpunkt mit der geringsten Wärmebelastung tritt in der zweiten Nachthälfte auf und gibt Hinweise zur nächtlichen Belastung im Stadtgebiet.

Die Nachtsituation hat für die menschliche Gesundheit eine hohe Bedeutung: Eine ausreichende nächtliche Abkühlung ist wichtig für einen erholsamen Schlaf. Bei zu geringer nächtlicher Abkühlung wird auch die Hitze tagsüber schlechter verkräftet.

Gegenüber einem Zeitpunkt in der ersten Nachthälfte (z. B. 23 Uhr) kann mit dem Zeitpunkt in der zweiten Nachthälfte besser herausgearbeitet werden, in welchen Stadtgebieten es im Verlauf der Nacht nur zu geringen Abkühlungen kommt und welche Gebiete weniger belastet sind. Durch dieses Vorgehen wird die Priorisierung innerhalb des Stadtgebiets deutlicher. In der ersten Nachthälfte ist hingegen noch das gesamte Gebiet der KLIMPRAX Stadtklima-Modellkommunen belastet.

Die regionale Klimaumgebung wird bei der Bewertung (siehe ➔ **Modul 2**) berücksichtigt (relative Bewertung der Belastung).

Alternativ zur gefühlten Temperatur wird zur Bewertung der Nachtsituation auch die bodennahe Lufttemperatur herangezogen (z. B. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin 2015).

Gefühlte Temperatur

„Um die thermische Umwelt gesundheitsrelevant bewerten zu können, wird beim Deutschen Wetterdienst die gefühlte Temperatur verwendet. Diese basiert auf einem Wärmehaushaltsmodell des menschlichen Körpers und umfasst alle relevanten Mechanismen des Wärmeaustauschs. Dabei werden die meteorologischen Elemente Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit sowie die lang- und kurzweiligen Strahlungsflüsse berücksichtigt. Der Wärmeaustausch wird für einen Standard-Menschen modelliert (Klima-Michel-Modell). Jeder gefühlten Temperatur kann eine thermophysiologische Beanspruchung bzw. ein bestimmter Grad der Wärmebelastung zugeordnet werden.“ (Noppel 2017)

Thermophysiologische Beanspruchung

beschreibt „die „Leistung“, die das körpereigene Thermoregulationssystem aufbringen muss, damit sich der Organismus weder aufheizt noch auskühlt.“ (Noppel 2017)

BAUSTEIN 1.2: WÄRME IM STADTGEBIET MERKMAL TEMPERATUR



Hinweis

Die Datensätze enthalten für jede 100 m x 100 m Gittermasche einen gemittelten Wert der Temperatur. Es sollte kein linearer Verlauf zwischen verschiedenen Gittermaschen angenommen werden (vgl. Noppel 2017).

Auch sollte bei der Interpretation der Daten berücksichtigt werden, dass Lufttemperatur und gefühlte Temperatur üblicherweise in einem bestimmten Abstand über Grund (in den Modellkommunen 5 m) modelliert werden (vgl. Noppel 2017).

Beispieldarstellungen

Abbildung 22 zeigt beispielhafte Kartenaufbereitungen des DWD als Ergebnis der numerischen Modellierung mit MUKLIMO_3 für die gefühlte Temperatur um 4 Uhr und 16 Uhr.

Erläuterung zur Abbildung

Die Kästen unter der Farbskala stellen den zugehörigen Wärmebelastungsbereich dar. Die grauen Linien in den Karten stellen die Hauptverkehrsstraßen dar. (Quelle: Noppel 2017: S. 28)

VORGEHEN

Relevante Datensätze aus der Modellierung (MUKLIMO_3) sind die Datensätze unter Verwendung der:

- bodennahen, gefühlten Temperatur (T in °C) oder
- bodennahen Lufttemperatur (T in °C)

Die Modellierung erfolgt jeweils für eine windschwache, wolkenlose Wetterlage. Für die weitere Analyse werden i. d. R. **zwei Zeitpunkte** ausgewählt:

- Zeitpunkt 1 mit der geringsten Wärmebelastung, 4 Uhr als Nachtwert (siehe Abbildung 22)
- Zeitpunkt 2 mit der höchsten Wärmebelastung, 16 Uhr als Tagwert (siehe Abbildung 22)

In verschiedenen Praxisbeispielen werden häufig ähnliche Zeitpunkte verwendet (z. B. für den Tagwert 14 oder 15 Uhr). Die genaue Auswahl des Zeitpunkts kann in Abhängigkeit davon erfolgen, wann sich in der Modellierung die geringsten bzw. höchsten Werte herausbilden.

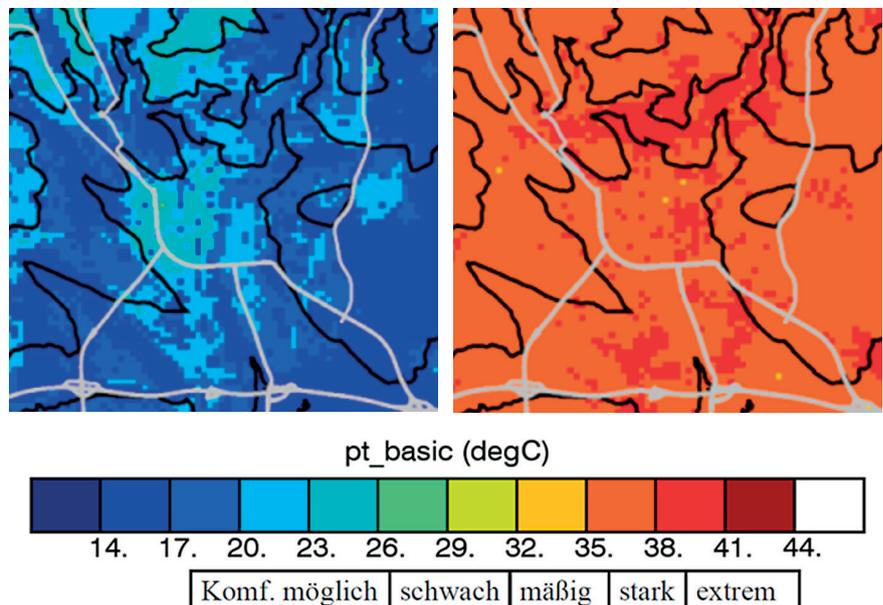


Abbildung 22: Gefühlte Temperatur (pt_basic) in °C für einen heißen, trockenen, windschwachen Tag mit Anströmung aus WSW um 4 Uhr MESZ (links) und um 16 Uhr MESZ (rechts) in Wiesbaden (Quelle: Noppel 2017: S. 28 ff)

BAUSTEIN 1.2: WÄRME IM STADTGEBIET MERKMAL TEMPERATUR



Mögliche Klassifizierung und Einstufung

Die Ausgangsdaten aus dem Modell können in 1 °C-Schritten als Klassenbreiten aufbereitet dargestellt werden (siehe Hinweise zur kartografischen Darstellung). Damit wird die gesamte Temperaturspanne für die unterschiedlichen Quartiere in der Stadt deutlich und Sie erkennen, in welchen Gebieten die maximalen Temperaturen erreicht werden bzw. welche Gebiete eher als unbelastet hinsichtlich der Hitze einzustufen sind.

Alternativ können die Tagwerte der gefühlten Temperatur entsprechend der thermophysiologischen Belastung klassifiziert werden (nach VDI 3787 Blatt 2):

- unter 20 °C behaglich: Komfort möglich
- 20 °C – 26 °C leicht warm: schwache Wärmebelastung
- 26 °C – 32 °C warm: mäßige Wärmebelastung
- 32 °C – 38 °C heiß: starke Wärmebelastung
- über 38 °C sehr heiß: extreme Wärmebelastung

Schwellenwerte für eine differenzierte Einstufung der nächtlichen Schlafperiode im Innenraum sind nicht festgelegt.

Damit können Sie besser abschätzen, wie das gesamte Temperaturniveau in Ihrer Stadt einzuordnen ist: Bewegen Sie sich insgesamt im Bereich einer schwachen oder eher starken bis extremen Wärmebelastung.

KARTOGRAFISCHE DARSTELLUNG

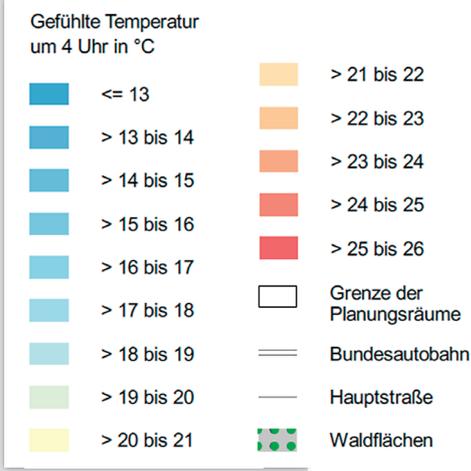
Im nachfolgenden Beispiel wird die Darstellung der Temperaturverteilung in 1 °C-Schritten aufgezeigt. Ergänzt werden Hinweise zur räumlichen Orientierung, wie die Abgrenzung von statistischen Bezirken und die Hinterlegung topografischer Merkmale (z. B. bebaute Gebiete).

Die Auswahl geeigneter Farben zur Darstellung von Belastungsgrenzen erleichtert die Lesbarkeit.

BAUSTEIN 1.2: WÄRME IM STADTGEBIET
MERKMAL TEMPERATUR



Modul 1



Beispieldarstellung

Bei der Darstellung der Nachtwerte wechselt die Farbe ab 20 °C von blau-grün zu gelben und roten Farbtönen, da gemäß der Einstufung nach VDI 3787 Blatt 2 ab diesem Wert von „Wärmebelastung“ gesprochen wird.

Beispieldarstellung

Für die Darstellung der Tagwerte ab einer gefühlten Temperatur von 38 °C wurde ein roter Farbton gewählt, da gemäß der Einstufung nach VDI 3787 Blatt 2 bei diesem Wert die „extreme Wärmebelastung“ beginnt.

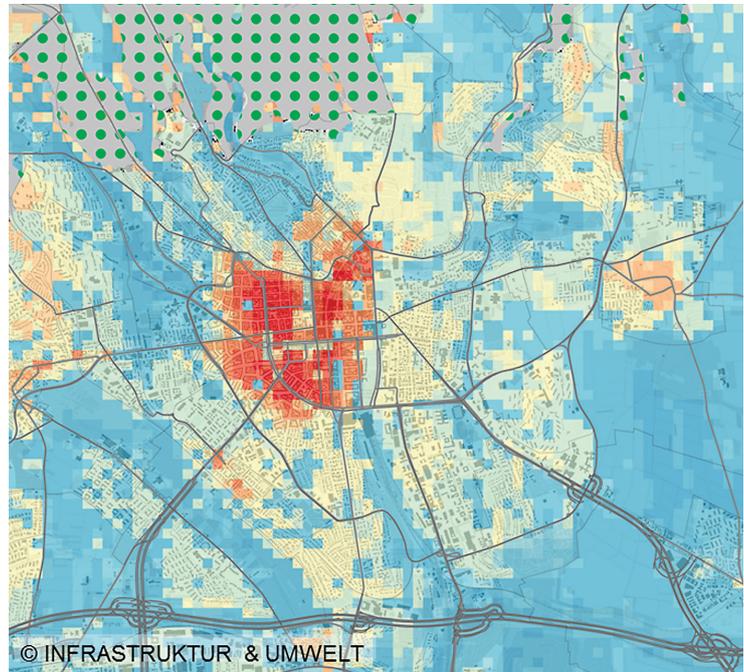


Abbildung 23: Beispieldarstellung – Verteilung der gefühlten Temperatur um 4 Uhr in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)

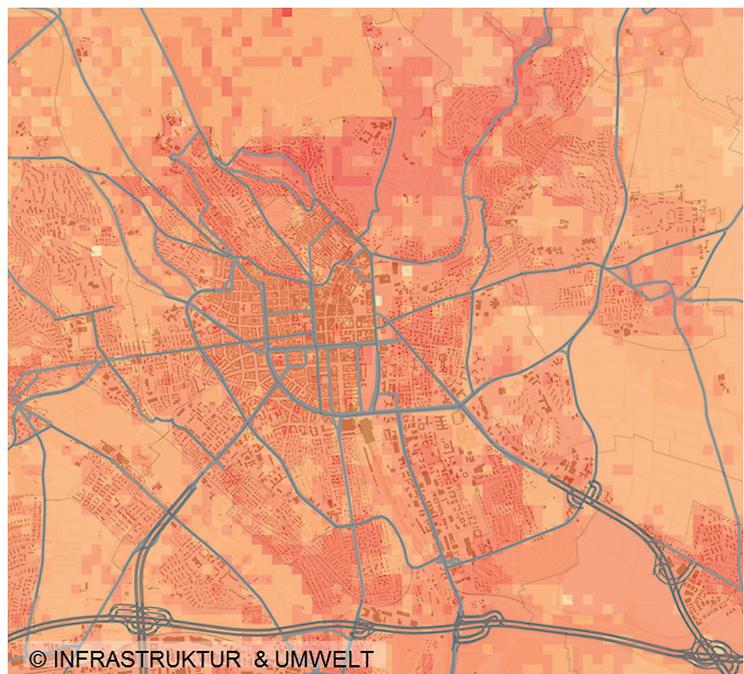


Abbildung 24: Beispieldarstellung – Verteilung der gefühlten Temperatur um 16 Uhr in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)

BAUSTEIN 1.3: WÄRME IM STADTGEBIET – MERKMAL „KLIMATOLOGISCHE KENNTAGE“



EINLEITUNG UND ZIELE

Klimatologische Kenntage bezeichnen Tage, an denen ein definierter Schwellenwert eines klimatischen Parameters erreicht beziehungsweise über- oder unterschritten wird. Nachfolgend werden die temperaturbezogenen Kenntage erläutert. Sie finden hier Erläuterungen, welche Aussagen und Erkenntnisse Sie aus der Analyse der klimatologischen Kenntage ziehen können.

Aussagen zu klimatologischen Kenntagen können aus der Modellierung sowohl für die Häufigkeit als auch für die räumliche Verteilung im Stadtgebiet gewonnen werden. Folgende klimatologische Kenntage dienen der Beurteilung der Wärmebelastung im Stadtgebiet:

- Sommertage (Tageshöchsttemperatur $\geq 25^\circ\text{C}$)
- Heiße Tage (Tageshöchsttemperatur $\geq 30^\circ\text{C}$)
- Tropennächte (Tagestiefsttemperatur $\geq 20^\circ\text{C}$)

ERLÄUTERUNG UND EIGNUNG

Die klimatologischen Kenntage können insbesondere zur Abschätzung zukünftiger Belastungen herangezogen werden. Andere Indikatoren für die Zukunft stehen meist (wie auch im Falle der Modellkommunen) nicht zur Verfügung.

Die Modellierungsergebnisse eignen sich als Grundlage für die Einschätzung der potenziellen Betroffenheit der Bevölkerung in der Zukunft (siehe [↪ Modul 5](#)). Die Projektionsergebnisse beruhen auf 17 regionalen Klimaprojektionen (Ensemble-Auswertung) und ermöglichen eine Darstellung von Bandbreiten und des Trends. Im Projekt KLIMPRAX Stadtklima wurde das 25., 50. und 75. Perzentil als Modellierungsergebnis ausgegeben. Vor dem Hintergrund der mit den zukünftigen Gegebenheiten (z. B. der Siedlungsentwicklung) und den Klimaprojektionen verbundenen Bandbreiten der Ergebnisse wird die Aggregation der Ergebnisse von Rasterzellen auf städtische Planungseinheiten oder statistische Bezirke empfohlen, sodass keine räumliche Genauigkeit der Ergebnisse auf Rasterzellen suggeriert wird.

Die Modellierungsergebnisse für Tropennächte und Heiße Tage sind weniger genau als die Ergebnisse für die Sommertage (Noppel 2017). Dennoch sind die Heißen Tage und die Tropennächte sinnvolle Indikatoren, da sie die physiologische Belastung deutlicher widerspiegeln als Sommertage. Treten allerdings insgesamt nur sehr wenige Heiße Tage und Tropennächte auf, sollten diese Werte jeweils für das gesamte Stadtgebiet zugrunde gelegt werden. Bei nur wenigen Kenntagen insgesamt bringt eine weitere räumliche Aufteilung nach Anzahl Kenntage pro Planungseinheit/Bezirk keine wesentlichen Erkenntnisse für die Planung.

Perzentil

„ist ein Lagemaß aus der Statistik. Durch die Perzentile wird ein der Größe nach geordneter Datensatz in 100 umfangsgleiche Teile zerlegt. Diese teilen somit den Datensatz in 1% Schritte auf. Das x te Perzentil ist ein Schwellenwert innerhalb eines geordneten Datensatzes bei dem x% aller Werte kleiner oder gleich dieses Schwellenwertes sind. Der Rest ist größer. Für das 25. Perzentil bedeutet das zum Beispiel, dass 25% der Werte unterhalb oder gleich dieses Perzentils liegen. Anhand von Perzentilen lässt sich somit ein einzelner Wert einer Datenreihe qualitativ einordnen. Das 50. Perzentil entspricht genau dem Median.“ (Noppel 2017: S.97)

BAUSTEIN 1.3:

WÄRME IM STADTGEBIET – MERKMAL „KLIMATOLOGISCHE KENNTAGE“



Klimaprojektionen

„Für die Analyse der Auswirkungen der menschlichen Aktivitäten auf das Klima der Erde werden Klimamodelle [...] genutzt. [...] Möchte man Aussagen über die Zukunft, z. B. die nächsten 100 Jahre machen, so benötigen die Klimamodelle angenommene Vorgaben („Szenarien“). [...] Diese beruhen auf Annahmen über zukünftige gesellschaftliche und technologische Entwicklungen, die mit erheblichen Unsicherheiten verbunden sind. Man spricht deshalb nicht von Klimaprognosen, sondern von Klimaprojektionen.“ (Noppel 2017: S.96)

Alternativen: Soweit Projektionsergebnisse für die Anzahl der Tage mit starker Wärmebelastung (gefühlte Temperatur) vorliegen, kann auch diese Verteilung als Indikator verwendet werden (LUBW 2017). Eine entsprechende Berechnung mit MUKLIMO_3 wurde z. B. für Stuttgart in Kooperation mit dem DWD durchgeführt (Schlegel und Koßmann 2017).

Mögliche ergänzende Indikatoren

Die Ergebnisse aus der Modellierung können plausibilisiert und ergänzt werden durch Ergebnisse aus Messfahrten und eigene Aufzeichnungen.

VORGEHEN

Relevante Datensätze aus der Modellierung (MUKLIMO_3) sind die Datensätze unter Verwendung der:

- Mittleren Anzahl der Sommertage, Heißen Tage und Tropennächte pro Jahr für die Gegenwart
- Projektionen der Änderung der mittleren Anzahl Sommertage, Heiße Tage und Tropennächte pro Jahr für die nahe Zukunft (75. Perzentil oder Medianwert⁹)

Für die Analysen werden i. d. R. zwei Zeiträume – jeweils eine Referenzperiode für die Gegenwart und ein Zeitraum in der Zukunft – zugrunde gelegt. Im Projekt KLIMPRAX Stadtklima waren dies die Zeiträume:

- Gegenwart 1971–2000⁹ als Referenzperiode
- Zukunft 2031–2060¹⁰

Mögliche Klassifizierung und Einstufung

Rasterdaten der Referenzperiode: Zur Aggregation der Ergebnisse pro Rasterzelle auf größere städtische Planungseinheiten oder statistische Bezirke werden zunächst die Rasterdaten („mittlere Anzahl des betrachteten klimatologischen Kenntags“) mit den gewählten räumlichen Einheiten (Planungseinheit, statistischer Bezirk oder ähnliches) verschnitten. Aus den Einzelwerten der innerhalb einer räumlichen Einheit liegenden Rasterzellen wird ein Flächenmittelwert gebildet, der so die mittlere Anzahl des betrachteten klimatologischen Kenntags pro Jahr für die gewählte räumliche Einheit darstellt.

⁸Aussagen über die zukünftige Entwicklung des Stadtklimas werden aus regionalen Klimaprojektionen gewonnen (Kapitel 4.1). Das 75. Perzentil wird empfohlen, da die Modellierungsergebnisse auf Basis des SRES-Szenarios A1B berechnet wurden und daher das Perzentil nicht zu niedrig gewählt werden sollte. Eine Gegenüberstellung des A1B-Szenarios mit dem neueren „Weiter-wie-bisher“-Szenario RCP 8.5 in Bezug auf Temperaturänderungen (vgl. dazu Hübener et al. 2017) zeigt, dass die Simulationen einen ähnlichen Bereich abdecken. Die Simulationen, die eine geringere Temperaturzunahme projizieren, werden jedoch vom neueren Szenario RCP8.5 nicht abgedeckt.

⁹Abbildungen 62, 63 und 64 im Anhang 1 zeigen eine beispielhafte Kartenaufbereitung des DWD als Ergebnis der numerischen Modellierung mit MUKLIMO_3 für Sommertage, Heiße Tage und Tropennächte (Gegenwart).

¹⁰Abbildungen 65, 66 und 67 im Anhang 1 zeigen eine beispielhafte Kartenaufbereitung des DWD als Ergebnis der numerischen Modellierung mit MUKLIMO_3 für Sommertage, Heiße Tage und Tropennächte (Zukunft).

BAUSTEIN 1.3: WÄRME IM STADTGEBIET – MERKMAL „KLIMATOLOGISCHE KENNTAGE“



Rasterdaten zur zukünftigen Entwicklung (Projektion der Änderung der mittleren Anzahl des betrachteten klimatologischen Kenntags): Im ersten Schritt wird die „mittlere Anzahl des betrachteten Kenntags“ aus der Referenzperiode mit der projizierten Änderung der mittleren Anzahl des betrachteten klimatologischen Kenntags pro Jahr für die Zukunft addiert. Somit erhält man die für die Zukunft projizierte „mittlere Anzahl des betrachteten Kenntags“ pro Rasterzelle. Auch dieses Ergebnis wird wieder mit der gewählten räumlichen Einheit verschnitten und im nächsten Schritt der Flächenmittelwert aus den Einzelwerten der Rasterzellen gebildet.

Anschließend wird die Spanne der Werte der „mittleren Anzahl des betrachteten klimatologischen Kenntags“ gleichmäßig in Klassen aufgeteilt. Die Abstufung ist dabei abhängig von der Anzahl unterschiedlicher Werte und der gewünschten Anzahl der Klassen. Mehr als 10 Klassen sind i. d. R. schwer erfassbar.

Zur vergleichenden Darstellung der Referenzperiode und der zukünftigen Entwicklung ist die Nutzung einer gemeinsamen Farbskala zu empfehlen (siehe kartografische Darstellung).

KARTOGRAFISCHE DARSTELLUNG

Die Darstellung der Flächenmittelwerte der mittleren Anzahl der heißen Tage erfolgt im dargestellten Beispiel bezogen auf Planungseinheiten; zur Verbesserung der Lesbarkeit wird zusätzlich die durchschnittliche Anzahl der Kenntage als numerischer Wert je Planungseinheit gezeigt.

Die Verwendung einer einheitlichen Farbskala für die heutigen und die projizierten zukünftigen Werte gewährleistet die Vergleichbarkeit. In den Beispielen wurden praktikable Klassen (Abstufung von 3 Tagen) gewählt, um die Bandbreite der Ergebnisse von unter 6 Tagen bis 39 Tagen darstellen zu können.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen das Modellierungsergebnis als Rasterplot (Noppel 2017) und eine mögliche Auswertung als flächengemittelte Darstellung für statistische Bezirke als größere statistische Planungseinheiten.

BAUSTEIN 1.3:
WÄRME IM STADTGEBIET – MERKMAL „KLIMATOLOGISCHE KENNTAGE“

Modul 1

Beispieldarstellung

Die klimatologischen Kenntage aus den Simulationsergebnissen wurden mit Messungen verglichen. Der weiße Stern in der Abbildung kennzeichnet die Lage einer Vergleichsstation im Auswertungszeitraum.

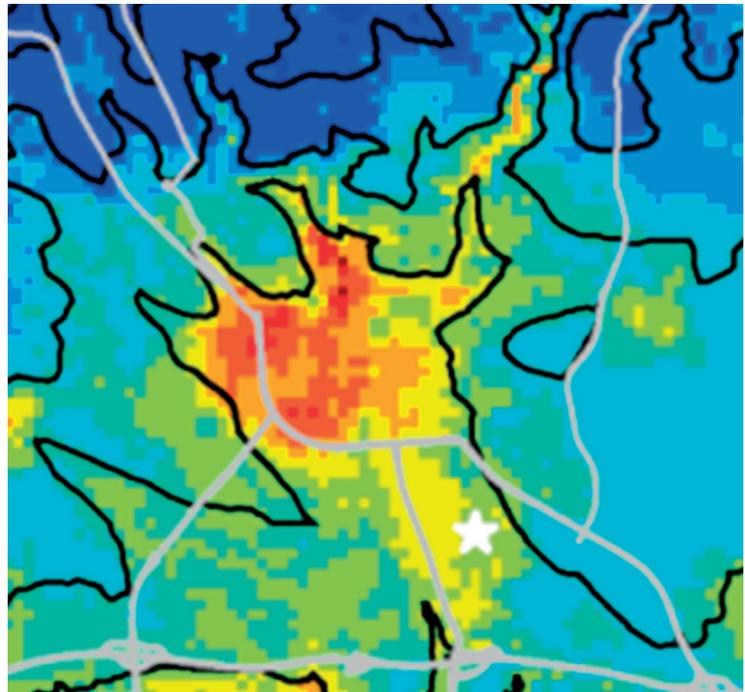
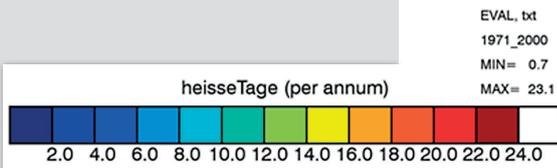


Abbildung 25: Beispieldarstellung – Darstellung der Verteilung der mittleren jährlichen Anzahl der Heißen Tage (1971–2000) in Wiesbaden (Quelle: Noppel 2017: S. 34)

Durchschnittliche Anzahl der Heißen Tage pro Jahr

- <= 6
- > 6.0 bis 9.0
- > 9.0 bis 12.0
- > 12.0 bis 15.0
- > 15.0 bis 18.0
- > 18.0 bis 21.0

3.5 Durchschnittliche Anzahl der Heißen Tage für den Planungsraum

Grenze der Planungsräume

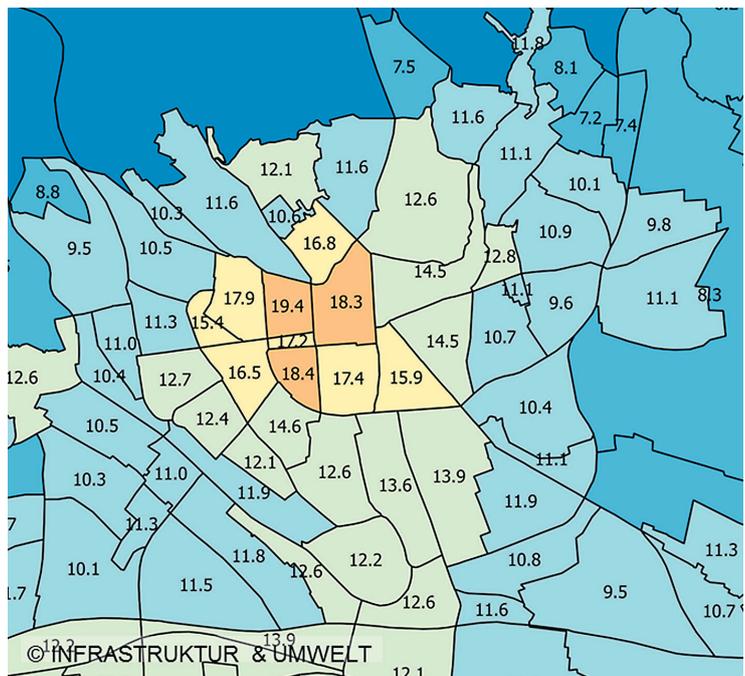


Abbildung 26: Verteilung der mittleren jährlichen Anzahl der Heißen Tage (1971–2000) – Flächenmittel für Planungsbezirke in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)

BAUSTEIN 1.3:
WÄRME IM STADTGEBIET – MERKMAL „KLIMATOLOGISCHE KENNTAGE“

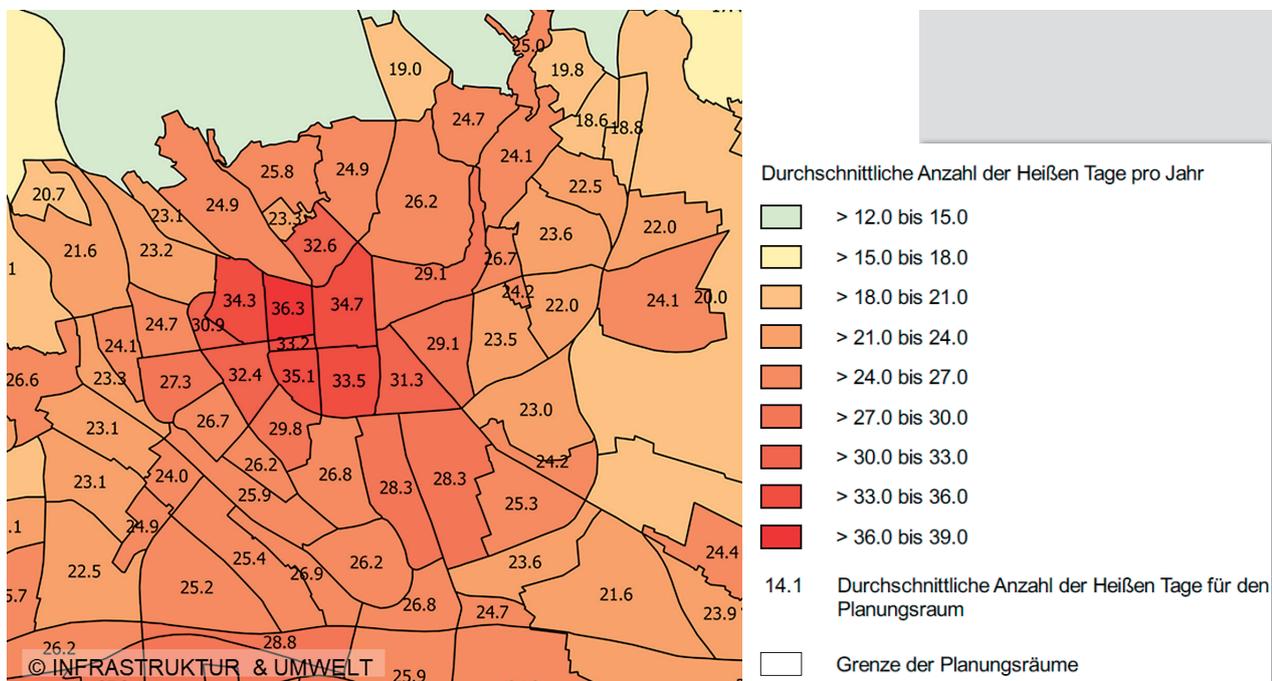


Abbildung 27: Verteilung der mittleren jährlichen Anzahl der Heißen Tage (2031–2060; 75. Perzentil) – Flächenmittel für Planungsbezirke in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)

BAUSTEIN 1.4: KALTLUFTENTSTEHUNGSGEBIETE



Kaltluft

(lokale) Luft, die aufgrund des Energieumsatzes an der Erdoberfläche eine niedrigere Temperatur als die Luft in der Umgebung aufweist. Die nachts durch Ausstrahlung abkühlende Erdoberfläche kühlt ihrerseits die darüber liegende bodennahe Luftschicht ab. Es handelt sich dabei um einen relativen und nicht um einen absoluten Bezug (Klamis 2013).

Kaltluft wird qualitativ beschrieben, es gibt keine „Grenzwerte“ zur Definition wie die Festlegung von Mindesttemperaturdifferenzen zwischen Kaltluft und Umgebung oder eines Mindestvolumens (VDI 3787 Blatt 5).

Kältestrom

Hierbei handelt es sich um den „fühlbaren Wärmestrom“, der als negativer Wert zum „Kältestrom“ wird und hier vorrangig von Interesse ist. „Ein negativer fühlbarer Wärmestrom bedeutet, dass der Atmosphäre Wärme entzogen wird. Er tritt immer dann auf, wenn der Untergrund an seiner Oberfläche kälter ist als die direkt darüber liegende Luft, also in der Regel bei Nacht“ (Noppel 2017).

EINLEITUNG UND ZIELE

In den vorhergehenden Bausteinen wurde Ihnen gezeigt, wie sich die Hitzebelastung im Stadtgebiet verteilt und mit Hilfe von Karten dargestellt werden kann.

Die Zufuhr von Kaltluft in das Stadtgebiet übernimmt während extremer Hitzeperioden bei windschwachen, wolkenarmen Wetterlagen eine wichtige Durchlüftungs- und Abkühlungsfunktion.

Kaltluft entsteht in erster Linie auf freien Flächen wie z.B. Acker und Grünland (Kaltluftentstehungsgebiete).

Von Interesse ist, wo diese Flächen sind, welche Mengen von Kaltluft zu welchem Zeitpunkt dort entstehen und wohin diese Kaltluft strömt (siehe → **Baustein 1.5**).

Die Kenntnis über das Potenzial der unterschiedlichen Flächen zur Produktion von Kaltluft ist eine wichtige Grundlage zur Beurteilung von Ausgleichsräumen und Wirkungsbeziehungen (siehe → **Modul 2**).

ERLÄUTERUNG UND EIGNUNG

Kaltluftbildung ist abhängig von der lokalen Energiebilanz einer Fläche. Kaltluft wird dabei nicht nur produziert, sondern Luftvolumina werden fortlaufend an- und abtransportiert. Aufgrund der Komplexität der Prozesse kann die nachfolgende Zusammenstellung nur beispielhafte Ansätze für die Analyse aufzeigen.

Die MUKLIMO_3 Modellierungsergebnisse des „Kältestroms“ weisen einen Teil der bodennahen Energiebilanz aus und sind als Grundlage für eine (Teil-) Bewertung für → **Modul 2** besser geeignet als die Zuweisung pauschaler Kaltluftbildungsraten nach Flächennutzung (Noppel 2017). Der Kältestrom ändert sich im Laufe der Nacht, daher ist die Betrachtung eines längeren Zeitraums nach Beginn der Nacht sinnvoll.

Grundsätzlich ist auch eine Analyse auf Basis der Verwendung von Literaturwerten für Landnutzungsarten (→ **Baustein 1.6**) oder eine Abschätzung der Kaltluftproduktion aus der Abkühlungsrate (Temperaturabnahme zwischen 22 Uhr und 4 Uhr) möglich. Diese Alternativen sind jedoch mit größeren Ungenauigkeiten behaftet.

In den folgenden Abschnitten werden zwei Vorgehensweisen erläutert, die je nach finanziellen Ressourcen und Fachpersonal zum Einsatz kommen können.

BAUSTEIN 1.4: KALTLUFTENTSTEHUNGSGEBIETE



VORGEHEN

Relevante Daten

Kaltluftentstehung und -abfluss hängen von meteorologischen Verhältnissen, der Flächennutzung sowie von der Geländeform und -exposition ab. Daher ist es grundsätzlich möglich, über Literaturwerte für Landnutzungsarten (→ **Baustein 1.6.4**) oder auch aus der Abkühlungsrate (Temperaturabnahme zwischen 22 Uhr und 4 Uhr) der Flächen Anhaltspunkte zur Abschätzung der Kaltluftproduktion abzuleiten.

Es bestehen verschiedene Ansätze, um eine Einstufung vorzunehmen. Die Zuweisung von Standardwerten für die Kaltluftproduktion von bestimmten Flächennutzungen ist aufgrund der Komplexität der Vorgänge jedoch fehlerbehaftet.

Die höchsten Kaltluftproduktionswerte sind demnach über unversiegelten Freiflächen wie Ackerflächen oder Wiesenflächen festzustellen. In Waldgebieten werden deutlich geringere Temperaturverminderungen erreicht. Daher wird empfohlen, auf eine überschlägige Klassifizierung der Temperaturverminderung in wenige Kategorien zurückzugreifen, wie z.B. folgende nutzungsbezogene Einstufung:

- Freiland/Acker: sehr hoch
- Parkflächen/Kleingärten: hoch
- Wald: mittel

(vgl. Stadt Jena 2012)

Indem Sie die räumliche Verteilung von Frei-, Grün- und Waldflächen ermitteln und diese mit der oberen nutzungsbezogenen Einstufung verknüpfen, erhalten Sie erste Anhaltspunkte für Verteilung und Ausmaß der Kaltluftproduktion im Stadtgebiet. Eventuell liegen bereits Gutachten vor, die über die Kaltluftentstehungsflächen Auskunft geben (z. B. Landschaftsplan für das Gemeindegebiet). Auch Erfahrungswerte von Fachleuten können zur Verifizierung dieser Abschätzung herangezogen werden.

Die aufwändigere Methode beruht auf der computergestützten Modellierung der Kaltluftentstehungsgebiete und deren Abfluss. Im Projekt KLIMPRAX Stadtklima wurden dazu Modellierungsergebnisse aus MUKLIMO_3 erzeugt und genutzt. Ein relevanter Datensatz aus der Modellierung ist:

- „Kältestrom“ vom/zum Untergrund und von/zu den Bäumen (W/m^2).

Dieser Datensatz beschreibt das Potenzial einer Fläche, Kaltluft zu bilden. Für die Analyse wird der Zeitraum 22 Uhr bis 4 Uhr herangezogen, da die Abkühlungsrate während der Nacht ausschlaggebend für das Kaltluftproduktionspotenzial ist. Der Kaltluftvolumenstrom ändert sich im Laufe der Nacht,

BAUSTEIN 1.4: KALTLUFTENTSTEHUNGSGEBIETE



z-Transformation

Statistisches Vorgehen zur Standardisierung eines Parameters. Die z-Transformation erfolgt dabei anhand der folgenden Berechnungsvorschrift (vgl. VDI 3785 Blatt 1):

$z = (x - \mu) / \sigma$ Mit:

x: Ausgangsparameter

μ : arithmetisches Mittel

σ : Standardabweichung

z: standardisierter Parameter als Ergebnis.

Nach Anwendung der Berechnungsvorschrift entspricht das arithmetische Mittel dem Wert 0 die Standardabweichung dem Wert 1.

daher ist die Betrachtung eines längeren Zeitraums nach Beginn der Nacht sinnvoll, um mögliche Ausgleichsräume und Wirkungsbeziehungen zu erkennen (siehe [↪ Modul 2](#)).

Mögliche Klassifizierung und Einstufung

Der über die von MUKLIMO_3 ausgegebene Kältestrom ist nur für Rasterzellen ohne Bebauung gültig. Rasterzellen mit Bebauung werden daher ausgeblendet. D.h., im ersten Schritt wählen Sie nur die Raster mit unbebauten Gebieten aus.

Innerhalb dieser Raster werden die Werte des ausgewählten Zeitraums (im Beispiel 22 Uhr bis 4 Uhr) zeitlich integriert.

Für die Klassifikation wurden im Beispiel 100 kWh/m²-Schritte als Klassenbreiten gewählt.

Alternativ können Sie die Werte für einen lokalen Vergleich bzw. eine Einstufung in Klassen mit Hilfe einer z-Transformation standardisieren:

- Sehr hohe Abkühlungsleistung: $z \geq 1$
- Hohe Abkühlungsleistung: $0 \leq z < 1$
- Mittlere Abkühlungsleistung: $-1 \leq z < 0$
- Geringe Abkühlungsleistung: $z < -1$

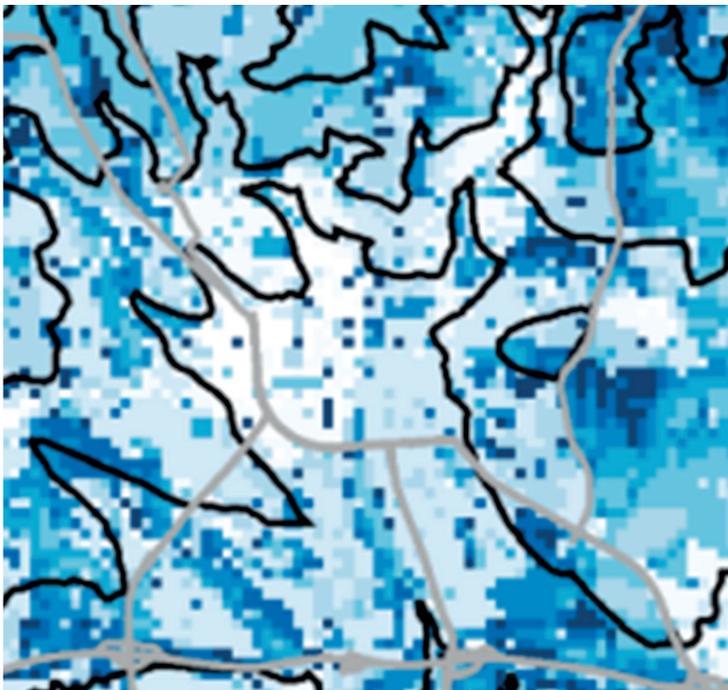
Das Ergebnis der z-Transformation ist zu plausibilisieren und den absoluten Werten gegenüberzustellen. So kann geprüft werden, ob lediglich Flächen mit nur geringem Potenzial zur Kaltluftbildung vorliegen und durch dieses Vorgehen zu hoch eingestuft werden oder andersherum.

Die Bewertung der lokalklimatischen Ausgleichsfunktion einer Fläche (siehe [↪ Modul 2](#)) bedarf der plausibilisierten Expertenbewertung. Die vorgeschlagene Vorgehensweise ist eine mögliche Methode, um zu einer ersten automatisierten Beurteilung zu kommen.

KARTOGRAFISCHE DARSTELLUNG

Die Beispielkarte in Abbildung 29 zeigt den Kältestrom während der Nacht (Zeitraum 22 bis 4 Uhr) als Maß für das Kaltluftproduktionspotenzial. Bitte beachten: In der Darstellung Abbildung 28 ist der Kältestrom auch für bebaute Bereiche dargestellt, der Kältestrom von Gebäuden wurde in MUKLIMO_3 aber noch nicht implementiert und darf daher für bebaute Flächen nicht ausgewertet werden.

BAUSTEIN 1.4: KALTLUFTENTSTEHUNGSGEBIETE



H_{int} (kWh/m²)



Abbildung 28: Zeitlich aufintegrierter, fühlbarer Wärmestrom zwischen dem Boden sowie den Bäumen und der umgebenden Atmosphäre (H_{int}) in kWh/m². Es wurde zwischen 22 Uhr MESZ und 4 Uhr MESZ aufintegriert in Wiesbaden (Quelle: Noppel 2017: S. 53)

Abbildung 30 zeigt die Zusammenfassung in Klassen mit gleicher Klassenbreite (in der Beispieldarstellung 100 kWh/m²) für eine bessere Übersicht gegenüber der stufenlosen Darstellung der Modellierungsdaten.

Ergänzt sind Hinweise zur räumlichen Orientierung wie Abgrenzung von statistischen Bezirken und Hinterlegung topografischer Merkmale (z. B. bebauten Gebiete). Der ausgegebene Kältestrom ist für Rasterzellen ohne Bebauung gültig. Entsprechend wird der Kältestrom nur für Bereiche ohne Bebauung dargestellt und bewertet.

Die Einstufung im lokalen Vergleich der Flächen ohne Bebauung im Stadtgebiet mit Hilfe der z-Transformation der Parameter stellt einen weiteren Bewertungsschritt dar, der nach einer Plausibilisierung als Grundlage für die Beurteilung von Ausgleichsräumen dient (siehe [Modul 2](#)).

BAUSTEIN 1.4: KALTLUFTENTSTEHUNGSGEBIETE



Kältestrom in kWh / m² (berechnet als fühlbarer Wärmestrom, der als negativer Wert zum "Kältestrom" wird)

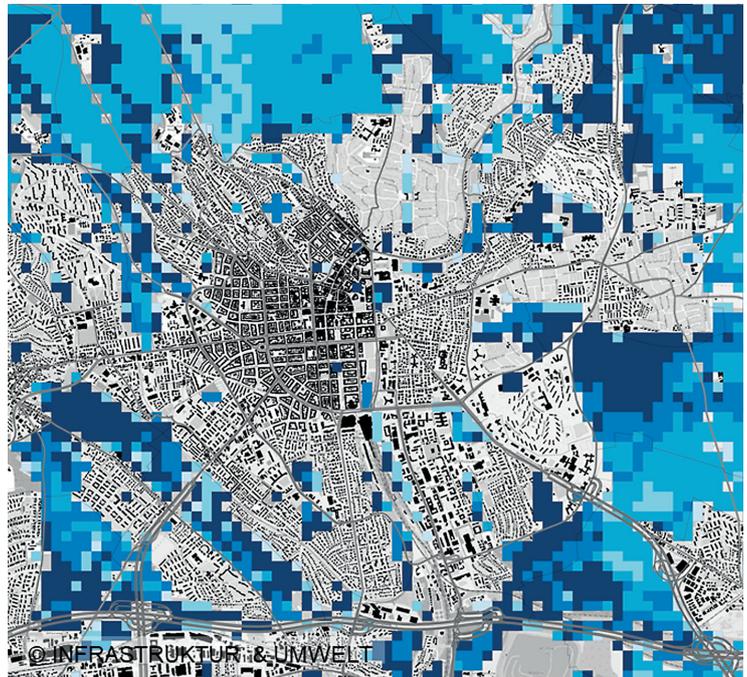


Abbildung 29: Beispieldarstellung – Kältestrom (22 Uhr bis 4 Uhr; berechnet als fühlbarer Wärmestrom, aufintegriert) in Wiesbaden. Darstellung in 5 Klassen (Quelle: eigene Darstellung)

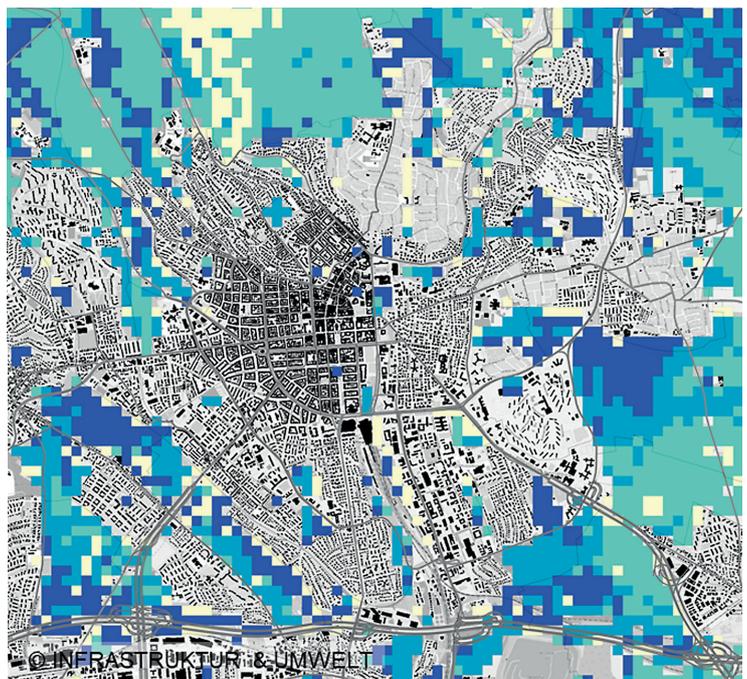


Abbildung 30: Beispieldarstellung – Einstufung des Kaltluftproduktionspotenzials (lokaler Vergleich) der Flächen ohne Siedlungsgebiete in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)

BAUSTEIN 1.5: KALTLUFTABFLUSS



EINLEITUNG UND ZIELE

Sind die Kaltluftentstehungsgebiete identifiziert, wird im nächsten Schritt der Abfluss der Kaltluft aus diesen Gebieten analysiert, da nächtliche Kaltluftströmungen während extremer Hitzeperioden bei windschwachen, wolkenarmen Wetterlagen eine wichtige Durchlüftungs- und Abkühlungsfunktion übernehmen.

Der Kaltluftvolumenstrom ist ein Maß für den „Zustrom von Kaltluft“. Dieser ist bestimmt von der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, der vertikalen Ausdehnung und der Durchflussbreite. Den Volumenstrom (Richtung, Stärke) mit dessen Temperatur sowie das Windfeld können Sie für die Beurteilung von Ausgleichsräumen und Wirkungsbeziehungen heranziehen (siehe **➔ Modul 2**).

ERLÄUTERUNGEN UND EIGNUNG

Kaltluftströme hängen von der Geländeformation ab, bei lokaler Ausprägung auch von Temperaturdifferenzen z. B. über unterschiedlichen Landnutzungen. Eine klare Abgrenzung des Beginns oder Endes eines Kaltluftstromes existiert nicht, es gibt lediglich Übergangszonen und Unterschiede auf Bodenniveau und Überdachniveau sowie Entwicklungen und Veränderungen im Laufe der Nacht. Aufgrund der Komplexität der Prozesse kann die nachfolgende Zusammenstellung nur beispielhafte Ansätze für die Analyse aufzeigen.

In den Sommermonaten ist relativ häufig mit der Ausbildung solcher lokalen, nächtlichen Windsysteme zu rechnen. In Frankfurt am Main sind beispielsweise im Mittel des Zeitraums 1981–2010 im August in einem Drittel der Nächte die dafür notwendigen Bedingungen gegeben (Noppel 2017).

Luftaustauschprozesse bilden sich in der Regel erst in der zweiten Nachthälfte (2 Uhr bis 4 Uhr) voll aus. Der Kaltluftabfluss beginnt aber bereits in der ersten Nachthälfte (0 Uhr bis 2 Uhr). Daher kann es sinnvoll sein, je nach örtlichen Gegebenheiten auch die erste Nachthälfte zu betrachten.

Neben den positiven Belüftungswirkungen kann Kaltluft lufthygienisch belastet sein, beispielsweise durch Luftschadstoffe und Gerüche. Dies muss im Einzelfall berücksichtigt werden.

Die Modellierungsergebnisse sind für sehr schmale Täler und bei sehr flachem und wenig strukturiertem Gelände, vor allem zu Beginn der Nacht, ungenauer (Noppel 2017).

Ein **Windfeld** wird charakterisiert durch die Windgeschwindigkeit und Windrichtung und bestimmt damit die Ausbreitung der Kaltluft.

Kaltluftleitbahnen transportieren kühle, aber hinsichtlich der lufthygienischen Situation nicht näher spezifizierte Luftmassen (Kaltluftstrom) (MKULNV 2011). Die Ausbreitung erfolgt nach den topografischen Gegebenheiten und fließt von den Höhen ins Tal.

Der **Volumenstrom** ist bestimmt von

- der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft,
- der vertikalen Ausdehnung
- und der Durchflussbreite.

„Je nach lufthygienischer Eigenschaft können Luftströmungen in einem Einwirkungsbereich die Luftqualität positiv/negativ beeinflussen. Ist die Luft unbelastet von Luftschadstoffen, spricht man von Frischluft.“ (Klamis 2013)

BAUSTEIN 1.5: KALTLUFTABFLUSS



VORGEHEN

Die Betrachtung der Kaltluftabflüsse wurde im Projekt KLIMPRAX Stadtklima mit der Modellierungssoftware MUKLIMO_3 vorgenommen und ist daher für Experten geeignet bzw. muss ggf. an Experten vergeben werden. Liegen für die Analyse keine Simulationen mit einem Stadtklimamodell (z. B. MUKLIMO_3) vor, so eignen sich alternativ auch Simulationen mit einem Kaltluftabflussmodell (z. B. KALM, KLAM_21).

Relevante Datensätze aus der Modellierung für die Analyse sind:

- bodennahes Windfeld (entspricht 1–10 m über Grund)
- Volumenstrom über eine vorgegebene Schichtdicke (z. B. 0–50 m; 0–20 m)
- Temperatur des Volumenstroms

Für die Analyse werden je ein Zeitraum zu Beginn und zum Ende der Nacht herangezogen:

Volumenstrom mit dessen Temperatur und Windfeld um

- 23 Uhr
- 4 Uhr

Mögliche Klassifizierung und Einstufung

Darstellung des bodennahen Windfelds (in m/s):

- Bodennahes Windfeld: Zusammenfassung der Geschwindigkeit in Klassen (sonst zu unübersichtlich)
- Wählen Sie eine Mindestgeschwindigkeit in Relation zum Gebiet (z. B. Mindestgeschwindigkeit $\geq 0,2$ m/s), ab der die Darstellung erfolgt.

Darstellung des Volumenstroms (in m^3/s je m):

- Werte für eine vorgegebene Schichtdicke
- Klassenbreiten in Abhängigkeit vom Gebiet und der Schichtdicke wählen, z. B. mögliche Einstufung des Volumenstroms:
unter $20 \text{ m}^3/\text{s}$ gering; $20\text{--}60 \text{ m}^3/\text{s}$ mäßig, $60\text{--}100 \text{ m}^3/\text{s}$ hoch, über $100 \text{ m}^3/\text{s}$ sehr hoch

Temperatur des Volumenstroms:

- gemittelt für die Schicht des betrachteten Volumenstroms zur Beurteilung, ob der Volumenstrom als Kaltluft eingeschätzt werden kann
- lokale Einstufung der Temperatur des Volumenstroms: Je nach Temperatur in den zu durchlüftenden Siedlungsgebieten (siehe z. B. **Baustein 1.2**) können auch Volumenströme mit relativ höheren Temperaturen zur Abkühlung beitragen.

BAUSTEIN 1.5: KALTLUFTABFLUSS



Mögliche ergänzende Indikatoren

Sogenannte Kaltlufttrajektorien (siehe Kapitel 4.1.2) unterstützen die Analyse der Quell- und Zielgebiete der Kaltluft in folgender Weise:

- Zur Analyse, woher die Belüftung von klimatisch hoch / sehr hoch belasteten Gebieten erfolgt (siehe [↪ Modul 2, Baustein 2.2 bis Baustein 2.4](#)), werden diese als Zielgebiete für das Modell gewählt.
- Mit Hilfe von Trajektorien lässt sich aufzeigen, woher die Luft in diesen Gebieten kommt (Zeiträume erste und zweite Nachthälfte).
- Zur Analyse, inwiefern die identifizierten Flächen mit hoher Kaltluftproduktion zur Belüftung beitragen, werden diese als Quellgebiete für das Modell gewählt.
- Hier lässt sich mit Hilfe der Trajektorien aufzeigen, wohin die Luft aus diesen Gebieten fließt.
- Die Ergebnisse werden gegeneinander abgeglichen und plausibilisiert. Sie zeigen funktionale Zusammenhänge zwischen potenziellen Ausgleichs- und Belastungsgebieten auf (siehe [↪ Modul 2](#)).

Eine Zusammenfassung der Trajektorien (Klassifizierung z. B. über Dichte oder Streuung der Partikelverläufe) ist standardisiert nicht möglich und bedarf der fachlichen Interpretation.

Soweit für einzelne Flächen mikroskalige Modellierungen, z. B. aus Detailklimagutachten für einzelne Bauvorhaben, vorliegen, sollten diese zur Plausibilisierung und Ergänzung der Analyse herangezogen werden.

Trajektorie

„Bahn oder Bewegungspfad, den ein Objekt, z. B. ein Luftpartikel, in einem gewissen Zeitraum durchläuft. Das bedeutet, dass die Trajektorie alle Orte verbindet, die ein Teilchen während seiner Bewegung einmal berührt hat. Durch die Berechnung von Trajektorien lässt sich z. B. die Herkunft und die weitere Verfrachtung von Luftverunreinigungen bestimmen. Geht man vom Endpunkt der Bahn aus und „verfolgt“ das Objekt zeitlich rückwärts bis zu seinem „Startpunkt“, spricht man von Rückwärtstrajektorien. Geht man vom Startpunkt aus und rechnet zeitlich vorwärts von einer Vorwärtstrajektorie.“ (Noppel 2017: S. 99)

BAUSTEIN 1.5:
KALTLUFTABFLUSS



KARTOGRAFISCHE DARSTELLUNG

In Abbildung 31 ist das Windfeld und die Lufttemperatur in 5 m über Grund dargestellt. Die Pfeile zeigen die Richtung und die Geschwindigkeit (Länge des Pfeils) des Windfeldes.

Erläuterung zur Abbildung
In der Beispieldarstellung wird jeder achte Windpfeil in einem Abstand von 800 m dargestellt.

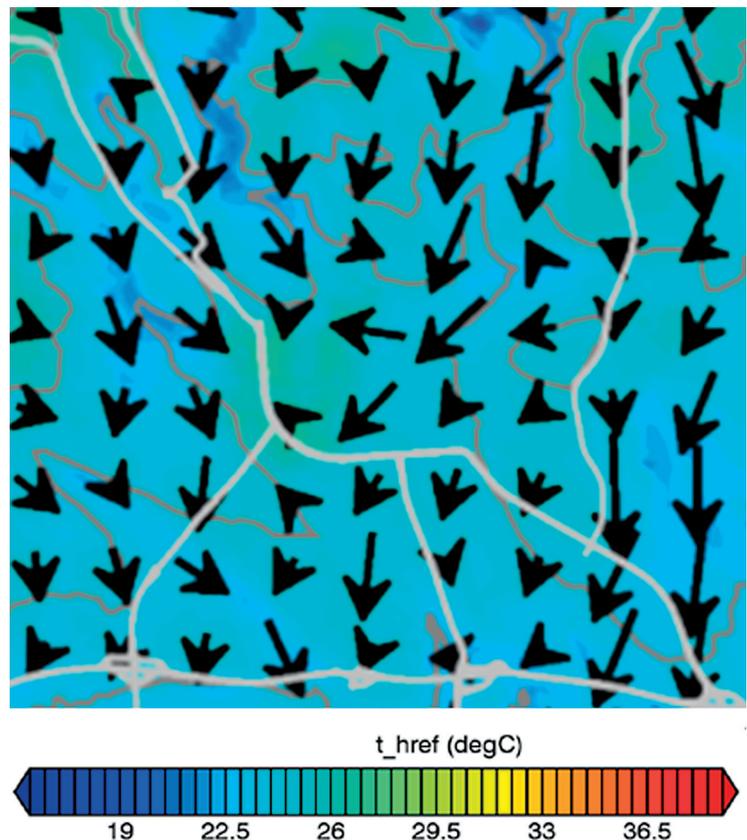
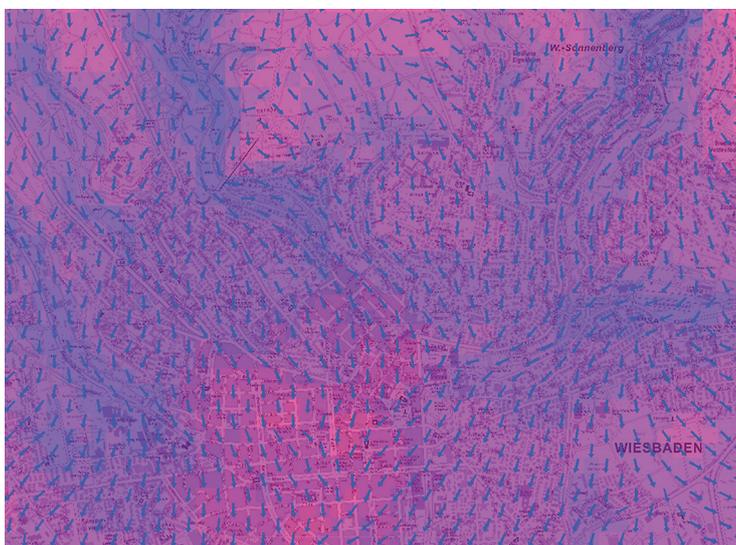


Abbildung 31: Beispieldarstellung des Windfelds und der Lufttemperatur in 5m über Grund um 4 Uhr MESZ in Wiesbaden (Quelle: Noppel 2017: S. 25)

Zur Darstellung des Volumenstroms und der Temperatur der Volumenströme gibt es verschiedene Möglichkeiten. Abbildung 32 zeigt die Darstellung der Temperatur als flächige Darstellung, die mit Pfeilen überlagert ist, die die Richtung des Volumenstroms anzeigen.

**BAUSTEIN 1.5:
KALTLUFTABFLUSS**



Mittlere Temperatur des Kaltluftvolumenstromes in °C

17 bis 18	24 bis 25
18 bis 19	25 bis 26
19 bis 20	26 bis 27
20 bis 21	27 bis 28
21 bis 22	28 bis 29
22 bis 23	29 bis 30
23 bis 24	30 bis 31

Abbildung 32: Beispieldarstellung – Volumenstrom (Pfeilrichtung) und Temperatur (Farbflächen) für die Schichtdicke 20 m um 4 Uhr MESZ in Wiesbaden (Quelle: Landeshauptstadt Wiesbaden, Umweltamt 2018)

Abbildung 33 verdeutlicht anhand von Pfeilen die Richtung, die Temperatur (Farbe des Pfeils) und die Stärke (Länge des Pfeils) des Volumenstroms an. Der rote Kreis zeigt das Gebiet der Innenstadt von Wiesbaden als im Projektbeispiel definiertes Zielgebiet. Es wird erkennbar, aus welchen Tälern in welchem Umfang und mit welcher Temperatur Luft in dieses Gebiet strömt.

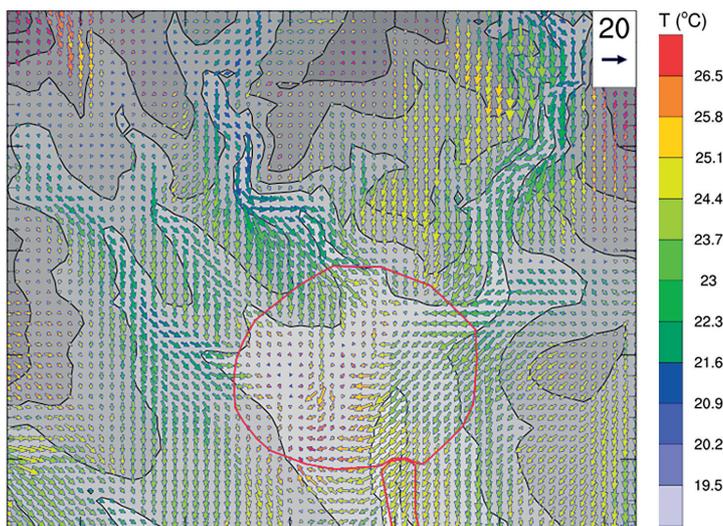


Abbildung 33: Beispieldarstellung – Volumenstrom (Richtung, Stärke und Temperatur) für eine Schichtdicke von 20 m um 4 Uhr MESZ in Wiesbaden (Quelle: Noppel 2017: S. 67)

BAUSTEIN 1.5:
KALTLUFTABFLUSS



Abbildung 34 stellt beispielhaft die Simulationsergebnisse von Trajektorien im Modellgebiet dar. In den Karten sind die Einstufung der Kaltluftentstehungsgebiete auf den unbebauten Flächen und die Anzahl der Tropennächte pro Jahr auf den bebauten Flächen hinterlegt. Ausgehend von den Quell- bzw. Zielgebieten können die Wege der Luft (violette Linien in den Karten) nachvollzogen werden.

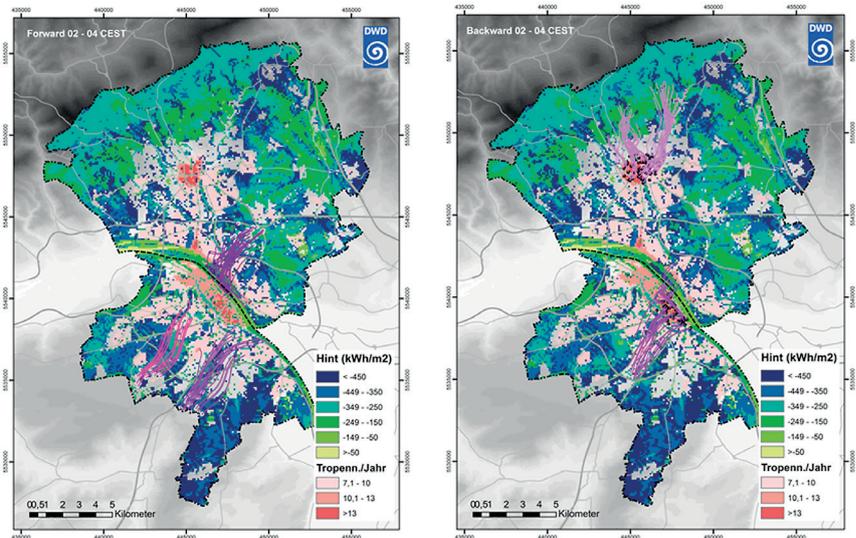


Abbildung 34: Vorwärtstrajektorien im Modellgebiet mit Start 2 Uhr und Ende um 4 Uhr (links) und Rückwärtstrajektorien mit Start um 4 Uhr und Ende um 2 Uhr (rechts) (Quelle: DWD 2017b)

BAUSTEIN 1.6: ABSCHÄTZUNG FÜR TYPISCHE BEBAUUNGSSTRUKTUREN UND FLÄCHENNUTZUNGEN



EINLEITUNG UND ZIELE

In dem Baustein werden Herangehensweisen zur Abschätzung klimatischer Erkenntnisse anhand von typischen Bebauungsstrukturen und Flächennutzungen beschrieben. Der Baustein zeigt insbesondere für kleine und mittlere Kommunen und für Stadtquartiere Alternativen zur Durchführung von Stadtklimamodellierungen. Die Herangehensweisen eignen sich jeweils für eine erste Einschätzung von klimatischen Erkenntnissen, da keine mit den in [Modul 1](#) beschriebenen Modellierungen vergleichbare Genauigkeit im Hinblick auf räumliche Auflösung und quantitative Differenzierung der Erkenntnisse erzielbar ist. Aufbauend auf den so erzielten Erkenntnissen können bei Bedarf weitere zielgerichtete Analysen über Modellierungen, beispielsweise für bestimmte Stadtquartiere oder Kaltluftanalysen, erfolgen. Für weniger komplexe Situationen insbesondere in kleineren und mittleren Städten reichen die Erkenntnisse aus der Abschätzung i. d. R. jedoch aus, um Schlussfolgerungen für die Planung ableiten zu können.

Die folgenden Herangehensweisen werden hier erläutert:

- Flächenanalyse des Informationsportals Klimaanpassung in Städten (INKAS) des DWD: Einstufung der Anfälligkeit der Siedlungsflächen für sommerliche Hitzebelastung anhand von Ergebnissen systematischer Stadtklimasimulationen (siehe [Baustein 1.6.1](#));
- Ermittlung des Versiegelungsgrads zur Beurteilung der thermischen Belastung (siehe [Baustein 1.6.2](#))
- Ermittlung von Klimatopen: Zuordnung des Gemeindegebiets zu Klimatopen in Anlehnung an VDI 3787 Blatt 1 (Stand 9/2015); Bewertung der Wärmebelastung durch Einstufung der Klimatope in Belastungs- und Ausgleichsräume (siehe [Baustein 1.6.3](#))
- Abschätzung der Kaltluftproduktionsrate (siehe [Baustein 1.6.4](#))

Nach VDI 3787 Blatt 1 bezeichnen **Klimatope** die „klimatische räumliche Einteilung von Gebieten mit ähnlichen mikroklimatischen Ausprägungen hinsichtlich des thermischen Tagesgangs, der durch Bodenrauigkeitsänderungen bedingten Windfeldstörungen, der topografischen Lage und/oder Exposition sowie der Art der realen Flächennutzung.“

1.6.1: INKAS FLÄCHENANALYSE

ERLÄUTERUNG UND EIGNUNG

Die INKAS Flächenanalyse unterstützt Sie bei einer räumlich differenzierten Einschätzung der Anfälligkeit Ihrer Kommune für sommerliche Hitzebelastung. Insbesondere, wenn Sie bisher über keine umfassenden klimatischen Untersuchungen verfügen, ist dieses interaktive Online-Werkzeug zielführend.

Die Flächenanalyse des INKAS beruht auf den Ergebnissen von Stadtklimasimulationen idealisierter Städte. Die Ergebnisse werden systematisch ausgewertet, um verschiedene Bebauungstypen hinsichtlich ihrer Anfälligkeit für sommerliche Hitzebelastung einstufen zu können.

BAUSTEIN 1.6: ABSCHÄTZUNG FÜR TYPISCHE BEBAUUNGSSTRUKTUREN UND FLÄCHENNUTZUNGEN



Hinweis

Der DWD bietet weitere Werkzeuge, die Sie für eine Einschätzung der klimatischen Situation in Ihrer Kommune nutzen können. Beispielsweise zeigt der Deutsche Klimaatlas die Entwicklung verschiedener Indikatoren, z. B. der Lufttemperatur oder der Heißen Tage, für Deutschland und die Bundesländer (vgl. www.dwd.de/klimaatlas). Da diese Werkzeuge eine regionale oder überregionale Bezugsebene haben, sind diese hier im Einzelnen nicht aufgeführt.

Die Flächenanalyse INKAS liefert für neun verschiedene Bebauungstypen Informationen zur Lufttemperatur, die als Temperaturdifferenz zum Schwellwert einer Tropennacht und eines Heißen Tages ausgegeben wird. Wenn die Temperaturdifferenz eines Bebauungstyps einen Schwellenwert überschreitet, ist dies ein Hinweis auf eine hohe Anfälligkeit.

Die Ergebnisse beziehen sich jeweils auf einen bestimmten Bebauungstyp mit Freilandumgebung. Somit wird die Interaktion des Bebauungstyps zur Freifläche berücksichtigt, nicht aber von bebauten Flächen untereinander. Ebenso bleiben die Topografie und die Lage einer Stadt unberücksichtigt. Für Freiflächen sind keine Daten hinterlegt, sodass Ausgleichsflächen mit dieser Herangehensweise nicht bewertet werden können. Auch Erkenntnisse zu Kaltluftproduktion und -abfluss sind über die Herangehensweise nicht ermittelbar.

Insgesamt eignet sich diese Flächenanalyse zur Abschätzung der grundsätzlichen Relation der Temperaturen zwischen den verschiedenen Bebauungsstrukturen, die in einem Stadtgebiet vorhanden sind.

VORGEHEN

Umfangreiche Unterstützung zum Vorgehen der INKAS Flächenanalyse erhalten Sie auf den Webseiten des DWD unter folgendem Link:

<https://www.dwd.de/inkas>

KARTOGRAFISCHE DARSTELLUNG

Sie können das Ergebnis der INKAS Flächenanalyse kartografisch darstellen. Allerdings liegen dazu noch keine umfangreichen Erfahrungen vor, da INKAS ursprünglich für die Abschätzung der Wirksamkeit möglicher Anpassungsmaßnahmen (z. B. Entsiegelung) entwickelt wurde. Erste Testkarten wurden im Rahmen des Projekts KLIMPRAX Stadtklima erstellt. In der Karte kann die Temperaturdifferenz zum Schwellenwert einer Tropennacht (20 °C) bzw. eines Heißen Tages (30 °C) als Maß für die Hitzebelastung visualisiert werden. Es empfiehlt sich, mit der Farbgebung auf eine Unterschreitung oder Überschreitung vom jeweiligen Schwellenwert hinzuweisen. Kartendarstellungen, die die Temperaturabweichungen vom Schwellenwert zeigen, sind gut vermittelbar und transportieren zudem eine klare Botschaft.

BAUSTEIN 1.6: ABSCHÄTZUNG FÜR TYPISCHE BEBAUUNGSSTRUKTUREN UND FLÄCHENNUTZUNGEN



Temperaturdifferenz in Kelvin

	> 3
	> 2 bis 3
	> 1 bis 2
	> 0 bis 1
	0
	< 0 bis -1
	< -1 bis -2
	< -2

Abbildung 35: Beispiellgende zur kartografischen Darstellung der Anfälligkeit für sommerliche Hitzebelastung auf Basis der INKAS Flächenanalyse (Quelle: eigene Darstellung)

1.6.2: ERMITTLUNG DES VERSIEGELUNGSGRADS

ERLÄUTERUNG UND EIGNUNG

Das Klima in Ihrer Kommune wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Ein wesentlicher Faktor ist neben der verdichteten Bebauung (siehe **Kapitel 2.2**) der hohe Versiegelungsgrad, der die sommerliche Wärmebelastung verstärkt. Aufgrund dieser bekannten Zusammenhänge können Sie Aussagen zur thermischen Belastung in Ihrer Kommune treffen, wenn Sie den Versiegelungsgrad in unterschiedlichen Gebieten Ihrer Gemeinde kennen.

Auf Basis des Versiegelungsgrades lassen sich alle Flächen Ihres Gemeindegebiets hinsichtlich ihrer thermischen Belastung klassifizieren, woraus eine Einstufung der Belastungsgebiete getroffen werden kann (siehe **Modul 2**).

Die Einstufung erfolgt qualitativ. Die Herangehensweise berücksichtigt keine individuellen Rahmenbedingungen, wie Topografie oder Lage der Kommune.

VORGEHEN

Relevante Daten

Die Klassifizierung der thermischen Belastung aller Flächen Ihres Gemeindegebiets erfolgt auf Basis des Versiegelungsgrads. Falls Ihnen keine Informationen zum Versiegelungsgrad in Ihrer Kommune vorliegen, können Sie diesen beispielsweise über eine Luftbildanalyse ermitteln. Alternativ können Sie prüfen, ob (über-)regionale Abschätzungen des Versiegelungsgrads vorliegen, wie sie beispielsweise das europäische System Copernicus unter anderem auf Basis von Satellitenbildern bereitstellt (vgl. Urban Atlas 2012 der European Environment Agency unter <https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas/urban-atlas-2012>).

BAUSTEIN 1.6: ABSCHÄTZUNG FÜR TYPISCHE BEBAUUNGSSTRUKTUREN UND FLÄCHENNUTZUNGEN



Hinweis

Die Klassengrenzen sind im Einzelfall zu prüfen, beispielsweise erscheint es sinnvoll, Flächen mit geringem Versiegelungsgrad und gleichzeitig entlastender Wirkung abweichend von der angegebenen möglichen Klassifizierung einzustufen (vgl. Fallbeispiel Stadt Bad Liebenwerda).

Mögliche Klassifizierung und Einstufung

Der Versiegelungsgrad ordnet einer Fläche eine qualitative Einstufung ihrer thermischen Belastung zu:

- hoher Versiegelungsgrad (> 70 %): hohe thermische Belastung
- mittlerer Versiegelungsgrad (≥ 50 % und ≤ 70 %): mittlere thermische Belastung
- geringer Versiegelungsgrad (< 50 %): geringe thermische Belastung
- unversiegelt (0 %): keine thermische Belastung

(Quelle: Stadt Bad Liebenwerda 2010)

KARTOGRAFISCHE DARSTELLUNG

Karteninhalte: Versiegelungsgrad in vier Stufen und Hinweise zur räumlichen Orientierung, wie die Abgrenzung von statistischen Bezirken und die Hinterlegung topografischer Merkmale (z. B. bebaute Gebiete).

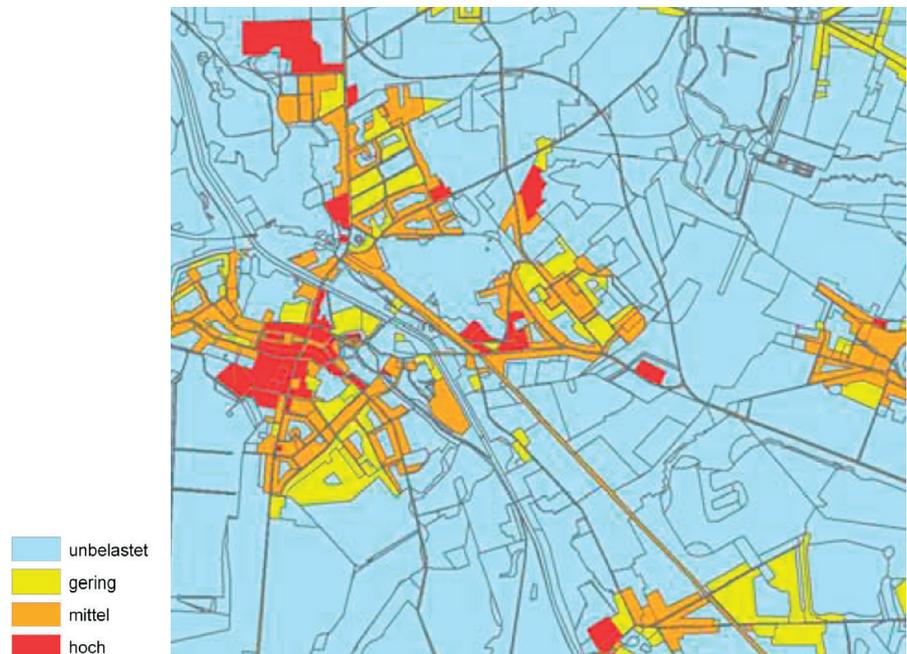


Abbildung 36: Ausschnitt der Einstufung der thermischen Belastung im Siedlungsbereich anhand des Versiegelungsgrads unter Berücksichtigung der Flächennutzungen (Quelle: Stadt Bad Liebenwerda 2010)

BAUSTEIN 1.6: ABSCHÄTZUNG FÜR TYPISCHE BEBAUUNGSSTRUKTUREN UND FLÄCHENNUTZUNGEN



1.6.3: ERMITTLUNG VON KLIMATOPEN

ERLÄUTERUNG UND EIGNUNG

Auf Basis der Zuordnung Ihrer Gemeindegebiete zu den in der VDI-Richtlinie benannten zehn Klimatopen können Sie Aussagen zu den Klimateigenschaften der jeweiligen Fläche ableiten. Die VDI-Richtlinie unterscheidet bebaute und nicht bebaute Gebiete, sodass alle Flächen Ihres Gemeindegebiets klassifiziert werden können. Damit haben Sie eine Grundlage für die Einschätzung der Flächen als Belastungs- bzw. Ausgleichsräume (siehe → **Modul 2**).

Die Einstufung erfolgt qualitativ. Die Herangehensweise berücksichtigt keine individuellen Rahmenbedingungen Ihrer Kommune, wie die Topografie oder die Lage der Kommune.

Die Ergänzung von lokalen klimatischen Zusammenhängen, z. B. Kaltluftabfluss, ist bei entsprechendem Expertenwissen möglich. Die Möglichkeiten der Herangehensweise bewegen sich damit zwischen einer ersten Einschätzung der Verteilung der Wärmebelastung im Gemeindegebiet und der fachlichen Weiterentwicklung bis hin zu einer vollständigen Klimaanalyse.

VORGEHEN

Relevante Daten

Datengrundlagen für die Zuordnung zu Klimatopen sind Nutzungsklassen, wie sie beispielsweise in den Datensätzen CORINE Landcover oder ATKIS enthalten sind. Auch Luftbildauswertungen eignen sich als Grundlage. Zusätzlich benötigen Sie Informationen zum Relief und zur Oberflächenstruktur, z. B. aus digitalen Höhenmodellen. Die detaillierte Beschreibung der Klimatope und die Zuordnung von räumlichen Einheiten zu Klimatopen können Sie VDI 3787 Blatt 1 entnehmen.

Mögliche Klassifizierung und Einstufung

siehe kartografische Darstellung.

Klimatope

beschreiben die „klimatische räumliche Einteilung von Gebieten mit ähnlichen mikroklimatischen Ausprägungen hinsichtlich des thermischen Tagesgangs, der durch Bodenrauigkeitsänderungen bedingten Windfeldstörungen, der topografischen Lage und / oder Exposition sowie der Art der realen Flächennutzung.“ (VDI 3787 Blatt 1: S. 4)

BAUSTEIN 1.6: ABSCHÄTZUNG FÜR TYPISCHE BEBAUUNGSSTRUKTUREN UND FLÄCHENNUTZUNGEN



KARTOGRAFISCHE DARSTELLUNG

Karteninhalte: Darstellung von Klimatopen und Hinweise zur räumlichen Orientierung wie Abgrenzung von statistischen Bezirken und Hinterlegung topografischer Merkmale (z. B. bebaute Gebiete).

VDI 3787 Blatt 1 empfiehlt für Klimatope folgende Farbauswahl:

Gewässer-/Seenklima (dunkelblau)		RGB 0/127/255
Freilandklima (hellblau)		RGB 90/232/255
Waldklima (dunkelgrün)		RGB 115/178/115
Klima innerstädtischer Grünflächen (hellgrün)		RGB 174/241/176
Vorstadtklima (hellgelb)		RGB 255/255/225
Stadttrandklima (hellorange)		RGB 254/220/0
Stadtklima (orange)		RGB 255/165/0
Innenstadtklima (hellrot)		RGB 255/127/127
Gewerbe-/Industrieklima (hellgrau)		RGB 210/210/210

1.6.4: ABSCHÄTZUNG DER KALTLUFTPRODUKTIONSRATE NACH FLÄCHENNUTZUNG

Kaltluftentstehung

ist die „Bildung von lokaler Kaltluft über unversiegelten Oberflächen als Folge der atmosphärischen Prozesse in der bodennahen Grenzschicht während wind-schwacher Strahlungsnächte.“ (VDI 3787 Blatt 1: S. 4)

ERLÄUTERUNG UND EIGNUNG

Die Prozesse der Kaltluftentstehung und des Kaltluftabflusses hängen von meteorologischen Verhältnissen, der Flächennutzung sowie von der Geländeform und -exposition ab.

Es bestehen verschiedene Ansätze, um eine Einstufung vorzunehmen. Die Zuweisung von Schätzwerten aus der Literatur für die Kaltluftproduktion von bestimmten Flächennutzungen kann eine grobe Ersteinschätzung liefern; sie ist aufgrund der komplexen Vorgänge bei der Kaltluftbildung jedoch fehlerbehaftet.

BAUSTEIN 1.6: ABSCHÄTZUNG FÜR TYPISCHE BEBAUUNGSSTRUKTUREN UND FLÄCHENNUTZUNGEN



Eine Auswertung „häufig zitierte[r] mittlere[r] Kaltluftentstehungsraten“ (VDI 3787 Blatt 5: S. 25) für verschiedene Böden oder Bewuchsarten zeigt, dass die höchsten Kaltluftproduktionswerte über unversiegelten Freiflächen wie Ackerflächen oder Wiesenflächen erreicht werden.

Daher wird empfohlen, auf eine überschlägige Einstufung der Intensität der Kaltluftentstehung in wenige Kategorien zurückzugreifen, z. B. anhand von Klimatopen, die gegebenenfalls gegenüber der VDI (vgl. ➔ **Baustein 1.6.3**) individuell für das Stadtgebiet erweitert werden.

- Freiland/Acker: sehr hoch
- Parkflächen/ Kleingärten: hoch
- Wald: mittel

(vgl. Stadt Jena 2012)

Weiterhin kann eine große Amplitude des Tagesganges der Bodentemperatur ein Indiz für eine starke Kaltluftentstehung in den Abend- und Nachtstunden sein (VDI 3787 Blatt 5). Beispielsweise ist die Kaltluftproduktion in bzw. über Waldgebieten in der Regel weniger intensiv als über Ackerflächen (s. VDI 3787 Blatt 5).

VORGEHEN

Zuordnung von räumlichen Einheiten zu Klimatopen in Anlehnung an VDI 3787 Blatt 1 (vgl. ➔ **Baustein 1.6.3**) oder anderen Klassifizierungen und Zuordnung von Schätzwerten auf Basis von Publikationen, z. B. wissenschaftliche Analysen oder Fallbeispiele (siehe auch „Erläuterung und Eignung“)

KARTOGRAFISCHE DARSTELLUNG

Karteninhalte: Die von der VDI 3787 Blatt 1 empfohlene farbliche Einstufung für die Klimatope ist in ➔ **Baustein 1.6.3** aufgezeigt. Zudem kann sich die kartografische Darstellung an den Hinweisen zu ➔ **Baustein 1.4** orientieren.

Kaltluft (lokale) bzw. Kaltluftabfluss ist „Luft, die aufgrund des Energieumsatzes an der Erdoberfläche eine niedrigere Temperatur als die Luft in der Umgebung aufweist. Die nachts durch Ausstrahlung abkühlende Erdoberfläche kühlt ihrerseits die darüber liegende bodennahe Luftschicht ab. Es handelt sich dabei um einen relativen und nicht um einen absoluten Bezug“ (Klamis 2013: S. 56).

Modul 2: Bewertung klimatischer Belastungs- und Ausgleichsräume

Ziel und Nutzen Modul 2 In **↪ Modul 1** haben Sie verschiedene Wege kennengelernt, mit Hilfe welcher Daten und Informationen Sie Erkenntnisse zur stadtklimatischen Situation erhalten. Damit Sie daraus Schlussfolgerungen und Maßnahmen für Ihre Kommune entwickeln können, müssen Sie diese Erkenntnisse bewerten und zueinander in Beziehung setzen. In **↪ Modul 2** finden Sie Methoden, wie Sie die Erkenntnisse aus **↪ Modul 1** in Raumkategorien übersetzen. Die Einstufung und Bewertung der stadtklimatischen Erkenntnisse in Kategorien ermöglicht dann im nächsten Schritt (**↪ Modul 3**) die Ableitung von Planungshinweisen.

Die Bausteine in **↪ Modul 2** beschreiben verschiedene Arbeitsschritte und Methoden zur Bewertung der planungsrelevanten stadtklimatischen Erkenntnisse aus **↪ Modul 1**. Im Ergebnis erhalten Sie eine Differenzierung Ihres Stadt- bzw. Gemeindegebietes in klimatische Belastungs- und Ausgleichsräume sowie differenzierte Aussagen zu den Wirkungsbeziehungen durch Kaltluft- und Ventilationsbahnen.

Aufbau Modul 2 Bei den Bausteinen des **↪ Modul 2** wird in Belastungsräume und Ausgleichsräume unterschieden. Es wird erläutert, was Belastung bzw. Ausgleich bedeutet und wie die entsprechenden Einstufungen vorgenommen werden. Folgende Bausteine finden Sie in **↪ Modul 2**:

- **↪ Baustein 2.1:** Einführung in **↪ Modul 2**
- **↪ Baustein 2.2:** Bebaute Räume mit bioklimatischer Belastung
 - mittlere bis hohe Belastung B1/B2
 - geringe Belastung C
 - unbelastet D
- **↪ Baustein 2.3:** Ausgleichsräume mit
 - hoher klimatischer Bedeutung A1
 - mittlerer klimatischer Bedeutung A2
 - geringer klimatischer Bedeutung A3
- **↪ Baustein 2.4:** Empfehlungen zur Beurteilung von zukünftigen Belastungen

Die Einstufung der Belastungs- und Ausgleichsräume wird in Anlehnung an VDI 3787 Blatt 1 vorgeschlagen. Allerdings wird im vorliegenden Handlungsleitfaden die Unterscheidung der Belastungsräume nach hoher und mittlerer Belastung vorgeschlagen, die es so in der VDI-Richtlinie nicht gibt. Damit soll die zu erwartende Bandbreite der vorliegenden Ergebnisse in Städten in warmen Regionen (auch in Zukunft) besser abgebildet werden.

In der VDI-Richtlinie werden bebaute Flächen hinsichtlich ihrer Möglichkeit, generell klimarelevante Funktionen zu übernehmen, eingestuft. Dies spielt im vorliegenden Ansatz – der mit dem Fokus der Auswirkungen von Hitzebelastungen auf die menschliche Gesundheit entwickelt wurde – nur bedingt mit Bezug auf Hitze eine Rolle. Die Benennung und Einstufung der Ausgleichsräume erfolgt analog zur VDI 3787 Blatt 1.

BAUSTEIN 2.1: EINFÜHRUNG IN MODUL 2



INHALTE IN MODUL 2 BEWERTUNG KLIMATISCHER BELASTUNGS- UND AUSGLEICHRÄUME

➔ **Modul 2** gibt Empfehlungen für die Bewertung von Belastungs- und Ausgleichsräumen. Auf Basis dieser Hinweise können Sie einerseits die Siedlungsflächen hinsichtlich ihrer Wärmebelastung einstufen und andererseits Freiflächen hinsichtlich ihrer lokalklimatischen Ausgleichsfunktion einteilen. Neben Ausgleichsräumen sind **Ventilationsbahnen/Kaltluftleitbahnen** für die Entlastung von wärmebelasteten Stadtteilen von zentraler Bedeutung. Ventilationsbahnen/Kaltluftleitbahnen verbinden einen Ausgleichsraum mit einem Belastungsraum.

Für das Stadtklima ist entscheidend, welche räumlichen und funktionalen Zusammenhänge zwischen diesen Kategorien bestehen. Abbildung 37 zeigt mögliche Zusammenhänge schematisch auf.

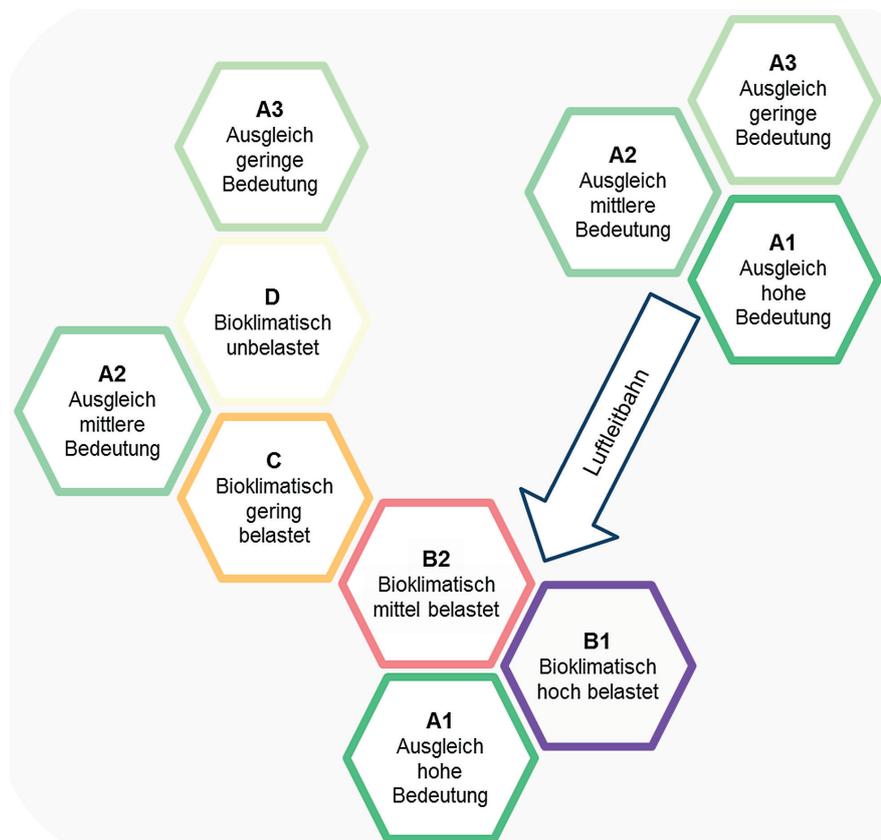


Abbildung 37: Schematische Darstellung der Belastungs- und Ausgleichsräume (eigene Darstellung)

Kaltluftleitbahnen transportieren kühle, aber hinsichtlich der lufthygienischen Situation nicht näher spezifizierte Luftmassen (MKULNV 2011).

Ausgleichsräume, die unmittelbar an bioklimatisch hoch oder mittel belastete Räume angrenzen oder die über Kaltluftleitbahnen mit belasteten Räumen verbunden sind, haben für das Stadtklima eine höhere Bedeutung als Ausgleichsräume, deren gebildete Kaltluft keines der belasteten Gebiete erreicht. In **Baustein 2.3** erhalten Sie Hinweise zu diesen Wirkungszusammenhängen und ihrer Berücksichtigung zur Bewertung von Ausgleichsräumen.

BAUSTEIN 2.2: BEURTEILUNG VON BELASTUNGSGEBIETEN



EINLEITUNG UND ZIELE

In diesem Baustein wird beschrieben, wie Sie aufbauend auf den stadtklimatischen Erkenntnissen die Wärmebelastung auf den Siedlungsflächen in Ihrem Stadtgebiet bewerten können. Auf Basis dieser Bewertungen haben Sie dann die Möglichkeit, durch entsprechende Planungshinweise und Maßnahmen (siehe [↪ Modul 3](#)) bei der weiteren Entwicklung dieser Gebiete auf Wärmebelastungen angemessen zu reagieren.

Als Belastungsgebiete B1 und B2 werden diejenigen Gebiete bewertet, in denen es aufgrund der lokalen Wärmeentwicklung zu relativ hohen bioklimatischen Belastungen für den Menschen kommt.

Als Belastungsgebiete C werden diejenigen Gebiete bewertet, in denen es aufgrund der lokalen Wärmeentwicklung zu relativ geringen bioklimatischen Belastungen für den Menschen kommt.

Als Belastungsgebiete D werden diejenigen Gebiete bewertet, die aufgrund der lokalen Wärmeentwicklung als im städtischen Vergleich weitgehend unbelastet hinsichtlich der bioklimatischen Situation für den Menschen anzusehen sind.

ERLÄUTERUNG UND EIGNUNG

Es gibt keinen allgemeingültigen absoluten Grenzwert, ab wann eine Wärmebelastung als problematisch gilt. In VDI 3787 Blatt 1 wird eine gebietsbezogene relative Einstufung empfohlen. Das bedeutet, dass Sie die Bewertung durch einen Vergleich der Flächen innerhalb Ihres Stadtgebiets vornehmen. Die relative Einstufung der Flächen kann durch die z-Transformation des gewählten Modellierungsergebnisses erfolgen.

Für die Bewertung von Belastungsgebieten wird vorrangig die Berücksichtigung der zweiten Nachthälfte (im Beispiel 4 Uhr) empfohlen. Eine ausreichende nächtliche Abkühlung ist von großer Bedeutung für einen erholsamen Schlaf und somit ein Faktor, der die menschliche Gesundheit beeinflusst. Im Modellgebiet des Projekts KLIMPRAX Stadtklima liegen die Temperaturwerte um 23 Uhr nahezu im gesamten Stadtgebiet über 20 °C, während die Unterschiede zum Zeitpunkt 4 Uhr eine Unterscheidung in belastete Gebiete und unbelastete Gebiete ermöglichen (siehe dazu beispielsweise die Einstufung nach VDI 3787 Blatt 2). So können für stadtplanerische Fragestellungen die Gebiete identifiziert werden, in denen es im gesamten Nachtverlauf kaum zur Abkühlung kommt.

z-Transformation

Statistisches Vorgehen zur Standardisierung eines Parameters. Die z-Transformation erfolgt dabei anhand der folgenden Berechnungsvorschrift (vgl. VDI 3785 Blatt 1):

$z = (x - \mu) / \sigma$ Mit:

x: Ausgangsparameter

μ : arithmetisches Mittel

σ : Standardabweichung

z: standardisierter Parameter als Ergebnis.

Nach Anwendung der Berechnungsvorschrift entspricht das arithmetische Mittel dem Wert 0 die Standardabweichung dem Wert 1.

BAUSTEIN 2.2: BEURTEILUNG VON BELASTUNGSGEBIETEN



Weitergehende Möglichkeiten, die für einzelne Fragestellungen sinnvoll sind:

Für eine Bewertung können auch absolute Werte der thermophysiologischen Belastung nach VDI 3787 Blatt 2 herangezogen werden. Dies ist aber nur dann sinnvoll, wenn es ausreichend Unterschiede im Temperaturniveau gibt. Je nach regionalen klimatischen Randbedingungen, z. B. im Rhein-Main-Gebiet ergibt sich tagsüber jedoch auf allen Siedlungsflächen eine mindestens starke Wärmebelastung (über 32 °C, in den Modellkommunen sogar mindestens 36 °C), dann ist eine Differenzierung der Siedlungsgebiete anhand dieser Werte nicht mehr möglich.

Die Nutzung der Datensätze zu Wärmebelastungen am Tag (Zeitpunkt z. B. 16 Uhr) zur Ableitung von Belastungsgebieten anhand von gegebenen Schwellenwerten der thermophysischen Belastung kann für einzelne Fragestellungen sinnvoll sein, z. B. für die Überlagerung mit der Sensitivitätsanalyse Gesundheit (siehe [Modul 5](#)).

VORGEHEN

Relevante Datensätze aus der Modellierung (MUKLIMO_3) sind:

- bodennahe, gefühlte Temperatur (T in °C) um 4 Uhr nachts oder
- bodennahe Lufttemperatur (T in °C) um 4 Uhr nachts.

Die entsprechenden Daten können für das gesamte Stadtgebiet klassifiziert und dargestellt werden (siehe Klassifizierung).

Um die Situation am Tag zu analysieren, kann folgender Datensatz aus der Modellierung herangezogen werden:

- gefühlte Temperatur oder Lufttemperatur 16 Uhr zur Beurteilung der Belastungssituation am Tag.

Darüber hinaus kann eine Kombination dieser Temperaturwerte mit bestimmten Raumkategorien sinnvoll sein, wie:

- gefühlte Temperatur oder Lufttemperatur 4 Uhr nur für Wohn- und Mischgebiete, da diese in der Schlafperiode besonders wichtig sind,
- gefühlte Temperatur/Lufttemperatur 16 Uhr für Gewerbe- und Industriegebiete, um über die Abgrenzung von Wohn- und Mischgebieten eine separate Bewertung dieser Gebiete vorzunehmen (z. B. zur Einstufung der Belastung von Personen, die im Freien arbeiten).

Im Modellgebiet erfolgt die Beurteilung der Wärmebelastung auf Basis der gefühlten Temperatur um 4 Uhr nachts (siehe [Baustein 1.2](#) „Wärme im Stadtgebiet – Merkmal Temperatur“). Das Ergebnis des ersten Auswertungsschrittes zeigt Abbildung 38.

Klassifizierung der gefühlten Temperatur entsprechend der thermophysiologischen Belastung (nach VDI 3787 Blatt 2):

- unter 20 °C behaglich: Komfort möglich
- 20 °C – 26 °C leicht warm: schwache Wärmebelastung
- 26 °C – 32 °C warm: mäßige Wärmebelastung
- 32 °C – 38 °C heiß: starke Wärmebelastung
- über 38 °C sehr heiß: extreme Wärmebelastung

BAUSTEIN 2.2:
BEURTEILUNG VON BELASTUNGSGEBIETEN

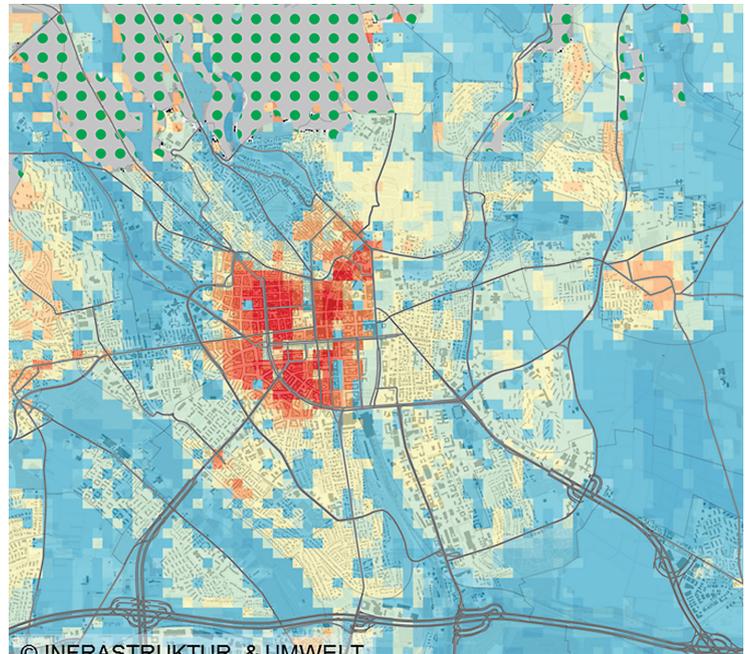
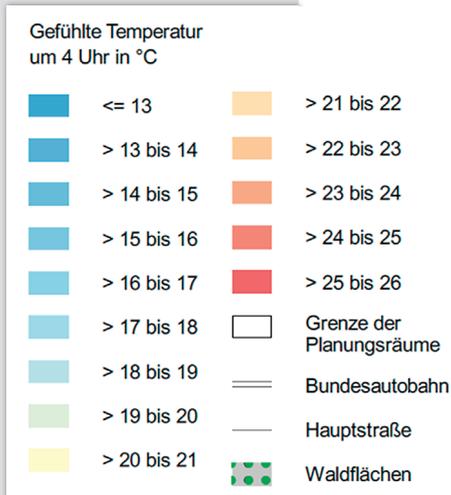


Abbildung 38: Beispieldarstellung – Verteilung der gefühlten Temperatur um 4 Uhr in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)

z-Transformation

Statistisches Vorgehen zur Standardisierung eines Parameters. Die z-Transformation erfolgt dabei anhand der folgenden Berechnungsvorschrift (vgl. VDI 3785 Blatt 1):

$$z = (x - \mu) / \sigma$$

Mit:

x: Ausgangsparameter

μ : arithmetisches Mittel

σ : Standardabweichung

z: standardisierter Parameter als Ergebnis.

Nach Anwendung der Berechnungsvorschrift entspricht das arithmetische Mittel dem Wert 0 die Standardabweichung dem Wert 1.

Alternativ kann die thermophysiologische Belastung auf Basis des Versiegelungsgrads oder auf Basis von Klimatopen nach VDI 3787 Blatt 1 vorgenommen werden. Eine Einführung zu diesen Datengrundlagen und Informationen zur Aufbereitung der Daten enthält [Baustein 1.6](#).

Mögliche Klassifizierung und Einstufung

Die Bewertung der Siedlungsflächen als Belastungsgebiete anhand der Wärmebelastung kann z.B. anhand der Standardisierung des Indikators mit der z-Transformation erfolgen (vgl. VDI 3785 Blatt 1). In der Beispielanwendung im Projekt KLIMPRAX Stadtklima wurden dazu nur die Raster eines Stadtgebiets weiter bewertet, die auf Siedlungsflächen liegen:

- Belastungsgebiet B1: $z \geq 1$
- Belastungsgebiet B2: $0 \leq z < 1$
- Belastungsgebiet C: $-1 \leq z < 0$
- Belastungsgebiet D: $z < -1$

BAUSTEIN 2.2: BEURTEILUNG VON BELASTUNGSGEBIETEN



Klassifizierung und Einstufung auf Basis der Klimatope nach VDI 3787 Blatt 1

- Belastungsgebiete B1, B2: Innenstadtklima, Stadtklima
- Belastungsgebiet C: z. B. Stadtrand (je nach Lage)
- Belastungsgebiet D: z. B. Vorstadt (je nach Lage)

Klassifizierung und Einstufung auf Basis des Versiegelungsgrads

- Belastungsgebiet B1: Versiegelungsgrad > 90 %
- Belastungsgebiet B2: Versiegelungsgrad > 70 %
- Belastungsgebiet C: Versiegelungsgrad > 40 bis 70 %
- Belastungsgebiet D: Versiegelungsgrad unter 40 %

KARTOGRAFISCHE DARSTELLUNG

Zur Kennzeichnung belasteter Gebiete werden in Anlehnung an VDI 3787 Blatt 1 folgende unterschiedliche Farbtöne verwendet:

B1 – bioklimatisch hoch belastet (violett)		RGB 138/43/226
B2 – bioklimatisch belastet (rot)		RGB 255/127/127
C – bioklimatisch gering belastet (orange)		RGB 246/197/103
D – unbelastet (gelb)		RGB 255/255/225

Eine Beispieldarstellung für alle Belastungsgebiete zeigt Abbildung 39.

Karteninhalte: Bewertung der bioklimatischen Belastungsgebiete B1, B2, C und D auf allen Siedlungsflächen, Kennzeichnung der Gewerbegebiete, Hinweise zur räumlichen Orientierung, wie Abgrenzung von statistischen Bezirken und Hinterlegung topografischer Merkmale (z. B. bebaute Gebiete).

Hinweis zur

Geodaten-Verarbeitung:

Siedlungsflächen werden aus dem Flächennutzungsplan als Vektordaten übernommen. Für die Ergebnisse der Modellierung liegt hingegen ein Wert je 100 m x 100 m Raster vor. In der Beispieldarstellung werden die Modellierungsergebnisse für alle Siedlungsflächen dargestellt. Es werden also auch solche Rasterzellen dargestellt, die nur zum Teil Siedlungsflächen enthalten. Wenn man nur die Raster berücksichtigt, die vollständig innerhalb einer Vektorfläche liegen, sind die Ergebnisflächen kleiner als die Siedlungsflächen.

BAUSTEIN 2.2: BEURTEILUNG VON BELASTUNGSGEBIETEN



Beurteilung der bioklimatischen Belastungsgebiete
(Bewertung auf den Siedlungsflächen)

- B1 - bioklimatisch hoch belastet
- B2 - bioklimatisch belastet
- C - gering belastet
- D - unbelastet
- Grenze der Planungsräume
- Gewerbegebiete, Sondergebiete,
sowie Flächen für Ver- und Entsorgung
- Bundesautobahn
- Hauptstraße

Rasterzellen der bioklimatisch hoch belasteten Gebiete am nördlichen Stadtrand liegen zum Teil auf Siedlungsflächen und zum Teil auf Waldflächen. Die Einstufung dieser Rasterzellen als bioklimatisch hoch belastet ist vermutlich auf die Überschätzung des Waldes durch das Modell zurückzuführen.

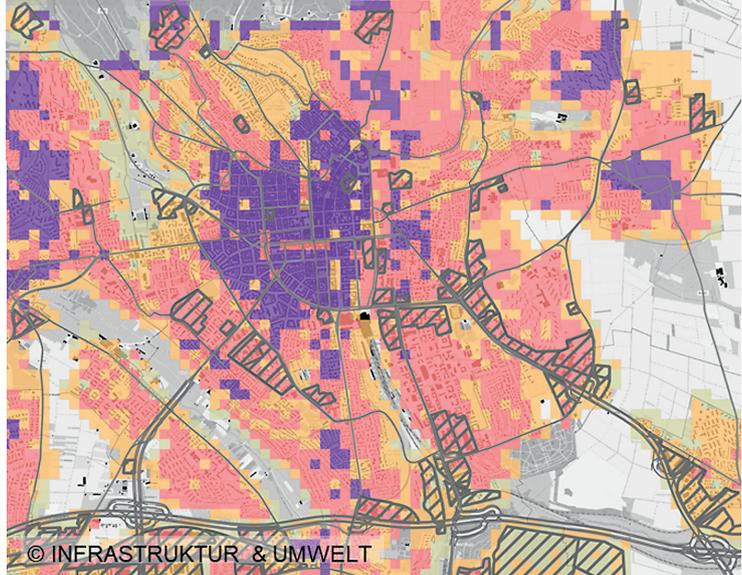


Abbildung 39: Beispieldarstellung – Beurteilung von Belastungsgebieten in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)

BAUSTEIN 2.3: BEURTEILUNG VON AUSGLEICHSRÄUMEN



EINLEITUNG UND ZIELE

Die Einstufung von Flächen als Ausgleichsräume hilft Stadtplanern, Räume gemäß ihrer lokalklimatischen Funktion zu schützen.

In diesem Baustein wird beschrieben, wie Sie die ausgleichende Funktion von unbebauten Flächen einstufen können. Auf Basis der Einstufung der Kaltluftproduktion und einer Beurteilung von Kaltluftleitbahnen können Sie ermitteln, welche Grün- und Freiflächen für die Durchlüftung und Abkühlung von Belastungsgebieten von hoher Bedeutung sind.

ERLÄUTERUNG UND EIGNUNG

Das Ausmaß der Kaltluftproduktion kann nicht als alleiniger Indikator für die Bewertung der Bedeutung von Ausgleichsräumen für das Stadtklima angesehen werden. Grün- und Freiflächen können selbst im Fall von geringer Kaltluftproduktion in unmittelbarer Nähe zu stark verdichteten bebauten Gebieten zu einer Verbesserung, besonders der Nachtsituation, beitragen. Hieraus kann sich auch eine höhere Bedeutung von kleineren Ausgleichsflächen ableiten, die innerhalb von Belastungsgebieten liegen, z. B. Grünflächen einer Größe auch unter 1 ha (die als Anhaltswert für die Mindestgröße zur Ausbildung einer Kaltluftströmung angesetzt werden kann) (Scherer 2007).

Für die Ermittlung und Beurteilung von Luftleitbahnen gibt es keine allgemeingültige Vorgehensweise (siehe ➔ **Modul 1**). Sie erfolgt i. d. R. manuell auf Grundlage einer gutachterlichen Einschätzung z. B. auf Basis des nächtlichen Strömungsfeldes (bei warmer, windschwacher Wetterlage). Ergänzend können Ergebnisse aus der Berechnung von Kaltlufttrajektorien herangezogen werden (siehe ➔ **Baustein 1.5**).

Eine weitere Aufteilung in Ausgleichsräume mit hoher und sehr hoher Bedeutung kann je nach Randbedingungen sinnvoll sein. Bereits der Stufe „Ausgleichsraum mit mittlerer Bedeutung“ wird laut VDI eine „geringe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung“ zugewiesen.

VORGEHEN

Relevante Daten

Die Einstufung erfordert Expertenwissen. Folgende Erkenntnisse sind mindestens erforderlich:

- Kenntnis der Kaltluftentstehungsgebiete und des Potenzials dieser Flächen zur Kaltluftproduktion **und**
- Kenntnis der relevanten Luftleitbahnen und Luftaustauschprozesse **und**
- Analyse der Lage

Ausgleichsräume

dienen dem lokalklimatischen Ausgleich (z.B. Kaltluftentstehung und Versorgung von Belastungsräumen mit Kaltluft).

Kaltluftentstehungsgebiet/-leitbahn

Kaltluftentstehungsgebiete sind vor allem landwirtschaftlich genutzte Freiflächen (Wiesen, Felder, Äcker mit geringem Gehölzbestand), auf denen sich auf Grund einer negativen Strahlungsbilanz, insbesondere bei guten nächtlichen Ausstrahlungen, die Oberfläche und somit auch die darüber liegenden Luftmassen verhältnismäßig rasch abkühlen (HLNUG 2017a). Kaltluftleitbahnen transportieren kühle, aber hinsichtlich der lufthygienischen Situation nicht näher spezifizierte Luftmassen (MKULNV 2011).

BAUSTEIN 2.3: BEURTEILUNG VON AUSGLEICHSRÄUMEN



Waldflächen

werden oft unabhängig von der Einstufung als Kaltluftproduzent und der Luftaustauschbeziehung als „Frischluffproduzent“ mit mittlerer Bedeutung eingestuft.

Mögliche Klassifizierung und Einstufung

Ausgleichsräume mit hoher Bedeutung A1

- alle kaltluftproduzierenden Flächen (Grün- und Freiflächen), die unmittelbar an die Belastungsgebiete B1 oder B2 angrenzen **und**
- Kaltluftentstehungsgebiete mit überdurchschnittlicher Produktion (entsprechend ↻ **Baustein 1.5**), die über Luftleitbahnen (s. u.) Belastungsgebiete B1 oder B2 versorgen **und**
- alle Luftleitbahnen zwischen Kaltluft produzierenden Bereichen **und** Belastungsgebieten B1 oder B2.

Ausgleichsräume mit mittlerer Bedeutung A2

- alle Kaltluftentstehungsgebiete mit überdurchschnittlicher Produktion (entsprechend **Baustein 1.5**) ohne direkten Zusammenhang mit Belastungsgebieten B1 oder B2 **und**
- Kaltluftentstehungsgebiete mit unterdurchschnittlicher Produktion (entsprechend **Baustein 1.5**) die über Luftleitbahnen (s. u.) Belastungsgebiete B1 oder B2 versorgen **und**
- alle Waldflächen (soweit nicht bereits als A1 eingestuft).

Ausgleichsräume mit geringer Bedeutung A3

- Alle Kaltluftentstehungsgebiete mit unterdurchschnittlicher Produktion (entsprechend ↻ **Baustein 1.5**) soweit sie nicht aufgrund ihrer funktionalen Bedeutung als Ausgleichsraum A2 eingestuft werden.

Mögliche Klassifizierung und Einstufung nach VDI 3787 Blatt 1

VDI 3787 Blatt 1 enthält qualitative Empfehlungen zur Einstufung von Flächen als Ausgleichsraum. Es erfolgt keine unmittelbare Zuordnung von Klimatopen zu den drei Stufen der Ausgleichsräume, sondern es fließen weitere Flächencharakteristika und Wirkungsbeziehungen zwischen den Räumen in die Beurteilung mit ein. Ausgleichsräume hoher Bedeutung sind demnach z. B. innerstädtische bzw. siedlungsnahen Grünflächen und nicht bebaute Täler mit Kaltluftabfluss (vgl. VDI 3787 Blatt 1: S. 43).

BAUSTEIN 2.3: BEURTEILUNG VON AUSGLEICHRÄUMEN



KARTOGRAFISCHE DARSTELLUNG

VDI 3787 Blatt 1 empfiehlt für „Ausgleichsräume mit hoher Bedeutung“ dunkelgrün. Bei Verwendung der Zusatzkategorie „sehr hohe Bedeutung“ sollte für diese ein noch dunklerer Grünton gewählt werden.

VDI 3787 Blatt 1 empfiehlt für „Ausgleichsräume mit mittlerer Bedeutung“ grün und für „Ausgleichsräume mit geringer Bedeutung“ hellgrün.

A1 – Ausgleichsraum mit hoher Bedeutung (dunkelgrün) RGB 115/178/115

A2 – Ausgleichsraum mit mittlerer Bedeutung (grün) RGB 174/241/176

A3 – Ausgleichsraum mit geringer Bedeutung (hellgrün) RGB 211/255/190



Abbildung 40: Beispielschema – Lage von Ausgleichsräumen mit hoher Bedeutung (eigene Darstellung)

Beispieldarstellung

In Abbildung 40 sehen Sie die schematische Darstellung der Ausgleichsflächen und ihrer Bedeutung in einem Stadtgebiet unter Berücksichtigung der Lage von Belastungsgebieten und Luftleitbahnen.

Ausgleichsräume, die unmittelbar an bioklimatisch hoch oder mittel belastete Räume angrenzen oder die über Kaltluftleitbahnen mit belasteten Räumen verbunden sind, haben für das Stadtklima eine höhere Bedeutung als Ausgleichsräume, deren gebildete Kaltluft keines der belasteten Gebiete erreicht.

BAUSTEIN 2.4: BEURTEILUNG VON ZUKÜNFTIGEN BELASTUNGEN



EINLEITUNG UND ZIELE

Um planerisches Handeln schon heute an den künftigen Veränderungen des Klimas und den daraus resultierenden Folgen auszurichten, ist die Beurteilung zukünftiger Belastungen eine wichtige Voraussetzung. Die in Zukunft erwarteten höheren Temperaturen können die Belastungen in heute bereits betroffenen Siedlungsräumen weiter erhöhen und zu einer Belastung in heute noch gering betroffenen Siedlungsräumen führen.

In diesem Baustein wird beschrieben, wie Sie durch Analyse der projizierten Anzahl von Kenntagen für die Zukunft zu einer Beurteilung der zukünftig möglichen Wärmebelastung im Stadtgebiet gelangen können.

ERLÄUTERUNG UND EIGNUNG

Projektionen der klimatologischen Kenntage können zur Beurteilung von zukünftigen Belastungen herangezogen werden, andere Projektionsergebnisse stehen oftmals nicht zur Verfügung. Klimatologische Kenntage sind gut geeignet zur Gegenüberstellung der Situation heute und der Einschätzung der zukünftigen Situation bei unveränderter Bebauung.

Die Projektionsergebnisse für das Stadtklima der Zukunft beruhen auf den Bebauungsstrukturen des Ist-Zustandes, da keine Informationen zur zukünftigen Bebauungsstruktur vorliegen. Veränderungen wie weitere Versiegelung (z. B. durch Nachverdichtung), Bewaldung von Ackerflächen (z. B. als Ausgleichsmaßnahmen) oder auch Entsiegelungsmaßnahmen (z. B. bei Konversion von Industrieflächen) können sowohl verstärkende als auch abmildernde Einflüsse auf Ausmaß und Verteilung der wärmebelasteten Siedlungsräume haben. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich die verstärkenden und abmildernden Einflüsse entweder ausgleichen oder, wahrscheinlicher sogar, die verstärkenden Einflüsse, insbesondere in Städten mit hohem Siedlungsdruck (z. B. durch Nachverdichtung), überwiegen. Somit wird die zukünftige Belastung sogar eher unterschätzt.

Zur Darstellung der projizierten Belastung in der Nacht wird die Anzahl der Tropennächte (Minimum der Lufttemperatur $\geq 20^\circ\text{C}$) vorgeschlagen, da damit die Nachtsituation abgebildet werden kann. Die Verwendung der Heißen Tage (Maximum der Lufttemperatur $\geq 30^\circ\text{C}$) entspricht am ehesten der Tagsituation, wobei die Modellierungsergebnisse für die Tropennächte ungenauer sind als für die Heißen Tage.

Eine relative Einstufung der mittleren Anzahl der Kenntage entsprechend der lokalen Klimaverhältnisse ist notwendig. So gab es im Mittel der Jahre 1981–2010 in Frankfurt (Rhein-Main Gebiet) 51 Sommertage, in Geisenheim (Rheingau) 48 Sommertage und in Frankenberg (Eder) (Nordhessen) ca. 27 Sommertage (Weder 2012).

Klimatologischer Kenntag

„ein Tag, an dem ein definierter Schwellenwert eines klimatischen Parameters erreicht beziehungsweise über- oder unterschritten wird oder ein Tag, an dem ein definiertes meteorologisches Phänomen auftrat (z. B. Gewittertag als Tag, an dem irgendwann am Tag ein Gewitter (hörbarer Donner) auftrat.“
(DWD 2016)

Tropennacht ist eine Nacht (18 bis 06 UTC), in der das Minimum der Lufttemperatur $\geq 20^\circ\text{C}$ beträgt (DWD 2016).

Heißer Tag ist ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur $\geq 30^\circ\text{C}$ beträgt (DWD 2016).

BAUSTEIN 2.4: BEURTEILUNG VON ZUKÜNFTIGEN BELASTUNGEN



Für die Einstufung der Wärmebelastung in der Zukunft wird oftmals ein anderer Eingangsparameter als für die Beurteilung der Belastungsgebiete in der Gegenwart herangezogen. Zum Beispiel wird in den Modellkommunen für die Gegenwart die gefühlte Temperatur und für die Zukunft die Anzahl der projizierten Tropennächte/Heißen Tage pro Jahr herangezogen. Dadurch ergibt sich eine räumlich unterschiedliche Bewertung der Belastung. D.h., in heute hoch belasteten Gebieten B1 (Berechnung über die gefühlte Temperatur) kann das Auftreten von Tropennächten oder Heißen Tagen für die Zukunft abweichend eingestuft werden, beispielsweise auch als „seltenes Auftreten“. Das ist aufgrund der unterschiedlichen Ausgangsdaten erklärbar, die Karten sind aber nicht direkt vergleichbar. Um diese Einschränkung zu berücksichtigen, wird empfohlen, für die Zukunft explizit von der Einstufung der durchschnittlichen Anzahl der Tropennächte pro Jahr zu sprechen und nicht von „Belastungsgebieten“.

VORGEHEN

Relevante Datensätze aus der Modellierung (MUKLIMO_3):

- Mittlere Anzahl der Tropennächte pro Jahr für die Gegenwart (1971–2000 als Referenzperiode)
- Änderung der mittleren Anzahl der Tropennächte pro Jahr für die Zukunft (Projektionsergebnisse für die Periode 2031–2060, 75. Perzentil)

Aus diesen Datensätzen lässt sich über Addition die zukünftige mittlere Anzahl der Tropennächte pro Jahr für die nahe Zukunft (2031–2060) ermitteln. Diese liefert Ansatzpunkte für die zukünftige Wärmebelastung nachts (siehe Abbildung 41).

BAUSTEIN 2.4:
BEURTEILUNG VON ZUKÜNFTIGEN BELASTUNGEN



Durchschnittliche Anzahl der Tropennächte pro Jahr

- > 12.0 bis 15.0
- > 15.0 bis 18.0
- > 18.0 bis 21.0
- > 21.0 bis 24.0
- > 24.0 bis 27.0
- > 27.0 bis 30.0
- > 30.0 bis 33.0

14.4 Durchschnittliche Anzahl der Tropennächte für den Planungsraum

Grenze der Planungsräume

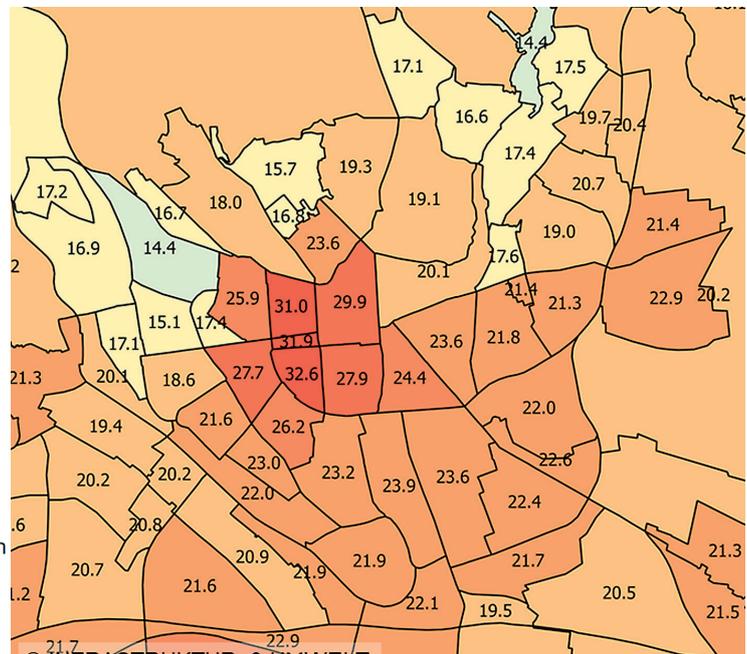


Abbildung 41: Beispieldarstellung – Verteilung der mittleren jährlichen Anzahl der Tropennächte (2031–2060; 75. Perzentil), Flächenmittel für Planungsbezirke in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)

z-Transformation

Statistisches Vorgehen zur Standardisierung eines Parameters. Die z-Transformation erfolgt dabei anhand der folgenden Berechnungsvorschrift (vgl. VDI 3785 Blatt 1):

$$z = (x - \mu) / \sigma$$

x: Ausgangsparameter

μ : arithmetisches Mittel

σ : Standardabweichung

z: standardisierter Parameter als Ergebnis.

Nach Anwendung der Berechnungsvorschrift entspricht das arithmetische Mittel dem Wert 0 die Standardabweichung dem Wert 1.

Ergänzend kann auch die Situation tagsüber für die Zukunft ausgewertet werden, dazu wird analog zur oben beschriebenen Vorgehensweise die mittlere Anzahl der Heißen Tage pro Jahr für die nahe Zukunft (2031–2060) ermittelt.

Um die Bandbreite der künftigen Entwicklungen aufzuzeigen, können weitere Perzentile zur Darstellung ausgewählt werden, z. B. jeweils das 25., 50. und 75. Perzentil.

Mögliche Klassifizierung und Einstufung

Die Einstufung der Häufigkeit der durchschnittlichen Anzahl der Kenntage pro Jahr innerhalb des betrachteten Siedlungsbereichs kann z. B. anhand der Standardisierung des Indikators mit der z-Transformation erfolgen:

- Sehr häufiges Auftreten: $z \geq 1$
- Häufiges Auftreten: $0 \leq z < 1$
- Seltenes Auftreten: $-1 \leq z < 0$
- Sehr seltenes Auftreten: $z < -1$

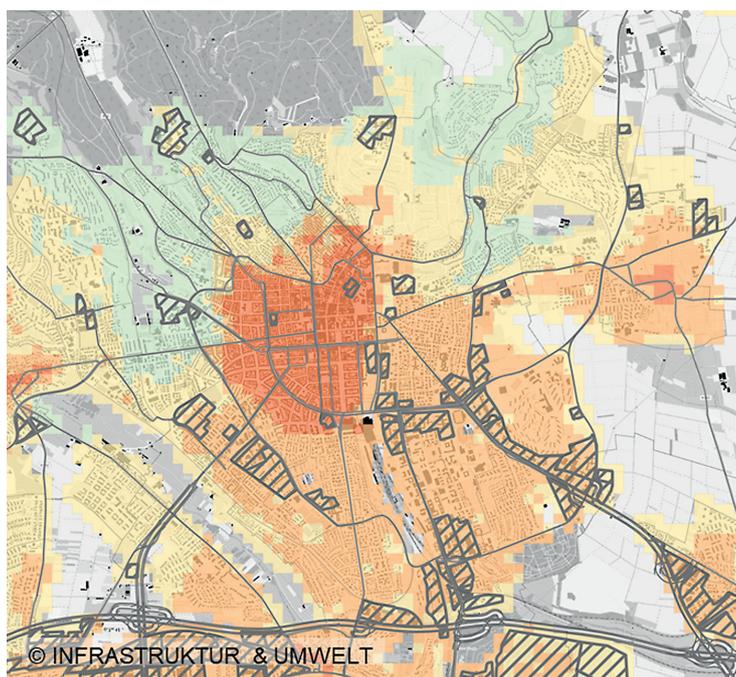
In der Beispielanwendung dieses Bausteins in den Modellkommunen erfolgt die Bewertung für den Indikator auf allen Rastern, die auf Siedlungsflächen liegen.

BAUSTEIN 2.4: BEURTEILUNG VON ZUKÜNFTIGEN BELASTUNGEN



KARTOGRAFISCHE DARSTELLUNG

Karteninhalte: Relative Einstufung der Anzahl der Tropennächte, Kennzeichnung der Gewerbegebiete, Hinweise zur räumlichen Orientierung, wie Abgrenzung von Planungseinheiten und Hinterlegung topografischer Merkmale (z. B. bebaute Gebiete).



Relative Einstufung der durchschnittlichen Anzahl der Tropennächte pro Jahr

- Sehr seltenes Auftreten von Tropennächten
- Seltenes Auftreten von Tropennächten
- Häufiges Auftreten von Tropennächten
- Sehr häufiges Auftreten von Tropennächten
- Grenze der Planungsräume
- Gewerbegebiete, Sondergebiete, sowie Flächen für Ver- und Entsorgung
- Bundesautobahn
- Hauptstraße

Abbildung 42: Beispieldarstellung – Einstufung des Auftretens von Tropennächten in der nahen Zukunft in Wiesbaden (2031–2060) (Quelle: eigene Darstellung)

Beispieldarstellung

Abbildung 42 zeigt die zukünftig mögliche Wärmebelastung im Stadtgebiet anhand der Einstufung der projizierten Anzahl von Tropennächten pro Jahr für die Periode 2031–2060.

Modul 3: Ableiten von Planungshinweisen für die kommunale Planung

Ziel und Nutzen Modul 3

In **↪ Modul 2** wurde beschrieben, wie Sie auf der Grundlage der stadtklimatischen Erkenntnisse (**↪ Modul 1**) eine Bewertung der verschiedenen Stadtgebiete in Belastungsgebiete und Ausgleichsräume durchführen können. In **↪ Modul 3** sind nun für diese unterschiedlichen Bewertungskategorien entsprechende Planungshinweise aufgeführt. Diese geben Ihnen Hinweise, welche Ziele im Hinblick auf künftige Entwicklungen für die einzelnen Gebietskategorien aus stadtklimatischer und gesundheitlicher Sicht wichtig sind. Weiterhin finden Sie hier bzw. im umfassenden Katalog der Planungshinweise (siehe Anhang 2) Anregungen für mögliche Maßnahmen zum Erhalt wichtiger klimatische Ausgleichsfunktionen sowie zur Reduzierung vorhandener bzw. möglicher künftiger Belastungen.

Die Planungshinweise beruhen auf den in VDI 3787 Blatt 1 gegebenen allgemeinen Hinweisen, auf der Auswertung von Fallbeispielen und auf den Anforderungen der kommunalen Planungspraxis.

Eine umfassende, interaktive Tabelle mit Planungshinweisen zum Thema Hitze in der Stadt und Gesundheit sowie dazugehörige Beispielmaßnahmen findet sich unter folgendem Link: <https://www.hlnug.de/?id=10236>. Im Anhang 2 ist die statische Version der Planungshinweistabelle verfügbar.

Die Zielsetzungen der Planungshinweise unterteilen sich allgemein in:

- Verbesserungen der klimatischen Situation in Belastungsgebieten B1 und B2,
- eingeschränkte Nutzungsveränderung in Gebieten mit geringeren Belastungen C und D,
- Schutz und Erhaltung von bedeutsamen klimatischen Ausgleichsfunktionen.

Ergänzende Hinweise können sich aus verstärkenden Faktoren, z. B. der Sensitivitätsanalyse für die menschliche Gesundheit (siehe **↪ Modul 4**), ergeben sowie aus Schlussfolgerungen aus mikroklimatischen Analysen von Einzelgutachten, soweit vorhanden.

Aufbau Modul 3

Das Modul umfasst insgesamt vier Bausteine:

- **↪ Baustein 3.1:** Einführung in **↪ Modul 3**
- **↪ Baustein 3.2:** Planungshinweise für Belastungsgebiete B1 und B2
- **↪ Baustein 3.3:** Planungshinweise für Belastungsgebiete C und D
- **↪ Baustein 3.4:** Planungshinweise für Ausgleichsräume A1 bis A3

BAUSTEIN 3.1: EINFÜHRUNG IN MODUL 3



INHALTE IN MODUL 3 ABLEITEN VON PLANUNGSHINWEISEN FÜR DIE KOMMUNALE PLANUNG

Die Bausteine im **Modul 3** sollen Ihnen helfen, für Ihre lokale Situation auf Basis einer Analyse Ihres Stadtklimas entsprechende Hinweise zu formulieren, die das Ziel haben, bestehende Belastungspotentiale zu senken bzw. abzubauen und bestehende Ausgleichspotentiale zu sichern und zu schützen.

Eine umfassende Zusammenstellung von Planungshinweisen ist in einem eigenständigen Katalog verfügbar, der über verschiedene Filtermöglichkeiten verfügt und darüber die Auswahl geeigneter Planungshinweise erleichtert. Die nachfolgenden Bausteine zeigen Ihnen die grundsätzliche Vorgehensweise zur Ableitung der Planungshinweise auf.

In den Erläuterungen insbesondere im externen Katalog finden Sie Hinweise, mit welchen Instrumenten entsprechende Planungen und Maßnahmen umgesetzt werden können. So gibt es für einige Planungshinweise die Möglichkeit, diese über die Bauleitplanung umzusetzen. Für andere Planungshinweise bietet es sich an, diese gezielt über die Landschaftsplanung anzugehen. Häufig finden Sie mehrere Möglichkeiten und Wege, Planungshinweise und daraus abgeleitete Maßnahmen zu verankern und umzusetzen. So können Sie viele Beispielmaßnahmen mit Öffentlichkeitsarbeit, Förderung und Beratung flankieren.

Eine besondere Stellung haben die Planungshinweise und Beispielmaßnahmen zum Wirkungsfeld „Menschliche Gesundheit“. Durch die Aufnahme dieses Handlungsfeldes wird der Adressatenkreis der Planungshinweise deutlich erweitert. Neben den planerischen Disziplinen wie Raum-/Stadtplanung und Grünordnung-/Freiflächenplanung sind hiermit auch andere Akteursgruppen innerhalb der kommunalen Verwaltung angesprochen, z. B. Sozialämter und das Krisenmanagement.

Die Ableitung von Planungshinweisen erfolgt nach den Raumkategorien:

- Belastungsgebiete (B1 und B2),
- Gebiete mit unterdurchschnittlicher bzw. geringer Wärmebelastung (C und D) und
- Ausgleichsräume (A1 bis A3).

Dabei gibt es zahlreiche Planungshinweise, die sich auf mehrere Raumkategorien beziehen.

BAUSTEIN 3.2: PLANUNGSHINWEISE BELASTUNGSGEBIETE B1 UND B2



Bioklimatische Belastung

„Zu den bioklimatischen Belastungsfaktoren zählen insbesondere Wärmebelastung, Strahlungsarmut und schadstoffhaltige Luft.“ (Noppel 2017) Das Bioklima generell „beschreibt die Gesamtheit aller atmosphärischen Einflussgrößen auf den menschlichen Organismus. Entsprechend ihrer Ausprägung und Wirkung werden sie als belastend, schonend oder als Reiz empfunden.“ (Noppel 2017)

Weitere Hinweise

z. B. zur Relevanz einzelner Planungshinweise und zu Instrumenten der Umsetzung sind in der Planungshinweistabelle im Anhang 2 aufgeführt.

EINLEITUNG UND ZIELE

Belastungsgebiete der Kategorie B1 und B2 sind durch mittlere bis hohe bioklimatische Belastungen für den Menschen geprägt. Die Wärmebelastung ist im Vergleich zum gesamten Stadtgebiet hier am höchsten, eine nächtliche Abkühlung i. d. R. gering.

Die übergeordneten Zielsetzungen in Belastungsgebieten sind:

- Vermeidung jeglicher Verschlechterung,
- Verbesserung der Situation und
- Forderung nach Detailgutachten bei Nutzungsänderungen.

RELEVANTE WIRKUNGSFELDER

Die Planungshinweise beziehen sich insbesondere auf die Wirkungsfelder:

- Grün- und Freiflächennutzung,
- Raum- und Siedlungsstruktur und
- menschliche Gesundheit.

Die Reduktion und Vermeidung von Versiegelungen sowie die Sicherung vorhandener Belüftungswege hat eine hohe Bedeutung für diese Gebiete. Eine Sicherstellung der angemessenen Begrünung der Baugrundstücke, aber auch die Auswahl trockenheits- und hitzeresistenter Pflanzenarten ist bei der Entwicklung dieser Gebiete zu beachten. Die Menschen, die in diesen Gebieten leben, sollten über Maßnahmen bei Hitzewellen und hoher Wärmebelastung informiert sein. Kleinräumig kann über technische Maßnahmen (Trinkwasserspender, technische Beschattung etc.) für Entlastung in Hitzeperioden gesorgt werden. Die klimatische Ausgleichswirkung von kleinen Grünflächen ist begrenzt und limitiert auf die bioklimatische Entlastung der direkten Anwohner. Das Ziel ist es daher oftmals, dass die Bevölkerung innerhalb eines Radius von 300 bis maximal 500 m Zugang zu einer (kleinen) Grünfläche haben sollte. Eine ähnliche Einschätzung kann für Innenhöfe und andere kleine Entlastungsräume getroffen werden.

BAUSTEIN 3.2: PLANUNGSHINWEISE BELASTUNGSGEBIETE B1 UND B2



BEISPIELE

Im Gebiet keine Verschlechterung der Belastungssituation, daher:

- Planung und Festsetzung von Dach- und Fassadenbegrünung,
- Versiegelung reduzieren und Neuversiegelung begrenzen,
- Beschattung von öffentlichen Plätzen und Freiflächen,
- Baumstandorte auf zunehmende Hitze vorbereiten,
- Auswahl geeigneter Pflanzenarten für Neupflanzungen,
- Durchlüftungswege sichern,
- Berücksichtigung von thermischen Anforderungen bei Neubau- oder Modernisierungsmaßnahmen von sozialen Einrichtungen,
- Sicherung einer angemessenen Durchgrünung und Gestaltung der Baugrundstücke und
- Freihaltung von Transportbahnen für Frischluft- und Kaltluftzufuhr.

Verbesserung der Belastungssituation im Gebiet, beispielsweise durch:

- Entlastung der Bevölkerung in hitzebelasteten Stadtquartieren durch technische Maßnahmen,
- Informationen über Hitzebelastungen am Arbeitsplatz (insbesondere Freiluftberufe),
- Berücksichtigung von Hitzewellen als Szenario in der Alarm- und Einsatzplanung der Rettungsdienste,
- Durchlüftungswege schaffen,
- Förderung einer angemessenen Durchgrünung und Gestaltung der Baugrundstücke,
- Aufnahme klimarelevanter Anforderungen in öffentlichen Ausschreibungen und städtebaulichen Wettbewerben sowie
- Berücksichtigung von thermischen Anforderungen bei Neubau- oder Modernisierungsmaßnahmen von sozialen Einrichtungen.

Bei Nutzungsänderungen:

- Einforderung oder Erstellung von Detailgutachten unter Berücksichtigung der Wirkung für das Gebiet und die Gesamtstadt mit den Zielen „keine Verschlechterung“ und „Verbesserung“ (s. o.).

Weitere Hinweise

Detailgutachten können auch bei Verbesserungsmaßnahmen sinnvoll sein, um die Wirkung einer Maßnahme zu beurteilen und die größtmögliche Verbesserung zu erzielen.

BAUSTEIN 3.3: PLANUNGSHINWEISE BELASTUNGSGEBIETE C UND D



EINLEITUNG UND ZIELE

Belastungsgebiete der Kategorie C und D sind durch geringe bioklimatische Belastungen für den Menschen geprägt. Die Wärmebelastung ist im Vergleich zum gesamten Stadtgebiet relativ gering, eine nächtliche Abkühlung findet statt.

Die übergeordneten Zielsetzungen sind:

- Sicherung der guten Voraussetzungen in diesen Gebieten und
- Erhalt der klimatischen Wirkungen für Nachbargebiete.

RELEVANTE WIRKUNGSFELDER

Die Planungshinweise beziehen sich insbesondere auf die Wirkungsfelder:

- Raum- und Siedlungsstruktur und
- Grün- und Freiflächennutzung.

Wichtig ist in Gebieten der Kategorie C (geringe Belastung), dass die vorhandenen Qualitäten der Siedlungsstruktur (geringere Dichte und Versiegelung) sowie der Grün- und Freiflächenstruktur (gute Durchgrünung) erkannt und gesichert werden. Auch bei einer künftigen baulichen Entwicklung sind Maßnahmen zu ergreifen, damit bestehende Klimafunktionen erhalten bleiben und z. B. Durchlüftungswege freigehalten werden.

In Gebieten der Kategorie D (keine Belastung, positive Wirkung auf Nachbargebiete) hat ebenfalls der Erhalt der vorhandenen Qualitäten eine hohe Bedeutung. Zusätzlich müssen die Voraussetzungen erkannt und gesichert werden, die positive Wirkungen auf benachbarte Gebiete unterstützen, z. B. die Sicherung von Durchlüftungswegen sowie der Erhalt kleinteiliger Flächen für die Produktion von Kaltluft.

BEISPIELE

Sicherung der guten Voraussetzungen in diesen Gebieten (Kat. C):

- Versiegelung reduzieren und Neuversiegelung begrenzen,
- Durchlüftungswege sichern,
- Sicherung einer angemessenen Durchgrünung der Baugrundstücke,
- Freihaltung von Transportbahnen für Frischluft- und Kaltluftzufuhr,
- Aufnahme klimarelevanter Anforderungen in öffentlichen Ausschreibungen und städtebaulichen Wettbewerben.
- Erhalt der klimatischen Wirkungen für Nachbargebiete (Kat. D):
- Freihaltung von Transportbahnen für Frischluft- und Kaltluftzufuhr,
- Förderung einer angemessenen Durchgrünung der Baugrundstücke,
- Beachtung der Klimafunktion für angrenzende Siedlungsräume.

Weitere Hinweise

z. B. zur Relevanz einzelner Planungshinweise und zu Instrumenten der Umsetzung sind in der Planungshinweistabelle im Anhang 2 aufgeführt.

BAUSTEIN 3.4: PLANUNGSHINWEISE AUSGLEICHRÄUME A1 BIS A3



EINLEITUNG UND ZIELE

Ausgleichsräume der Kategorie A1 bis A3 sind durch ihre positiven und ausgleichenden Wirkungen auf die Belastungsgebiete definiert. Dies sind Gebiete mit relevanter Produktion von Kaltluft, die mehr oder weniger in funktionaler Verbindung zu den Belastungsgebieten stehen.

Die übergeordneten Zielsetzungen sind:

- Sicherung der klimatischen Ausgleichsfunktionen (insb. Kaltluftproduktion),
- Sicherung der Austauschwege (Luftleitbahnen),
- Optimierung der klimatischen Ausgleichsfunktionen.

RELEVANTE WIRKUNGSFELDER

Die Planungshinweise beziehen sich insbesondere auf das Wirkungsfeld:

- Raum- und Siedlungsstruktur.

Wichtig ist in Gebieten der Kategorie A in erster Linie der Schutz vor Nutzungsänderungen, insbesondere durch Bebauung. Die bestehenden Kaltluftabflussbahnen müssen sowohl in ihrer Ausdehnung in die Siedlungsgebiete hinein wie auch in ihrer Breite erhalten werden. Bei Bedarf ist eine Verbesserung des Luftaustausches durch Beseitigung von Hindernissen (Baukörper, Querriegel in der Bepflanzung) vorzusehen.

BEISPIELE

Sicherung und Optimierung der klimatischen Ausgleichsfunktionen auf Ausgleichsflächen, die an B1 und B2 angrenzen:

- Durchlüftungswege sichern, insbesondere in Richtung bebauter Gebiete,
- Versiegelung reduzieren und Neuversiegelung begrenzen

Auf Ausgleichsflächen mit überdurchschnittlicher Kaltluftproduktion:

- Vermeidung von Nutzungsänderungen

Auf Luftleitbahnen:

- Vermeidung einer Bebauung,
- Sicherung der Luftleitbahn im gesamten Strömungsquerschnitt (möglichst > 300 m),
- Beseitigung baulicher und sonstiger Strömungshindernisse,
- Minimierung der Versiegelung.

Weitere Hinweise

z.B. zur Relevanz einzelner Planungshinweise und zu Instrumenten der Umsetzung sind in der Planungshinweistabelle im Anhang 2 aufgeführt.

Modul 4: Sensitivitätsanalyse Gesundheit

Ziel und Nutzen Modul 4

In Folge des Klimawandels sind die Menschen einer zunehmenden Hitzebelastung ausgesetzt. Auf diese Exposition durch Hitze reagieren die Menschen mit einer unterschiedlichen Sensitivität (Anfälligkeit oder Empfindlichkeit). Gesunde junge Erwachsene, die sich bei Hitzeeinwirkung angemessen verhalten, werden seltener gesundheitliche Folgen bemerken als Menschen, die sich aufgrund z. B. ihres Alters, ihrer bestehenden Erkrankungen oder kognitiver bzw. körperlicher Einschränkungen weniger gut vor Hitze schützen können oder stärker mit gefährlichen Veränderungen des Stoffwechsels reagieren.

Für einen effektiven Gesundheitsschutz ist zu ermitteln, in welchen Stadtgebieten vermehrt solche gefährdeten Bevölkerungsgruppen wohnen. Kommunen ist nicht bekannt, wo beispielsweise chronisch Kranke und deshalb besonders gefährdete Bevölkerungsgruppen leben. Indirekt können Indikatoren wie Alter oder sozialer Status jedoch Auskunft über erhöhte Sensitivität geben.

➔ **Modul 4** enthält Methoden, mit denen Sie die Sensitivität der Bevölkerung in städtischen Wohngebieten gegenüber Hitzeextremen abschätzen können. Daraus lassen sich u. a. Schlussfolgerungen für das Gesundheitswesen ableiten. Die Abschätzung der Sensitivität ist für Sie ein zusätzliches Kriterium, um in wärmebelasteten Gebieten Maßnahmen zur Hitzevorsorge und zum Schutz der dort lebenden Bevölkerung zu entwickeln (siehe Planungshinweise in ➔ **Modul 3**).

Die Sensitivität beschreibt, in welchem Maße ein System (z. B. Wirtschaftssektor, Bevölkerungsgruppe, Ökosystem) aufgrund seiner Eigenschaften auf einen klimatischen Einfluss reagiert (UBA 2017).

Aufbau Modul 4

Das ➔ **Modul 4** umfasst folgende Bausteine:

- ➔ Baustein 4.1: Einführung in ➔ **Modul 4**
- ➔ Baustein 4.2: Sensitivität der Bevölkerung – Basisindikatoren
- ➔ Baustein 4.3: Sensitivität der Bevölkerung – Konzentration in städtischen Räumen
- ➔ Baustein 4.4: Sozialindex
- ➔ Baustein 4.5: Sensitivität in der Zukunft

BAUSTEIN 4.1: EINFÜHRUNG IN MODUL 4



INHALTE IN MODUL 4 SENSITIVITÄTSANALYSE GESUNDHEIT

Soziale und demografische Merkmale dienen der Identifikation von städtischen Räumen, in denen mit einer hohen Dichte besonders gefährdeter Bevölkerungsgruppen gegenüber Hitzeextremen heute und in der Zukunft zu rechnen ist. Dazu werden zunächst einige Basisindikatoren vorgestellt, die zur Ermittlung der Sensitivität der Bevölkerung herangezogen werden können (➔ **Baustein 4.1**).

Städtische Räume mit einer hohen Konzentration sensibler Bevölkerungsgruppen werden in Abhängigkeit von den Sensitivitätsgraden der Basisindikatoren in unterschiedlicher Gewichtung definiert. Die räumliche Überlagerung verschiedener Merkmale zeigt räumliche Schwerpunkte mit Multi-Sensitivität auf (➔ **Baustein 4.3**).

Je nach verfügbaren Daten ist eine genauere Analyse sozioökonomischer Indikatoren (z. B. Erwerbsstatus, Existenzsicherung, Bildung, Wohnflächenversorgung) in Form eines Sozialindex ergänzend sinnvoll (➔ **Baustein 4.4**).

Um schließlich Aussagen für die künftige Entwicklung treffen zu können, wird eine Modellierung des Merkmals Hochaltrigkeit für die nahe Zukunft (Klimaprojektion, hier 2031–2060; als Prognosejahr für Hochaltrigkeit: beispielhaft 2031) vorgeschlagen (➔ **Baustein 4.5**).

Abbildung 43 zeigt auf, welche Routinedaten genutzt und kombiniert werden können, um die obengenannten Erkenntnisse zur Abschätzung der Sensitivität der Bevölkerung gegenüber Hitzeextremen zu gewinnen.

Gewinnung relevanter Erkenntnisse zur Abschätzung der Sensitivität der Bevölkerung

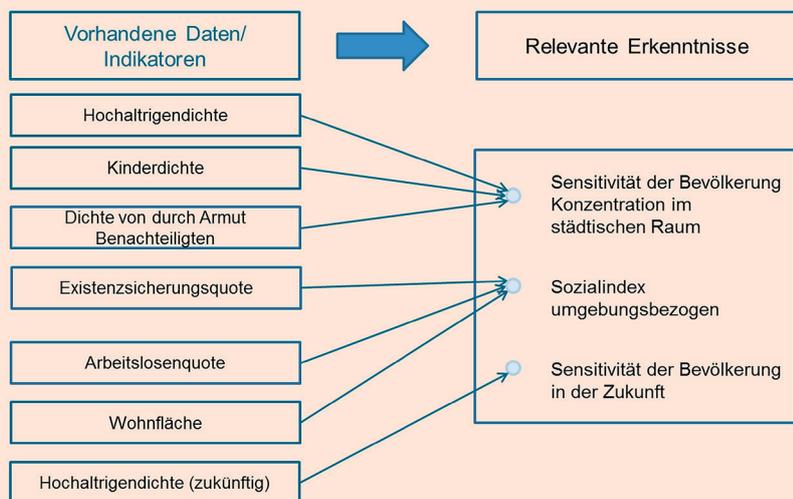


Abbildung 43: Überblick über die Gewinnung relevanter Erkenntnisse zur Abschätzung der Sensitivität der Bevölkerung (Quelle: eigene Darstellung)

Betrachtungsebenen
sind statistische Bezirke mit Verwaltungsgrenzen auf der niedrigsten Ebene, für die relevante Daten in einer auswertbaren Mindestgröße vorhanden sind.

BAUSTEIN 4.2: SENSITIVITÄT DER BEVÖLKERUNG (HEUTE) – BASISINDIKATOREN



Hochaltrigendichte

Hochaltrigkeit ist nicht einheitlich definiert. Abgeleitet aus der Literatur zur Belastung bei Hitzeextremen wurde hier ein Alter von 75 und mehr als Grenze festgesetzt. Hochaltrigendichte bezeichnet die Anzahl hochaltriger Menschen, die pro Hektar Wohn- und Mischbaufläche in einem bestimmten Gebiet leben.

Statistische Bezirke

sind regionale Einheiten innerhalb eines innerstädtischen Gliederungssystems, die Stadtbezirke in kleinere Gebiete unterteilen.

Übersterblichkeit

Aus den Sterbedaten ist nicht zu erkennen, welche der Todesfälle in einem bestimmten Zeitraum auf Hitzeextreme zurückzuführen sind und wer auch ohne Hitze gestorben wäre. Deshalb wird die Übersterblichkeit (Exzessmortalität) berechnet. Von der Anzahl der tatsächlichen Todesfälle wird dafür die Anzahl der Todesfälle abgezogen, die zu dieser Jahreszeit im entsprechenden Gebiet und der jeweiligen Zeitspanne zu erwarten gewesen wäre.

Harvesting-Effekt

Hitzebedingter, vorzeitiger Tod von Menschen, die ohnehin kurze Zeit später verstorben wären. (Quelle: Basu/Samet 2002)

Exsikkose

ist die Folge einer Dehydratation und bezeichnet die Austrocknung des Körpers bei starkem Flüssigkeitsverlust.

EINLEITUNG UND ZIELE

Zur Ermittlung der Sensitivität (heute) werden die folgenden Basisindikatoren verwendet:

- Hochaltrigendichte,
- Dichte von Kindern unter 5 Jahren,
- Dichte von durch Armut Benachteiligte,
- Lage von Einrichtungen mit besonders sensiblen Bevölkerungsgruppen.

Die Indikatoren geben die Verteilung der entsprechenden Personengruppen auf die statistischen Bezirke an. Damit erhalten Sie Informationen dazu, wie hoch der Anteil der jeweils sensitiven Bevölkerung in den statistischen Bezirken ist. Die Lage von Einrichtungen mit besonders sensiblen Bevölkerungsgruppen bietet ergänzende Informationen.

ERLÄUTERUNG UND EIGNUNG

Im Kontext von Hitzeextremen werden **Personen im Alter von 75 Jahren und älter** als hochaltrig bezeichnet. Es liegen eindeutige, auch auf Deutschland übertragbare, Hinweise aus Studien vor, dass ältere Menschen stärker von Übersterblichkeit bei Hitzeextremen betroffen sind. In der Regel wird die Altersgruppe der über 75-Jährigen als die Gruppe mit dem größten Risiko identifiziert. Die erhöhte Mortalität ist nicht allein auf den sogenannten Harvesting-Effekt zurückzuführen. Mit dem Älterwerden erhöhen sich die hitzeabhängigen Gesundheitsrisiken infolge von chronischen Erkrankungen, kognitiven und körperlichen Einschränkungen, Multimorbidität sowie Multimedikation. Physiologische Anpassungsprozesse gelingen im Alter weniger gut. Da sowohl die theoretische Plausibilität als auch der empirische Nachweis gegeben sind, hat die Ermittlung der Hochaltrigendichte zentrale Bedeutung.

Kleinkinder verfügen im Vergleich zu Erwachsenen über eine eingeschränkte Thermoregulation und eine geringere Schweißproduktion bei gleichzeitig größerer relativer Absorptionsfläche für Wärmeeinstrahlungen. Ihr Körper hat zudem einen höheren Flüssigkeitsanteil und gemessen an ihrem Körpervolumen eine größere Körperoberfläche, über die sie Flüssigkeit verdunsten. Sie sind deshalb bei Hitze stärker gefährdet, eine Exsikkose zu entwickeln. Es besteht eine theoretische Plausibilität für eine Gefährdung. Die inkonsistente Evidenzlage in Studien könnte auf die insgesamt geringe Sterblichkeit von Kleinkindern bzw. Säuglingen oder auf den Einfluss der Eltern zurückgeführt werden. Der Indikator wird empfohlen, da die Kindergesundheit in den Kommunen eine besondere Bedeutung hat. Kinder sind eine besonders schützenswerte Bevölkerungsgruppe.

BAUSTEIN 4.2: SENSITIVITÄT DER BEVÖLKERUNG (HEUTE) – BASISINDIKATOREN



Als **ökonomisch und sozial benachteiligt** werden Menschen definiert, die Leistungen zur Existenzsicherung nach SGB II (Grundsicherung für Arbeitssuchende) und SGB XII (Sozialhilfe) erhalten und somit über knappe ökonomische Ressourcen verfügen (Lampert et al. 2013). Theoretische Plausibilität ist vor allem aufgrund der Mehrfachbelastungen (Bolte et al. 2012) und des schlechteren Gesundheitszustandes sozial benachteiligter Bevölkerungsgruppen gegeben. Armut kann u. a. aufgrund schlechterer Wohnbedingungen, einer geringeren Anzahl an Aufenthaltsalternativen und Teilhabechancen oder aufgrund von Demoralisierungsprozessen eine Gefährdung bei Hitzeextremen begünstigen. Die Ergebnisse internationaler Studien zu einer erhöhten Sterblichkeit sind nicht eindeutig. Die Übertragbarkeit auf Deutschland ist kritisch zu diskutieren. Dafür sind möglicherweise heterogene Operationalisierungen von sozialen Unterschieden in den Studien mit ausschlaggebend.

Der Indikator wird empfohlen, da die Zusammenhänge plausibel sind und die sozial bedingte Ungleichheit sowohl in den Kommunen als auch in den Gesundheitswissenschaften von hoher Bedeutung ist.

Die gewählten Merkmale sind aufgrund ihrer theoretischen Plausibilität und der empirischen Ergebnisse internationaler Studien zur Ermittlung der Sensitivität geeignet. Weiterhin stehen diese Daten in einer Kommune üblicherweise kleinräumig als Routinedaten zur Verfügung. Dies ist für weitere grundsätzlich gefährdete Bevölkerungsgruppen wie Pflegebedürftige, chronisch Kranke oder belastete Berufsgruppen (sogenannte Outdoor-Worker) nicht der Fall, daher sind diese nicht einbezogen.

Für die Gefährdung aller Bevölkerungsgruppen entscheidend ist die absolute Zahl der jeweiligen Gruppe im Wohngebiet pro Wohn- und Mischbaufläche (Hektar). Die Dichte der Bevölkerung besagt, wie viele Menschen in einem Wohngebiet grundsätzlich gefährdet sein könnten. Die Dichte sensibler Bevölkerungsgruppen ist abhängig von der Dichte der Bevölkerung einerseits und vom Anteil der jeweiligen sensiblen Bevölkerungsgruppen an der Gesamtbevölkerung andererseits. Nur der Anteil der jeweiligen Gruppe an der Gesamtbevölkerung für sich genommen ohne räumliche Differenzierung kann z. B. etwas über das Potenzial möglicher sozialer Unterstützung aussagen, aber nichts über die geografische Verteilung von Risiken in einer Stadt.

„Die Grundsicherung für **Arbeitssuchende** umfasst Leistungen zur Beratung, Beendigung oder Verringerung der Hilfebedürftigkeit insbesondere durch Eingliederung in Ausbildung oder Arbeit und Sicherung des Lebensunterhalts (§ 1 Absatz 3 SGB II).“

„**Aufgabe der Sozialhilfe** ist es, den Leistungsberechtigten die Führung eines Lebens zu ermöglichen, das der Würde des Menschen entspricht. Die Leistung soll sie so weit wie möglich befähigen, unabhängig von ihr zu leben (§1 SGB XII).“

BAUSTEIN 4.2: SENSITIVITÄT DER BEVÖLKERUNG (HEUTE) – BASISINDIKATOREN



Korrelationsanalyse

Die Korrelationsanalyse ist ein statistisches Verfahren, mit dem die Beziehung zwischen mehreren Variablen untersucht wird. Ziel der Korrelationsanalyse ist hier zu vermeiden, dass zwei Indikatoren, die faktisch das Gleiche messen, zur Analyse von Sensitivität herangezogen werden.

Hinweis

In kleineren Kommunen oder bei begrenzten Ressourcen sollte zumindest der Indikator Hochaltrigkeit betrachtet werden, da für diesen Indikator die beste, auf Deutschland übertragbare Evidenz vorliegt.

Erläuterung und Eignung der möglichen ergänzenden Indikatoren

Anzahl Einpersonenhaushalte mit Personen ≥ 75 Jahren pro Hektar Wohn- und Mischbaufläche: Hinweise auf eine Gefährdung alleinlebender hochaltriger Personen (Bouchama et al. 2007) sind aufgrund der ausbleibenden sozialen Unterstützung im Umgang mit Hitze und bei Störungen im Befinden plausibel. Andererseits könnten alleinlebende ältere Personen möglicherweise mobiler und funktionell unabhängiger sein (Vandentorren et al. 2006, Foroni 2007). Sollen beide Indikatoren, also die Anzahl der Personen ≥ 75 Jahren und die Anzahl der Einpersonenhaushalte mit Personen ≥ 75 Jahren, betrachtet werden, sollte eine Korrelationsanalyse durchgeführt werden.

Anzahl Pflegebedürftige pro Hektar Wohn- und Mischbaufläche: Verfügt eine Kommune über Daten zur Anzahl Pflegebedürftiger in einem statistischen Bezirk, kann diese Information ergänzend aufbereitet werden, da eine höhere Gefährdung Pflegebedürftiger diskutiert wird. In der Regel sind diese Daten in den Kommunen nicht kleinräumig verfügbar.

VORGEHEN

Relevante Daten

- Hochaltrigendichte: Anzahl der Personen ≥ 75 Jahre pro Hektar Wohn-/Mischbaufläche
- Dichte von Kindern unter 5 Jahren: Anzahl der Personen < 5 Jahre pro Hektar Wohn-/Mischbaufläche
- Dichte von durch Armut Benachteiligte: Anzahl Leistungsempfänger nach Sozialgesetzbuch (SGB) II und SGB XII pro Hektar Wohn-/Mischbaufläche

Berechnung

Dichte wird berechnet aus der Anzahl betroffener Menschen pro Hektar Wohn- und Mischbaufläche des jeweiligen statistischen Bezirks. Je höher die Dichte ist, desto sensitiver ist der statistische Bezirk.

Die Dichte wird für jeden Basisindikator separat berechnet. Die drei Einzelwerte werden weder addiert noch gewichtet.

Wenn Daten eines Indikators nicht auf Ebene „statistischer Bezirk“ vorliegen, muss auf den nächstgrößeren Bezugsraum (z. B. Stadtbezirk) ausgewichen werden, auf dem die Datensätze vorliegen. Bei Kombinationen der Basisindikatoren (\rightarrow Baustein 4.3) ist dann zu beachten, dass zwar der kleinstmögliche gemeinsame Bezugsraum für die weitere Berechnung verwendet wird, die Einzelindikatoren aber zum Teil kleinräumiger vorliegen. Für planerische Entscheidungen sollten daher immer auch die Einzelindikatoren herangezogen werden.

BAUSTEIN 4.2: SENSITIVITÄT DER BEVÖLKERUNG (HEUTE) – BASISINDIKATOREN



Mögliche Klassifizierung und Einstufung

Für die Definition von allgemeingültigen 'Schwellenwerten' für Sensitivität konnten für keinen der Indikatoren Referenzwerte oder belastbare Daten identifiziert werden. Daher werden für die Definition der Klassengrenzen Dezile der Verteilung der Indikatoren berechnet. Ausreißer, die aus rein methodischen Gründen entstehen, können durch die Berechnung von Dezilen nivelliert werden. Die Anzahl tatsächlich betroffener Personen zu hinterlegen, könnte ggf. zusätzlichen Informationswert haben.

Die Gesamtverteilung eines Indikators wird je Stadt ermittelt und in Dezile aufgeteilt. Die Wertebereiche zwischen den Dezilen bilden die zehn Klassen zur Bewertung der Sensitivität eines statistischen Bezirks:

- Klassen 1 bis 7: weniger sensitive statistische Bezirke
- Klasse 8: sensitive statistische Bezirke
- Klasse 9: hoch sensitive statistische Bezirke
- Klasse 10: extrem sensitive statistische Bezirke

KARTOGRAFISCHE DARSTELLUNG

Karteninhalte: Verteilung eines Basisindikators, Einteilung durch Berechnung von Dezilen, Hinweise zur räumlichen Orientierung, wie Abgrenzung von statistischen Bezirken und Hinterlegung topografischer Merkmale (z.B. bebaute Gebiete).

Es wird empfohlen, die Wohn- und Mischbaufläche eines statistischen Bezirks einzufärben, da sich die Berechnung auf diese Flächen bezieht und statistische Bezirke der Klassen 8, 9 und 10 in Rottönen, die der anderen Klassen in Blautönen darzustellen. Allgemein gilt: Je dunkler die roten bzw. blauen Farbtöne sind, desto höher der Sensitivitätsgrad. Die Dichteklassen 1 bis 7 können zur Vereinfachung auch als „weniger sensitive“ zusammengefasst und in einheitlichem Blau dargestellt werden.

Ergänzend kann in der kartografischen Darstellung auch die Lage spezieller Einrichtungen mit gesundheitlich ähnlichen Risiken (Alten- und Pflegeheime, Krankenhäuser, Einrichtungen für Behinderte) sowie die Lage von Kindertagesstätten und Grundschulen erfasst werden.

Dezile

unterteilen die nach der Größe geordneten Werte eines Indikators in 10 gleich stark besetzte Gruppen. So können jeweils 10 % der statistischen Bezirke mit den übrigen Bezirken verglichen werden.

BAUSTEIN 4.2:
SENSITIVITÄT DER BEVÖLKERUNG (HEUTE) – BASISINDIKATOREN



Modul 4

Klassen 1 bis 10 (Stand 2016)

- 10 höchste Dichte
- 9
- 8
- 7
- 6
- 5
- 4
- 3
- 2
- 1 geringste Dichte
- Grenzen der Stadtbezirke
- Grenzen der statistischen Bezirke

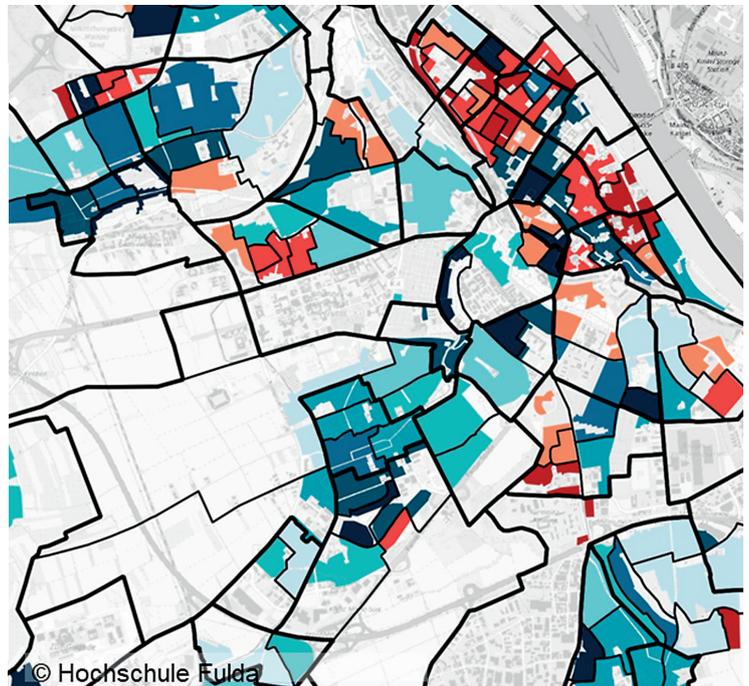


Abbildung 44: Beispieldarstellung – Verteilung der Hochaltrigen-dichte, Einteilung in Dezile für statistische Bezirke in Mainz (Quelle: eigene Darstellung)

Klassen 1 bis 10 (Stand 2016)

- 10 höchste Dichte
- 9
- 8
- 7
- 6
- 5
- 4
- 3
- 2
- 1 geringste Dichte
- Grenzen der Stadtbezirke
- Grenzen der statistischen Bezirke

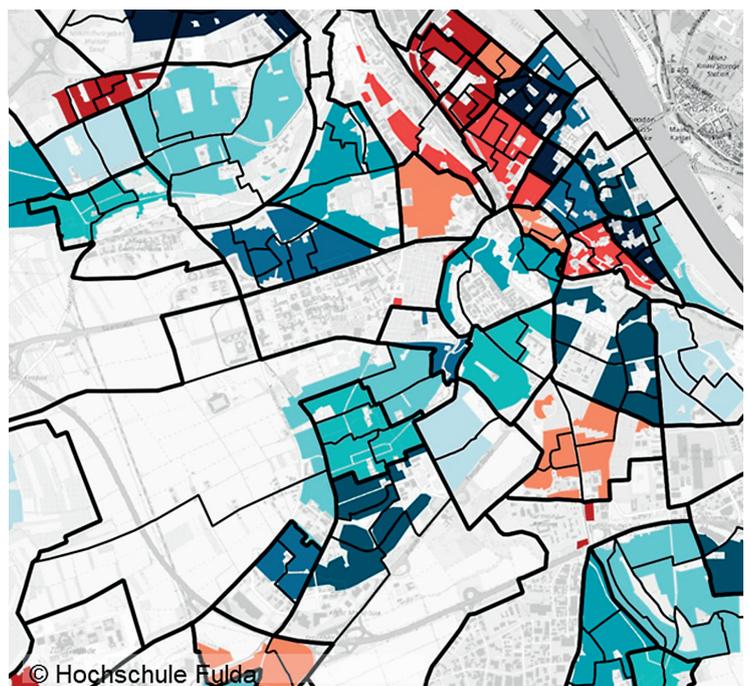


Abbildung 45: Beispieldarstellung – Armutsdichte, Einteilung in Dezile für Stadtbezirke in Mainz (Quelle: eigene Darstellung)

BAUSTEIN 4.2: SENSITIVITÄT DER BEVÖLKERUNG (HEUTE) – BASISINDIKATOREN



EMPFEHLUNGEN

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit sind für die sensitiven bis extrem sensitiven Gebiete planerische Maßnahmen zur Reduktion von Hitzebelastungen oder zur Vermeidung einer Zunahme notwendig. Gesundheitsämtern wird angesichts knapper Ressourcen empfohlen, präventive Maßnahmen auf diese Gebiete zu fokussieren.

Empfehlungen für sensitive bis extrem sensitive Gebiete zum Indikator „Hochaltrigendichte“:

Zur Vermeidung von Übersterblichkeit ist der präventive Aufbau von geeigneten Unterstützungsstrukturen für ältere, allein lebende Menschen im Stadtteil im Rahmen der kommunalen Gesundheitsförderung anzustreben. Während Hitzeextremen wird empfohlen, kühle Orte bereit zu stellen, an denen sich hochaltrige Menschen aufhalten können.

Empfehlungen für sensitive bis extrem sensitive Gebiete zum Indikator „Kinder unter 5 Jahren“:

Insbesondere dann, wenn die betroffenen Gebiete zugleich eher bildungsbenachteiligte Gebiete sein könnten, sollten Strategien zur Information von Eltern über geeignete Multiplikatoren entwickelt werden. Die Bauten von Kindertagesstätten und Schulen in öffentlicher Trägerschaft sollten auf ihr thermisches Verhalten hin überprüft und ggf. saniert werden. Empfehlungen zum Aufenthalt im Freien während Hitzeextremen sollten gegeben werden. Familienhebammen, Kinderärzte, Erzieher und Lehrkräfte sind potenzielle Multiplikatoren für Präventionsstrategien.

Empfehlungen für sensitive bis extrem sensitive Gebiete zum Indikator „Armut“:

Hier ist mit einem geringeren Potenzial für Schutzmöglichkeiten zu rechnen. Sowohl Wohnbedingungen als auch geringes Wissen und fehlende Motivation zur Verhaltensänderung könnten Anpassungen an Hitzeextreme erschweren. Öffentlich nutzbare, gut beschattete Grünflächen, öffentliche kühle Räume sowie eine Sanierung der Bausubstanz im Bezirk haben eine besondere Bedeutung.

Empfehlungen für mögliche ergänzende Indikatoren

Anzahl Einpersonenhaushalte mit Personen ≥ 75 Jahren pro Hektar Wohn- und Mischbaufläche: Bei geringerer sozialer Unterstützung im unmittelbaren sozialen Umfeld ist zur Prävention der Aufbau von unterstützenden Stadtteilstrukturen zu empfehlen.

Anzahl Pflegebedürftiger pro Hektar Wohn- und Mischbaufläche: Bei einer hohen Anzahl ambulant Pflegebedürftiger, die Sachleistungen erhalten, wird empfohlen, Pflegedienste in die Präventionsstrategien einzubeziehen. Pflegeheime müssen besondere Schutzmaßnahmen beachten.

BAUSTEIN 4.3: SENSITIVITÄT DER BEVÖLKERUNG (HEUTE) – KONZENTRATION IN STÄDTISCHEN RÄUMEN



Basisindikation

zur Ermittlung der Sensitivität (heute) sind:

- Hochaltrigendichte,
- Dichte von Kindern unter 5 Jahren,
- Dichte von durch Armut Benachteiligte.

EINLEITUNG UND ZIELE

Für die Stadtplanung ist relevant zu wissen, in welchen statistischen Bezirken besonders viele sensitive Bevölkerungsgruppen wohnen. Durch die Kombination relevanter Indikatoren können städtische Räume lokalisiert werden, in denen eine Konzentration besonders gefährdeter Bevölkerungsgruppen vorliegt.

ERLÄUTERUNG UND EIGNUNG

Die grundsätzliche Eignung der Basisindikatoren ist in [Baustein 4.1](#) erläutert.

Für eine Kombination der Basisindikatoren wird nachfolgend ein Vorgehen vorgeschlagen, das u. a. die Indikatoren untereinander gewichtet. Dabei wird die Gefährdung der Hochaltrigen höher gewichtet als die anderen Basisindikatoren, da für die erhöhte Gefährdung von Hochaltrigen eine hinreichende und auf Deutschland übertragbare Evidenz vorliegt. Daher ist dieser Indikator für die Beurteilung von städtischen Räumen von höherer Bedeutung.

Die Auswahl der Kinder- und Armutsdichte beruht auf nicht eindeutiger Evidenz, sondern primär auf theoretischer Plausibilität. Daher erhalten diese Indikatoren bei der Beschreibung von Räumen hoher Sensitivität weniger Gewicht.

VORGEHEN

Relevante Daten

Bewertung von räumlicher Konzentration besonders gefährdeter Bevölkerungsgruppen aus der Kombination der Basisindikatoren Hochaltrigendichte, Kinderdichte und Dichte der durch Armut Benachteiligten.

Die Konzentration wird dabei durch die Kombination der Einzelindikatoren nach folgendem Schema ermittelt:

BAUSTEIN 4.3: SENSITIVITÄT DER BEVÖLKERUNG (HEUTE) – KONZENTRATION IN STÄDTISCHEN RÄUMEN



Mögliche Klassifizierung und Einstufung

Bewertung der Räume nach dem Sensitivitätsgrad der Basisindikatoren:

- Extrem sensibles Gebiet:
Hochaltrigendichte Klassen 8 bis 10 **und**
Kinderdichte Klasse 10 **und**
Armutsdichte Klasse 10
- Hoch sensibles Gebiet:
Hochaltrigendichte Klassen 8 bis 10 **und**
Kinderdichte Klasse 10 **oder**
Armutsdichte Klasse 10
- Sensitives Gebiet:
Hochaltrigendichte Klassen 8 bis 10 **oder**
Kinderdichte Klasse 10 **und/oder**
Armutsdichte Klassen 10
- Weniger sensibles Gebiet:
keines der Kriterien ist zutreffend

Alternativen

Hochaltrigendichte und Dichte der durch Armut Benachteiligten wird kombiniert, ohne die Kinderdichte zu berücksichtigen. Die Bewertung erfolgt wie folgt:

- Extrem sensibles Gebiet:
Hochaltrigendichte Klassen 8 bis 10 **und**
Armutsdichte Klasse 10
- Sensitives Gebiet:
Hochaltrigendichte Klassen 8 bis 10 **oder**
Armutsdichte Klasse 10
- Weniger sensibles Gebiet:
keines der Kriterien ist zutreffend

BAUSTEIN 4.3: SENSITIVITÄT DER BEVÖLKERUNG (HEUTE) – KONZENTRATION IN STÄDTISCHEN RÄUMEN



KARTOGRAFISCHE DARSTELLUNG

Karteninhalte: Verteilung der räumlichen Konzentration der sensitiven Bevölkerungsgruppen auf allen statistischen Bezirken, Hinweise zur räumlichen Orientierung, wie Abgrenzung von statistischen Bezirken und Hinterlegung topografischer Merkmale (z. B. bebauten Gebiete).

Es wird empfohlen, die Wohn- und Mischbaufläche eines statistischen Bezirks einzufärben, da sich die Berechnung auf diese Flächen bezieht.

Sensitivitätsgrade (Stand 2016)

- extrem sensitiv
- hoch sensitiv
- sensitiv
- weniger sensitiv
- Grenzen der Stadtbezirke
- Grenzen der statistischen Bezirke

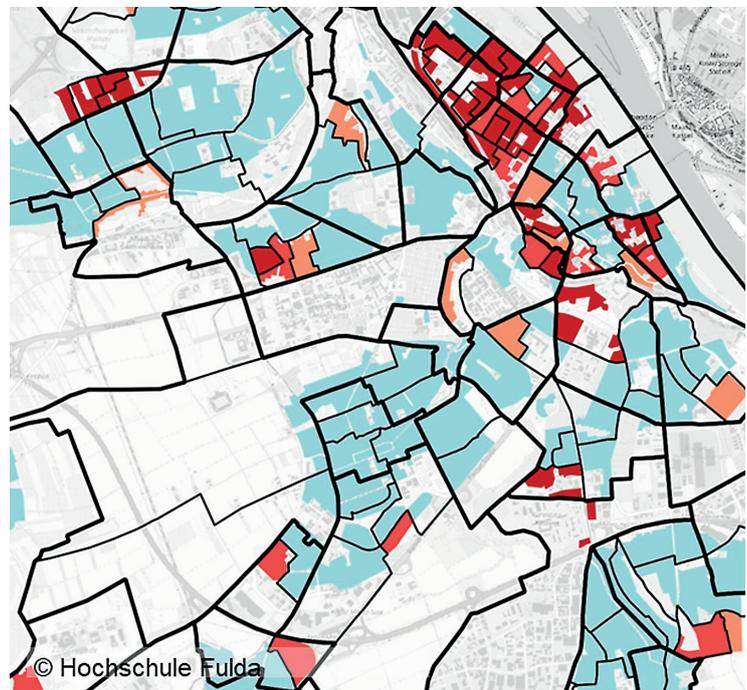


Abbildung 46: Beispieldarstellung – Konzentration der Sensitivität für Stadtbezirke in Mainz (Stand 2016) (Quelle: eigene Darstellung)

EMPFEHLUNGEN

Der Indikator wird empfohlen, um Gebiete lokalisieren zu können, die einen besonderen Bedarf an Maßnahmen zur Anpassung an Hitzeextreme haben. Angesichts knapper Ressourcen wird empfohlen, bevölkerungsbezogene präventive Maßnahmen auf diese Gebiete zu fokussieren und in den betroffenen Gebieten Strukturen zur sozialen Unterstützung bei Hitzeextremen aufzubauen.

BAUSTEIN 4.4: SOZIALINDEX (SES-INDEX)



EINLEITUNG UND ZIELE

Der Sozialindex zeigt an, wie sich statistische Bezirke in der sozioökonomischen Struktur der Bevölkerung voneinander unterscheiden.

Der Sozialindex hat im Gegensatz zum Indikator Armutsdichte (siehe [↔ Baustein 4.1](#)) Eigenschaften einer sogenannten ökologischen Studie: Aus Forschungen zu gesundheitlicher Ungleichheit ist bekannt, dass das Empfinden, einer von der Gesellschaft benachteiligten Gruppe anzugehören, unabhängig von der persönlichen Armut ein Risikofaktor für die Gesundheit sein kann. Daraus folgt, dass das Empfinden in einem Stadtgebiet zu wohnen, das eher sozial benachteiligt ist, ein möglicher Risikofaktor für gesundheitliche Beeinträchtigungen sein kann, unabhängig von der persönlichen Armut (= indirekter Risikofaktor für die Belastung durch Hitze). Dabei ist hier nicht die Größe der jeweiligen Bevölkerungsgruppe pro Wohnfläche, sondern deren Anteil an der Bevölkerung insgesamt relevant.

Unter dem Aspekt der thermischen Folgen des Klimawandels wird bei Städten, die über entsprechende Daten verfügen, die sozial ungleiche Verteilung der Risiken von Hitzeextremen für die menschliche Gesundheit genauer sichtbar. Mit dem Index lässt sich z. B. zeigen, inwieweit und wo Mehrfachbelastungen in der Stadt vorliegen.

Um den Sozialindex berechnen zu können, müssen die entsprechenden Daten vorliegen und ein Grundwissen zu statistischen Verfahren und Berechnungen vorhanden sein.

ERLÄUTERUNG UND EIGNUNG

Der Sozialindex setzt sich aus verschiedenen Indikatoren zusammen. Zur Berechnung des Sozialindex werden folgende relevanten und statistisch begründeten Indikatoren berücksichtigt, zu denen Daten vorliegen:

- **Existenzsicherungs- und Arbeitslosenquote:** Beide Merkmale identifizieren sozial benachteiligte Bevölkerungsgruppen. Für die Merkmale sollte eine Korrelationsanalyse durchgeführt werden, da Armut und Erwerbsstatus Überschneidungen enthalten. Damit wird geprüft, ob der Einschluss beider Indikatoren tolerierbar ist. Daten zur Anzahl von zivilen Erwerbstätigen liegen bei den Kommunen in der Regel nicht kleinräumig vor. Die Zahl muss daher geschätzt werden.
- **Wohnfläche:** Geringer Wohnraum ist eine relevante Benachteiligung, die bei Hitze u. a. über die Ausweichmöglichkeiten in kühlere Räume entscheidet. Der IST-Wert der durchschnittlichen Wohnfläche pro Haushalt entspricht der Gesamtwohnfläche (z. B. aus Bautätigkeitsstatistiken) geteilt durch die Anzahl der Haushalte (z. B. aus Haushaltsgenerierung). Der SOLL-Wert beruht auf den, von der Haushaltsgröße abhängigen, Vorgaben zum Bau von Sozialwohnungen (Einpersonenhaushalte: 50 m², Fünfperso-

„Ökologische Studien sind in der Epidemiologie Beobachtungsstudien, die aggregierte Daten und nicht individuell erhobene Merkmale untersuchen. Es werden nicht Angaben zu einzelnen Personen untersucht, sondern zu Gruppen von Individuen und deren Gruppenmerkmale, beispielsweise zu statistischen Bezirken oder Regionen. Die gruppenspezifischen Ergebnisse können nicht auf Eigenschaften von Individuen bezogen werden. Beispielsweise kann aus einem negativen Soll-Ist-Wert der Wohnfläche eines statistischen Bezirkes nicht geschlossen werden, dass es dort keine Personen gibt, die in luxuriös großen Wohnungen wohnen.“

BAUSTEIN 4.4: SOZIALINDEX (SES-INDEX)



nenhaushalte: 95m² etc. (Landeshauptstadt Wiesbaden 2017)). Ermittelt wird der SOLL-Wert als Summe aus der Anzahl der X-Personenhaushalte multipliziert mit der vorgegebenen Quadratmeterzahl für die jeweilige Haushaltsgröße bezogen auf die Gesamtzahl der Haushalte im Planungsraum. Einschränkungen bestehen in der Aussagefähigkeit des Soll-Ist-Vergleichs. Interessanter wären Aussagen über den Anteil von Wohnungen, deren Größe unter den Normwerten des sozialen Wohnungsbaus liegt. Die Daten liegen nicht routinemäßig vor.

- **Bildungsbenachteiligung:** Bildung ist ein relevanter Faktor für Benachteiligung und bei Hitze aufgrund der Kompetenz zur Verhaltensanpassung relevant. Daten liegen jedoch nicht vor.

VORGEHEN

Relevante Daten

- Existenzsicherungsquote: Anteil der Personen mit Leistungsbezügen nach SGB II und SGB XII an den Einwohnern im statistischen Bezirk.
- Arbeitslosenquote: Anteil der nach SGB II und SGB III registrierten Arbeitslosen im statistischen Bezirk wohnenden zivilen Erwerbspersonen.
- Wohnfläche: Wohnfläche (IST) im Vergleich zu den Vorgaben des sozialen Wohnungsbaus (SOLL). Ausgedrückt wird die Differenz zwischen SOLL und IST.
- Bildungsbenachteiligung: Anteil von Erwachsenen über 25 Jahre, die keinen oder nur einen niedrigen Bildungsabschluss (Hauptschulabschluss ohne Berufsbildungsabschluss) haben.

Berechnung

Um die Indikatoren mit unterschiedlich dimensionierten Werten zu einem Index zusammenfassen zu können, müssen die Werte mittels der sogenannten z-Transformation zu standardisierten, dimensionslosen Werten umgewandelt werden. Für die Modellstädte war eine Gewichtung der einzelnen Faktoren nicht begründbar. Besteht zwischen zwei relevanten Indikatoren statistisch ein starker linearer Zusammenhang, beispielsweise zwischen der Existenzsicherungsquote und Arbeitslosenquote (Multikollinearität) sollte nur ein Merkmal verwendet werden.

Mögliche Klassifizierung und Einstufung

Darstellung von 10 gleich stark besetzten Klassen mittels Berechnung von Dezilen (siehe Vorgehen bei [Baustein 4.1](#))

z-Transformation

Statistisches Vorgehen zur Standardisierung eines Parameters. Die z-Transformation erfolgt dabei anhand der folgenden Berechnungsvorschrift (vgl. VDI 3785 Blatt 1):

$$z = (x - \mu) / \sigma$$

x: Ausgangsparameter

μ : arithmetisches Mittel

σ : Standardabweichung

z: standardisierter Parameter als Ergebnis.

Nach Anwendung der Berechnungsvorschrift entspricht das arithmetische Mittel dem Wert 0 die Standardabweichung dem Wert 1.

Multikollinearität

liegt vor, wenn zwischen zwei relevanten Indikatoren ein starker linearer Zusammenhang ($\geq 0,9$) besteht.

BAUSTEIN 4.4: SOZIALINDEX (SES-INDEX)



Alternative

Einstufung des sozioökonomischen Status (SES) durch Berechnung von Quintilen:

- die untersten 20% (Quintil 1) nehmen einen hohen SES an,
- die obersten 20% (Quintil 5) einen niedrigen SES,
- der Wertebereich zwischen dem 2. und 4. Quintil wird zu einer breiten Mitte zusammengefasst (mittlerer SES).

EMPFEHLUNGEN

Sozioökonomisch benachteiligte Stadtgebiete sind Stadtgebiete, in denen aufgrund von Mehrfachbelastung mit einer insgesamt schlechteren gesundheitlichen Lage und in der Folge einer größeren Sensitivität der Bevölkerung für die gesundheitlichen Folgen von Hitzeextremen zu rechnen ist.

Planerische Maßnahmen, die zu einer Aufwertung des Stadtgebiets führen, reduzieren die gesundheitliche Sensitivität der Bevölkerung des Gebiets, da sie Mehrfachbelastungen reduzieren. Gleichzeitig können sie eine Gentrifizierung und damit eine Verlagerung von Risikogebieten einleiten.

Quintile

unterteilen die nach der Größe geordneten Werte eines Indikators in fünf gleich stark besetzte Gruppen. So können jeweils 20% der statistischen Bezirke mit den übrigen Bezirken verglichen werden.

Gentrifizierung

bezeichnet die Verdrängung von weniger verdienenden Bevölkerungsgruppen durch einkommensstarke Haushalte in attraktiven urbanen Wohnlagen.

BAUSTEIN 4.5: SENSITIVITÄT IN DER ZUKUNFT



Klimaprojektionen

„Für die Analyse der Auswirkungen der menschlichen Aktivitäten auf das Klima der Erde werden Klimamodelle [...] genutzt. [...] Möchte man Aussagen über die Zukunft, z. B. die nächsten 100 Jahre machen, so benötigen die Klimamodelle angenommene Vorgaben („Szenarien“). [...] Diese beruhen auf Annahmen über zukünftige gesellschaftliche und technologische Entwicklungen, die mit erheblichen Unsicherheiten verbunden sind. Man spricht deshalb nicht von Klimaprognosen, sondern von Klimaprojektionen.“ (Noppel 2017: S. 96)

EINLEITUNG UND ZIELE

Die Sensitivität der Bevölkerung in der Zukunft wird für den Indikator Hochaltrigendichte für die nahe Zukunft modelliert (Zeitraum Klimaprojektion, hier 2031–2060; Prognosejahr Hochaltrigendichte 2031). Für das Szenario liegen die Annahmen zugrunde, dass die Generation 60+ ihr bisheriges Wohngebiet nicht verlässt und im statistischen Bezirk keine neuen Bauten hinzugekommen sind.

ERLÄUTERUNG UND EIGNUNG

Interessant wäre die Entwicklung der Struktur der Bevölkerung in der Zukunft, gemessen an den Jahren 2030 und 2060. Kleinräumige Bevölkerungsprognosen werden aufgrund der erwarteten Ungenauigkeit allerdings nicht erhoben. Aufgrund mangelnder theoretisch begründbarer Annahmen wird empfohlen, die Modellierung von Szenarien auf die Ausprägung des Merkmals Hochaltrigendichte zu begrenzen.

Auf Modellierungen für 2060 muss verzichtet werden, da bei den Altersgruppen zwischen 30 und 50 Jahren ein Wechsel des Wohngebiets aufgrund von Arbeitsplatzwechsel, Familiengründung oder Bau und Kauf von Wohneigentum wahrscheinlich ist.

VORGEHEN

Relevante Daten

Hochaltrigendichte: Anzahl der Personen ≥ 75 Jahre pro Hektar Wohn- und Mischbaufläche in der nahen Zukunft (z. B. 2031).

Berechnung

Berücksichtigung der Sterbewahrscheinlichkeit in den einzelnen Altersjahren (z. B. Sterbewahrscheinlichkeit aus den Kohortensterbetafeln unter Annahme der Gleichverteilung von Frauen und Männern in der Gesamtbevölkerung)¹¹ und der Hochaltrigendichte in der nahen Zukunft (z. B. 2031) im Vergleich zum Basisjahr (z. B. 2016).

Mögliche Klassifizierung und Einstufung

Die Dezile der Verteilung aus dem Jahr 2016 werden als Klassengrenzen herangezogen, um herauszufinden, welche Wohngebiete nach den Kriterien von 2016 im Jahr 2031 weniger sensitiv oder besonders sensitiv sind (siehe

➔ Baustein 4.3).

¹¹Enthaltene Fehler: Die Annahme einer gleichen Verteilung von Männern und Frauen in der jeweiligen Altersgruppe ist falsch, da Frauen eine höhere Lebenserwartung haben.

BAUSTEIN 4.5: SENSITIVITÄT IN DER ZUKUNFT



KARTOGRAFISCHE DARSTELLUNG

Karteninhalt: Szenario der Verteilung der Sensitivität der Bevölkerung in der Zukunft, Hinweise zur räumlichen Orientierung, wie Abgrenzung von statistischen Bezirken und Hinterlegung topografischer Merkmale (z. B. bebautе Gebiete).

Es wird empfohlen, die Wohn- und Mischbaufläche eines statistischen Bezirks einzufärben, da sich die Berechnung auf diese Flächen bezieht.

Zur besseren Lesbarkeit wird empfohlen, weniger sensitive Gebiete der Klassen 1 bis 7 in einem einheitlichen helleren Blauton gemeinsam und nur die drei höchsten Gruppen getrennt darzustellen.

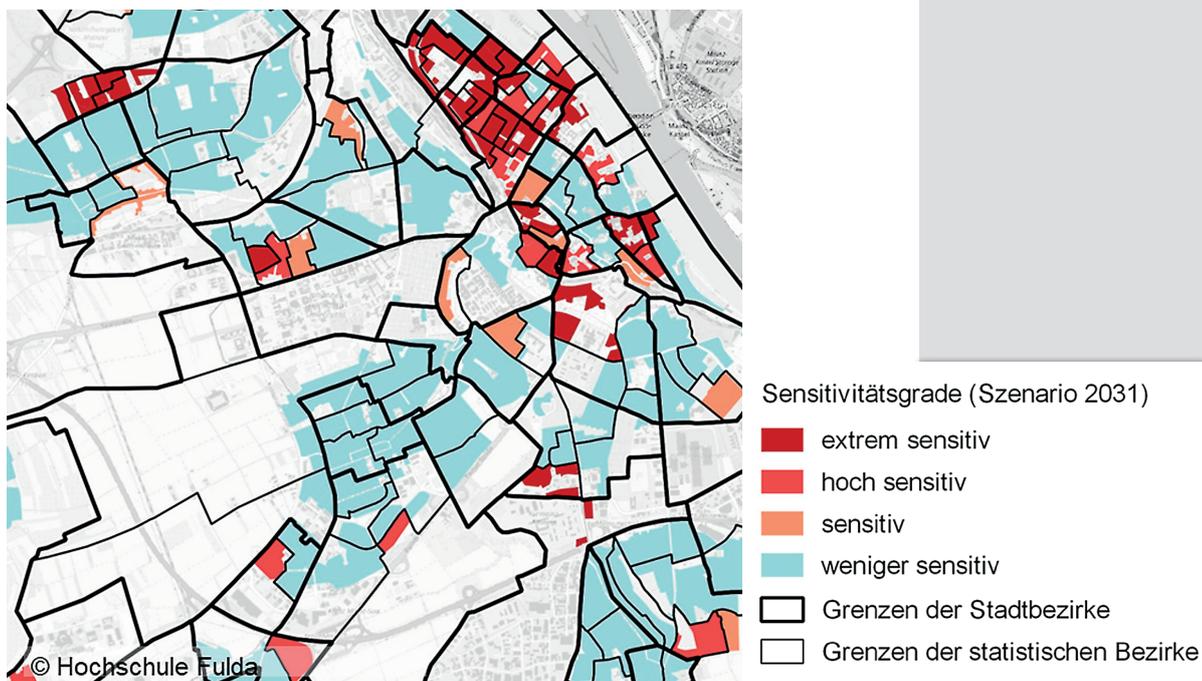


Abbildung 47: Beispieldarstellung – Hochaldrigendichte mit Sensitivitätsgrad in der Zukunft für statistische Bezirke in Mainz (Quelle: eigene Darstellung)

EMPFEHLUNGEN

Szenarien zeigen potenzielle Veränderungen der Sensitivität von Stadtgebieten und sind damit für eine zukunftsorientierte Planung relevant.

Modul 5: Betroffenheit (Hitze) der Bevölkerung im Stadtgebiet

Ziel und Nutzen Modul 5

Um zielgerichtet mit planerischen Maßnahmen und Maßnahmen im sozialen und gesellschaftlichen Bereich auf die Ergebnisse aus diesen Analysen reagieren zu können, müssen die jeweiligen Ergebnisse nachvollziehbar überlagert und in der Gesamtschau bewertet werden. Dafür werden Ihnen in **➔ Modul 5** nun verschiedene Wege aufgezeigt. Das Ergebnis wird jeweils mit dem Begriff „Betroffenheit“ umschrieben.

„Betroffenheit“ betrachtet die Klimawirkung auf ein System oder Handlungsfeld (z. B. Wirtschaftssektor, Bevölkerungsgruppe, Ökosystem) unter Berücksichtigung der jeweiligen Sensitivität und des räumlichen Vorkommens (vgl. UBA 2017: S. 10). Die Betroffenheit der Bevölkerung im Stadtgebiet ist also das Ergebnis der dort vorliegenden temperaturbedingten Folgen des Klimawandels (Exposition) und der Sensitivität der Bevölkerung (UBA 2017).

Die Betroffenheit der Bevölkerung zeigt somit, wo belastete Gebiete liegen, in denen besonders gefährdete oder besonders schützenswerte Bevölkerungsgruppen wohnen bzw. deren Zahl besonders hoch ist. Stadtplanung sowie Sozial- und Gesundheitspolitik können auf Basis der Verschneidung spezifische Schlussfolgerungen für städtische Räume unterschiedlicher Betroffenheit ableiten (siehe Planungshinweise **➔ Modul 3**).

Je nach zur Verfügung stehenden Daten kann neben der Betroffenheit in der Gegenwart die zukünftige potenzielle Betroffenheit abgeschätzt werden. Dafür sind sowohl stadtklimatische Projektionen (**➔ Baustein 2.4**) als auch Szenarien für die Sensitivität der Bevölkerung in der Zukunft (**➔ Baustein 4.5**) notwendig.

Aufbau Modul 5

Das Modul umfasst folgende Bausteine:

- **➔ Baustein 5.1:** Einführung in **Modul 5**
- **➔ Baustein 5.2:** Betroffenheit in der Gegenwart
- **➔ Baustein 5.3:** Potenzielle Betroffenheit in der Zukunft

In der Moduleinführung (**➔ Baustein 5.1**) erhalten Sie einen Überblick zum grundsätzlichen Vorgehen, mit dem die Betroffenheit im Stadtgebiet ermittelt wird. Sie erhalten in diesem Baustein auch wichtige Hinweise bezüglich des Umgangs mit den Ergebnissen bzw. im Hinblick auf die Interpretation der Ergebnisse.

In den **➔ Baustein 5.2 und 5.3** wird Ihnen jeweils für die Tag- als auch für die Nachtsituation ein mögliches Vorgehen zur Ermittlung der Betroffenheit erläutert. Sie erhalten in beiden Bausteinen zudem Empfehlungen, welche Schlussfolgerungen sich aus der Überlagerung der Erkenntnisse zum Stadtklima und zur Gesundheit ziehen lassen.

BAUSTEIN 5.1: BETROFFENHEIT IN DER GEGENWART



INHALTE IN MODUL 5 BETROFFENHEIT DER BEVÖLKERUNG IM STADTGEBIET

Durch Überlagerung der Sensitivitätsanalyse Gesundheit (➔ **Modul 4**) mit der Verteilung der Wärmebelastung (➔ **Modul 1** und ➔ **Modul 2**) werden städtische Räume identifiziert, in denen unter dem Aspekt „Hitze und menschliche Gesundheit“ prioritär Handlungsbedarf besteht. Das Ergebnis der Verschneidung wird als „Betroffenheit“ bezeichnet. Abbildung 48 zeigt beispielhaft, wie der Prozess zur Überlagerung der Erkenntnisse aus ➔ **Modul 2** und ➔ **Modul 4** verläuft.

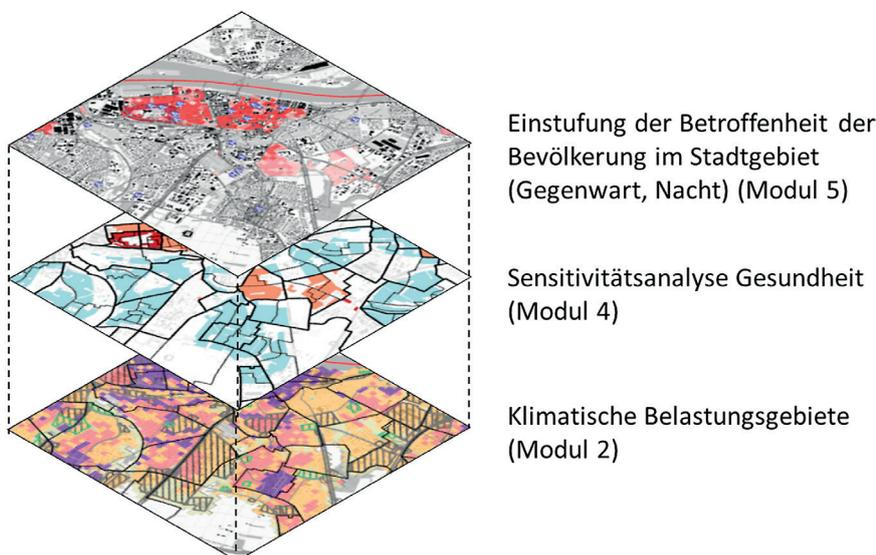


Abbildung 48: Beispielhafte Darstellung der Ermittlung der Betroffenheit auf Basis der Ergebnisse aus ➔ **Modul 2** und ➔ **Modul 4** (Quelle: eigene Darstellung)

Die Einstufung der Betroffenheit erfolgt mit Hilfe einer Bewertungsmatrix, in der festgelegt ist, wie die überlagerten Erkenntnisse aus ➔ **Modul 2** und ➔ **Modul 4** jeweils zu bewerten sind. Die Bewertungsmatrix ist jeweils entsprechend der Eingangsdaten und Fragestellung zu definieren.

Hinweis: Die Ergebnisse der Betroffenheit in der Gegenwart, der potenziellen Betroffenheit in der Zukunft sowie der Betroffenheit tags und nachts sind aufgrund der üblicherweise zur Verfügung stehenden unterschiedlichen Eingangsindikatoren nicht unmittelbar vergleichbar. Zur Ermittlung der stadtklimatischen Erkenntnisse liegen für die Zukunft oftmals Modellierungsergebnisse für die Häufigkeit von Kenntagen vor (siehe ➔ **Baustein 2.4**), während belastete Gebiete für die Gegenwart sinnvoll durch die Verteilung und das Ausmaß der gefühlten Temperatur oder der Lufttemperatur ermittelt werden (siehe ➔ **Baustein 1.2** und **Baustein 2.2 bis 2.4**).

Hinweis:

Entsprechend der unterschiedlichen Eingangsdaten wird die Wärmebelastung teils unterschiedlich eingestuft, d. h., in heute hoch belasteten Gebieten (B1) können Tropennächte oder Heiße Tage zukünftig z. T. auch als selten berechnet werden. Das ist aufgrund der unterschiedlichen Ausgangsdaten erklärbar, aber als Karte nur schwer vermittelbar. Daher wird empfohlen, für die Zukunft explizit von der Einstufung der durchschnittlichen Anzahl der Tropennächte pro Jahr zu sprechen und nicht von „Belastungsgebieten“.

BAUSTEIN 5.2: BETROFFENHEIT IN DER GEGENWART



EINLEITUNG UND ZIELE

Auf Basis der Verschneidung relevanter Indikatoren der Sensitivitätsanalyse Gesundheit, welche die räumliche Konzentration sensibler Bevölkerung auf den Wohn- und Mischbauflächen ermitteln, mit der Verteilung der Wärmebelastung im Stadtgebiet erfolgt eine Beurteilung der Betroffenheit der Bevölkerung für die Gegenwart.

Durch die Einstufung der Betroffenheit der Bevölkerung wird deutlich, wo Gebiete mit starker Wärmebelastung liegen, in denen zusätzlich besonders sensitive Bevölkerungsgruppen leben. Die Sensitivität der Bevölkerung wird als Kombination aus Hochaltrigendichte, Kinderdichte und Dichte der durch Armut Benachteiligten erfasst.

ERLÄUTERUNG UND EIGNUNG

Die Betroffenheit der Bevölkerung wird in diesem Baustein sowohl für die Tag- als auch für die Nachtsituation ermittelt.

Die Auswahl der Nachtsituation ist besonders interessant, da für die gesundheitliche Belastung die Erholungsmöglichkeit während der Nacht bedeutend ist. Die Belastungsgebiete während der Nacht ergeben sich im Projekt KLIMPRAX Stadtklima aus der relativen Bewertung der Verteilung der gefühlten Temperatur innerhalb der Siedlungsgebiete (siehe [↪ Modul 2](#)). Grundsätzlich ist dieses Vorgehen übertragbar, egal mit welchem Indikator die Belastungsgebiete ermittelt wurden.

Da sich besonders sensitive Bevölkerungsgruppen tagsüber überdurchschnittlich lange in den Wohnungen aufhalten, ist für diese Gruppen auch die Wärmebelastung am Tag sehr relevant.

Für die Bestimmung der Betroffenheit der Bevölkerung ist primär die Exposition der gesamten Bevölkerung entscheidend, also das räumliche Vorkommen der stadtklimatischen Belastung. Erst an zweiter Stelle ist ausschlaggebend, ob die dort ansässigen Bevölkerungsgruppen besonders empfindlich auf die Belastung reagieren. Damit ist die Betroffenheit in überdurchschnittlich belasteten Gebieten (Belastungsgebiete B1 und B2) grundsätzlich höher zu beurteilen als in unterdurchschnittlich belasteten Gebieten (Belastungsgebiete C und D).

Gleiches gilt grundsätzlich für die Tagsituation: Die Betroffenheit in – gemäß der Definition der thermophysiologicalen Belastungen nach VDI 3787 Blatt 2 – extrem und stark belasteten Gebieten ($\geq 38^\circ\text{C}$, 32°C bis 38°C) ist hier grundsätzlich höher zu beurteilen als in mäßig und schwach belasteten Gebieten (26°C bis 32°C , $< 26^\circ\text{C}$).

Hinweis:

Eine unmittelbare Vergleichbarkeit der Tages- und der Nachtsituation ist nicht gegeben

Exposition

Im Rahmen des Projekts KLIMPRAX Stadtklima wird die Exposition als das Eintreten eines Hitzeereignisses in einer Region verstanden, also die Kombination von klimatischen Einfluss und räumlichen Vorkommen des Ereignisses, d. h. dem Ausmaß in dem ein Hitzeereignis eine Stadt betrifft.

BAUSTEIN 5.2: BETROFFENHEIT IN DER GEGENWART



VORGEHEN

Relevante Daten

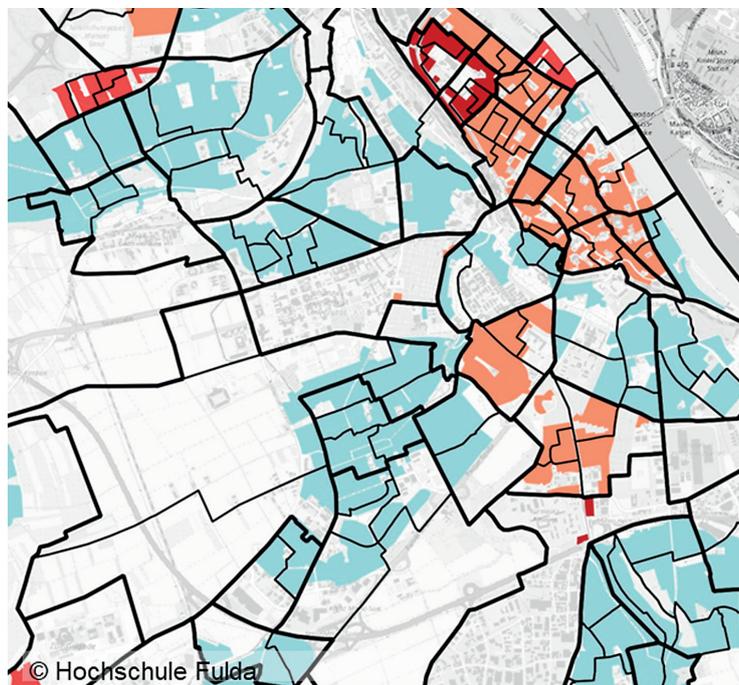
- Ergebnis der Sensitivitätsanalyse menschliche Gesundheit (→ Modul 4)
- Ergebnis der Verteilung der Wärme im Stadtgebiet – Belastung in der Nacht (→ Modul 2)
- Verteilung der Wärme im Stadtgebiet – Belastung am Tag (→ Baustein 1.2)

VORGEHEN ZUR ERMITTLUNG DER BETROFFENHEIT IN DER NACHT

Verschneidung und Klassifizierung für die Belastungssituation der Nacht

Sensitivitätsanalyse menschliche Gesundheit sowohl zur Ermittlung der Betroffenheit in der Nacht als auch am Tag (→ Modul 4):

- räumliche Konzentration sensibler Bevölkerungsgruppen aus der Kombination der Basisindikatoren Hochaltrigendichte, Kinderdichte und Dichte der durch Armut Benachteiligten
- Relevant für die Verschneidung ist die Bewertung für die höchsten drei Stufen der Sensitivität: extrem sensitiv, hoch sensitiv, sensitiv



Sensitivitätsgrade (Stand 2016)

- extrem sensitiv
- hoch sensitiv
- sensitiv
- weniger sensitiv
- Grenzen der Stadtbezirke
- Grenzen der statistischen Bezirke

Mit der Betroffenheitsanalyse werden Gebiete identifiziert, in denen unter dem Aspekt menschliche Gesundheit prioritär Handlungsbedarf besteht. Weniger sensitive Bevölkerungsgruppen bleiben daher unberücksichtigt.

Abbildung 49: Beispieldarstellung – Konzentration der Sensitivität in Mainz (Stand 2016) (Quelle: eigene Darstellung)

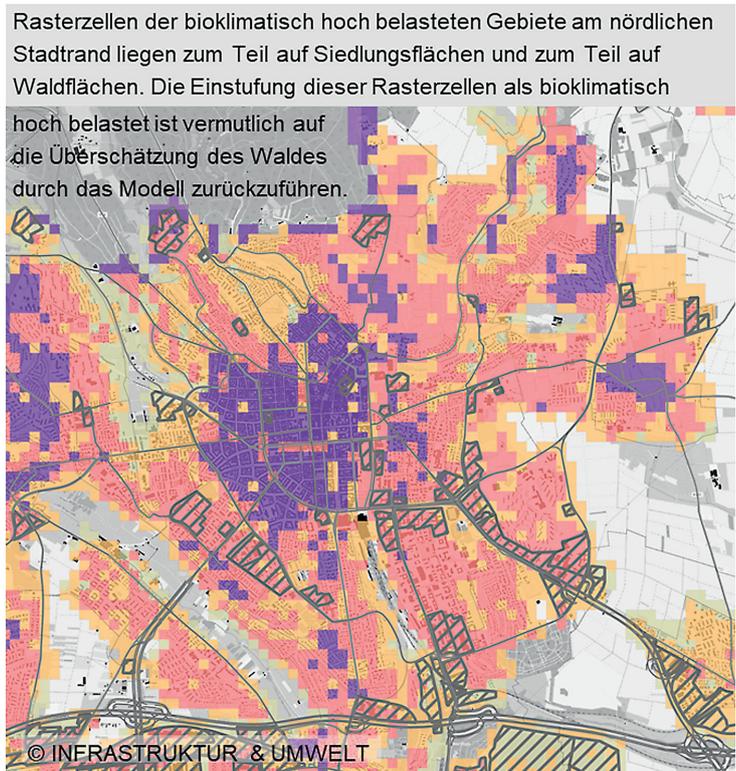
BAUSTEIN 5.2: BETROFFENHEIT IN DER GEGENWART



Alternativ kann in Gemeinden, die nur den Indikator Hochaltrigendichte oder dessen Kombination mit der Dichte der durch Armut Benachteiligten untersucht haben, dieser Indikator zur Verschneidung genutzt werden (siehe → Modul 4).

Verteilung der Wärme im Stadtgebiet – Belastung in der Nacht (→ Modul 2):

- Bewertung von klimatischen Belastungsgebieten auf Basis der gefühlten Temperatur um 4 Uhr nachts
- relevant für die Verschneidung ist die Bewertung für alle vier Klassen: B1, B2, C und D



Beurteilung der bioklimatischen Belastungsgebiete
(Bewertung auf den Siedlungsflächen)

- B1 - bioklimatisch hoch belastet
- B2 - bioklimatisch belastet
- C - gering belastet
- D - unbelastet
- Grenze der Planungsräume
- Gewerbegebiete, Sondergebiete, sowie Flächen für Ver- und Entsorgung
- Bundesautobahn
- Hauptstraße

Abbildung 50: Beispieldarstellung – Beurteilung von Belastungsgebieten auf Siedlungsflächen in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)

Mögliche Klassifizierung und Einstufung der nächtlichen Belastungssituation

Die Ergebnisse der Einstufung der Wärme im Stadtgebiet und der Einstufung der Sensitivitätsanalyse der menschlichen Gesundheit werden anhand einer Matrix zur Einstufung der Betroffenheit in der Nacht (siehe Abbildung 51) miteinander verschneitten.

**BAUSTEIN 5.2:
BETROFFENHEIT IN DER GEGENWART**



		Sensitivitätsgrad aus der Kombination der Indikatoren Hochaltrigen-, Kinder- und Amutsdichte			
		extrem sensitiv	hoch sensitiv	sensitiv	weniger sensitiv*
Belastungsgebiete um 4 Uhr	B1 (hoch belastet)	sehr hohe Betroffenheit (Nacht)	sehr hohe Betroffenheit (Nacht)	hohe Betroffenheit (Nacht)	-
	B2 (belastet)	hohe Betroffenheit (Nacht)	hohe Betroffenheit (Nacht)	mittlere Betroffenheit (Nacht)	-
	C (gering belastet)	mittlere Betroffenheit (Nacht)	niedrige Betroffenheit (Nacht)	niedrige Betroffenheit (Nacht)	-
	D (unbelastet)	- (In unbelasteten Gebieten ist selbst für extrem sensitive Bevölkerungsgruppen keine Betroffenheit in Bezug auf Hitzebelastung festzustellen.)			

*Mit der Betroffenheitsanalyse werden Gebiete identifiziert, in denen unter dem Aspekt menschliche Gesundheit prioritär Handlungsbedarf besteht. Weniger sensitive Bevölkerungsgruppen bleiben daher unberücksichtigt.

Abbildung 51: Matrix für die Ermittlung der Betroffenheit nachts (Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 52 zeigt eine beispielhafte Darstellung der Betroffenheit in der Nacht (weitere Erläuterungen unter „kartografische Darstellung“).

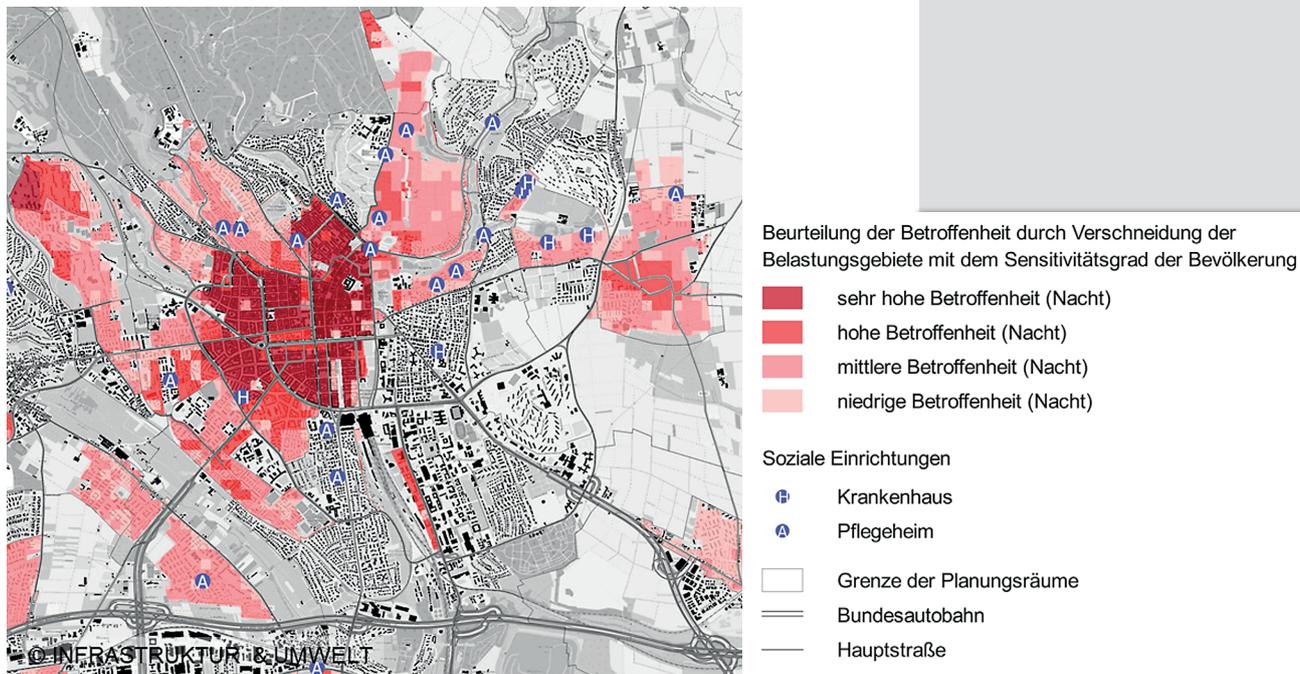


Abbildung 52: Beispieldarstellung – Betroffenheit in der Nacht in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)

BAUSTEIN 5.2: BETROFFENHEIT IN DER GEGENWART



Klassifizierung der gefühlten Temperatur entsprechend der thermophysiologicalen Belastung (nach VDI 3787 Blatt 2):

- unter 20 °C behaglich: Komfort möglich
- 20 °C – 26 °C leicht warm: schwache Wärmebelastung
- 26 °C – 32 °C warm: mäßige Wärmebelastung
- 32 °C – 38 °C heiß: starke Wärmebelastung
- über 38 °C sehr heiß: extreme Wärmebelastung

Gefühlte Temperatur um 16 Uhr in °C	Farbe	Temperaturbereich	Linienart	Bedeutung
<= 33	hellgelb	<= 33	—	
> 33 bis 34	gelb	> 33 bis 34	—	
> 34 bis 35	hellorange	> 34 bis 35	—	
> 35 bis 36	orange	> 35 bis 36	—	
> 36 bis 37	rot-orange	> 36 bis 37	==	Grenze der Planungsräume
> 37 bis 38	rot	> 37 bis 38	==	Bundesautobahn
> 38 bis 39	rot-orange	> 38 bis 39	—	
> 39 bis 40	rot	> 39 bis 40	—	
> 40	rot	> 40	—	

VORGEHEN ZUR ERMITTLUNG DER BETROFFENHEIT AM TAG

Verschneidung und Klassifizierung für die Belastungssituation am Tag
Sensitivitätsanalyse menschliche Gesundheit (→ Modul 4): wie oben beschrieben.

Verteilung der Wärme im Stadtgebiet – Belastung am Tag (auf Basis von → Baustein 1.2):

- Verteilung der gefühlten Temperatur um 16 Uhr
- Einstufung der thermischen Belastung am Tag nach VDI 3787 Blatt 2 (siehe mögliche Klassifizierung und Einstufung in → Baustein 1.2)
- relevant für die Verschneidung sind die vier Klassen, denen eine Wärmebelastung zugeordnet wird (gefühlte Temperatur ≥ 20 °C).

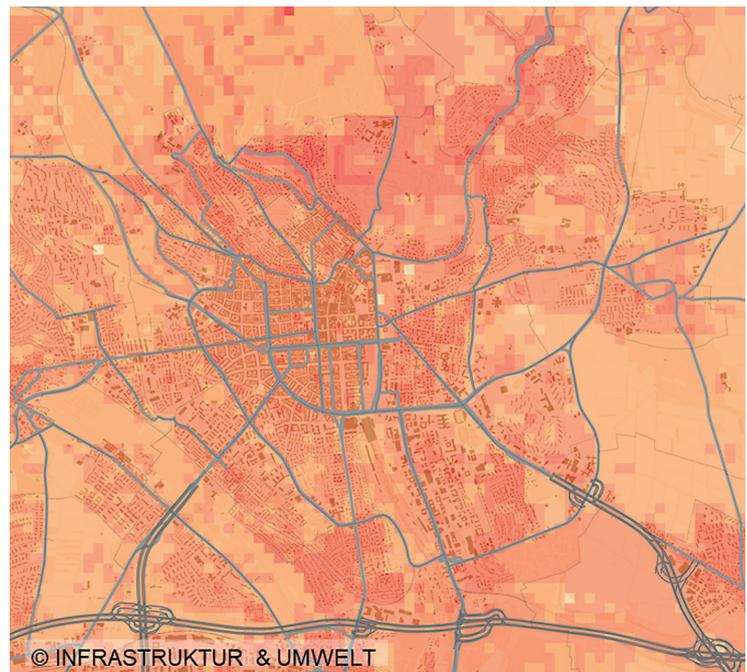


Abbildung 53: Beispieldarstellung – Gefühlte Temperatur um 16 Uhr in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)

Mögliche Klassifizierung und Einstufung Belastungssituation am Tag

Die Ergebnisse der Einstufung der Wärme im Stadtgebiet und der Einstufung der Sensitivitätsanalyse der menschlichen Gesundheit werden anhand einer Matrix zur Einstufung der Betroffenheit am Tag (siehe Abbildung 54) miteinander verschneidet.

BAUSTEIN 5.2: BETROFFENHEIT IN DER GEGENWART

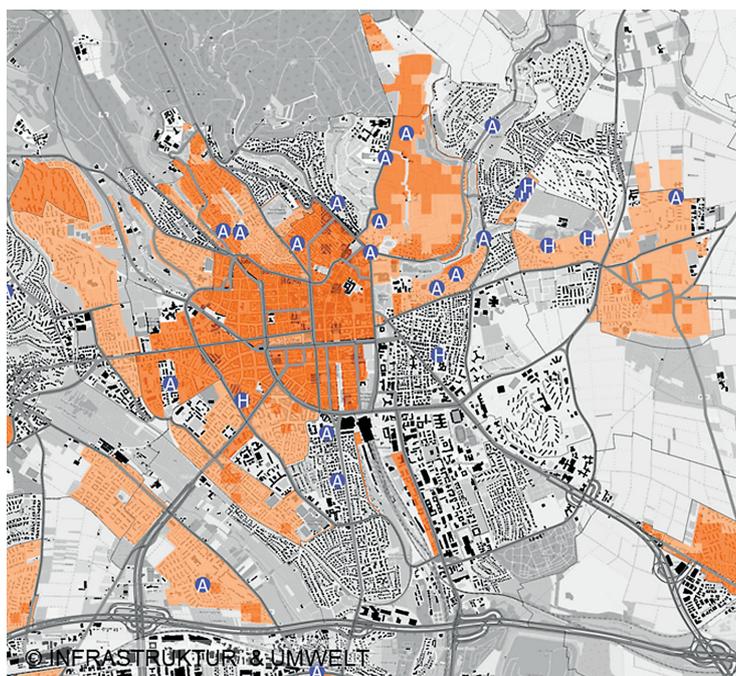


		Sensitivitätsgrad aus der Kombination der Indikatoren Hochaltrigen-, Kinder- und Amutsdichte			
		extrem sensitiv	hoch sensitiv	sensitiv	weniger sensitiv*
Gefühlte Temperatur 16 Uhr	≥ 38°C	sehr hohe Betroffenheit (Tag)	sehr hohe Betroffenheit (Tag)	hohe Betroffenheit (Tag)	-
	32°C bis 38°C	hohe Betroffenheit (Tag)	hohe Betroffenheit (Tag)	mittlere Betroffenheit (Tag)	-
	26°C bis 32°C	mittlere Betroffenheit (Tag)	niedrige Betroffenheit (Tag)	niedrige Betroffenheit (Tag)	-
	< 26°C	(In Gebieten mit einer gefühlten Temperatur unter 26°C ist selbst für extrem sensitive Bevölkerungsgruppen keine Betroffenheit in Bezug auf Hitzebelastung festzustellen.)			

*Mit der Betroffenheitsanalyse werden Gebiete identifiziert, in denen unter dem Aspekt menschliche Gesundheit prioritär Handlungsbedarf besteht. Weniger sensitive Bevölkerungsgruppen bleiben daher unberücksichtigt.

Abbildung 54: Matrix für die Ermittlung der Betroffenheit tags (Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 55 zeigt eine beispielhafte Darstellung der Betroffenheit am Tag (weitere Erläuterungen unter „kartografische Darstellung“).



Beurteilung der Betroffenheit durch Verschneidung der gefühlten Temperatur um 16 Uhr mit dem Sensitivitätsgrad der Bevölkerung

- sehr hohe Betroffenheit (Tag)
- hohe Betroffenheit (Tag)
- mittlere Betroffenheit (Tag)
- niedrige Betroffenheit (Tag) – Anmerkung: Klasse für Beispieldarstellung nicht relevant

Soziale Einrichtungen

- Krankenhaus
- Pflegeheim

- Grenze der Planungsräume
- Bundesautobahn
- Hauptstraße

Abbildung 55: Beispieldarstellung – Betroffenheit am Tag in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)

BAUSTEIN 5.2: BETROFFENHEIT IN DER GEGENWART



KARTOGRAFISCHE DARSTELLUNG

Karteninhalt: Verteilung der Betroffenheit der Bevölkerung und Hinweise zur räumlichen Orientierung, wie Hinterlegung topografischer Merkmale (z. B. bebauten Gebiete).

Zusätzlich wird empfohlen, soziale Einrichtungen, in denen sich gefährdete Personen auch nachts aufhalten, mindestens in den Belastungsgebieten B1 (bioklimatisch hoch belastet) und B2 (bioklimatisch belastet) darzustellen (mit 50 m Puffer) oder alternativ im gesamten Stadtgebiet (siehe Beispieldarstellungen).

Abbildung 56 zeigt eine beispielhafte Darstellung der Betroffenheit in der Nacht.

Beurteilung der Betroffenheit durch Verschneidung der Belastungsgebiete mit dem Sensitivitätsgrad der Bevölkerung

- sehr hohe Betroffenheit (Nacht)
- hohe Betroffenheit (Nacht)
- mittlere Betroffenheit (Nacht)
- niedrige Betroffenheit (Nacht)

Soziale Einrichtungen

- Krankenhaus
- Pflegeheim

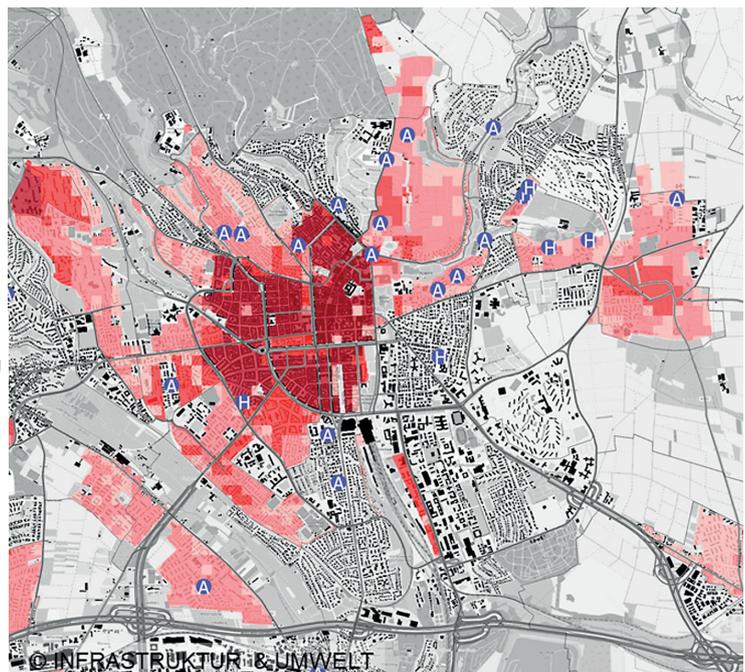
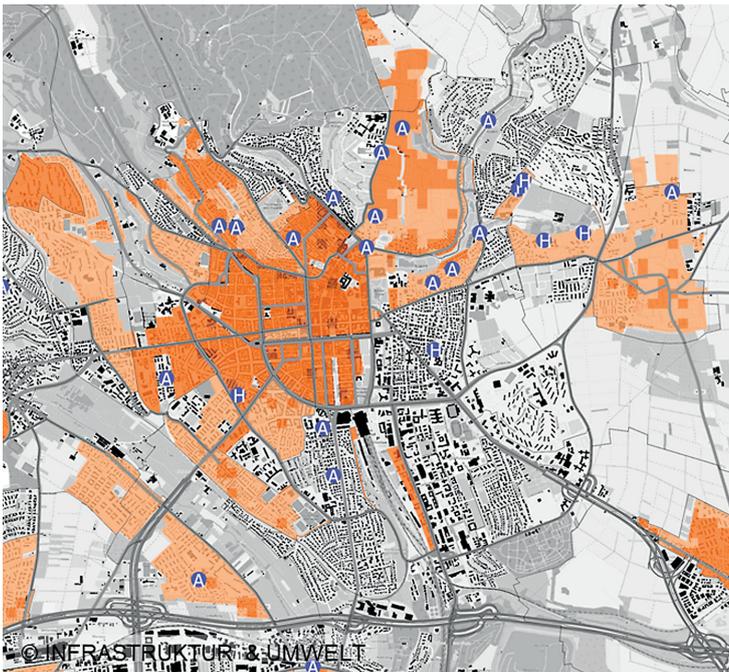


Abbildung 56: Beispieldarstellung – Betroffenheit in der Nacht in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)

BAUSTEIN 5.2: BETROFFENHEIT IN DER GEGENWART



Abbildung 57 zeigt eine beispielhafte Darstellung der Betroffenheit am Tag.



Beurteilung der Betroffenheit durch Verschneidung der gefühlten Temperatur um 16 Uhr mit dem Sensitivitätsgrad der Bevölkerung

- sehr hohe Betroffenheit (Tag)
- hohe Betroffenheit (Tag)
- mittlere Betroffenheit (Tag)
- niedrige Betroffenheit (Tag) – Anmerkung: Klasse für Beispielfkarte nicht relevant

Soziale Einrichtungen

- H Krankenhaus
- A Pflegeheim

Abbildung 57: Beispieldarstellung – Betroffenheit am Tag in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)

EMPFEHLUNGEN

Gebiete mit sehr hoher Betroffenheit: Stadtplanerische Maßnahmen zur Reduktion der Belastung sollten ergriffen werden, wie beispielsweise die Verschattung öffentlicher Plätze und Fußgängerzonen, (Dach-) Begrünung oder energetische Gebäudesanierungen. Zusätzliche Belastungen sind unbedingt zu vermeiden, in diesen Gebieten sollte insbesondere keine bauliche Verdichtung mehr stattfinden. Maßnahmen zur Prävention gefährdeter und besonders schützenswerter Bevölkerungsgruppen im Rahmen der kommunalen Gesundheitsförderung sind hier prioritär umzusetzen. Während Hitzeextremen sind im Rahmen der Gefahrenabwehr kühle Räume zur Verfügung zu stellen und ggf. gefährdete Bevölkerungsgruppen zu evakuieren.

Gebiete mit hoher Betroffenheit: In diesen Gebieten sollte durch stadtplanerische Maßnahmen die bestehende Belastung reduziert werden: z. B. durch eine Verbesserung der Durchgrünung, Verminderung der Versiege-

BAUSTEIN 5.2: BETROFFENHEIT IN DER GEGENWART



lung etc. Bestehende Grünstrukturen sind zu erhalten. Maßnahmen zur Prävention gefährdeter und besonders schützenswerter Bevölkerungsgruppen sind im Rahmen der kommunalen Gesundheitsförderung so weit wie möglich umzusetzen. Während Hitzeextremen sind im Rahmen der Gefahrenabwehr diese Gebiete in zweiter Priorität zu berücksichtigen.

Gebiete mit mittlerer Betroffenheit: Stadtplanerische Maßnahmen zur Vermeidung einer Zunahme der Belastung sollten ergriffen werden. Soweit es bestehende Belüftungswege und funktionale Verbindungen zu Ausgleichsräumen gibt, sind diese zu schützen und in ihrer Funktion zu erhalten. Im Rahmen der Prävention sind hier allgemeine Aufklärungskampagnen hinreichend. Während Hitzeextremen sind im Rahmen der Gefahrenabwehr diese Gebiete in dritter Priorität zu berücksichtigen.

Konkrete Planungshinweise finden Sie im [↪ Modul 3](#).

BAUSTEIN 5.3: POTENZIELLE BETROFFENHEIT IN DER ZUKUNFT



EINLEITUNG UND ZIELE

Planung ist ein in die Zukunft gerichteter Prozess. Neben der Feststellung der aktuellen Situation im Stadtgebiet spielen daher immer auch Überlegungen und Szenarien für die Zukunft eine Rolle. Hinsichtlich der künftigen Entwicklung der Betroffenheit der Bevölkerung durch temperaturbedingte Auswirkungen des Klimawandels sind die beiden Zukunftsszenarien aus dem [↪ Modul 2](#) und [4](#) von Bedeutung:

- Entwicklung der künftigen Sensitivität (Zukunftsszenario zur Hochaltrigendichte, siehe [↪ Baustein 4.5](#)) sowie
- Verteilung der Tropennächte in der Zukunft im Stadtgebiet (siehe [↪ Baustein 2.4](#))

Mit diesen Analysen können jeweils nur Hinweise auf mögliche künftige Entwicklungen gegeben werden. Diese können aber für die Planung insofern wichtige Anhaltspunkte liefern, dass deutlich wird, in welchen Gebieten bei unverändertem Trend der Entwicklung künftig Probleme aufgrund einer Steigerung der Sensitivität bzw. Steigerung der Wärmebelastung zu erwarten sind.

ERLÄUTERUNG UND EIGNUNG

Für die Beurteilung zukünftiger Belastungen kann die Verteilung der Anzahl der klimatologischen Kenntage Sommertage, Heiße Tage und Tropennächte herangezogen werden.

Zur Darstellung der projizierten Belastung in der Nacht wird die Anzahl der Tropennächte vorgeschlagen, da diese am ehesten der Nachtsituation entspricht. Die Verwendung der Heißen Tage entspricht am ehesten der Tagsituation, wobei die Modellierungsergebnisse für die Tropennächte ungenauer sind als für die Heißen Tage.

Für die Bestimmung der potenziellen Betroffenheit ist insbesondere die zukünftige Exposition der Bevölkerung entscheidend, also das räumliche Vorkommen der stadtklimatischen Belastung in der Periode 2031 bis 2060. Die Betroffenheit der sensitiven Bevölkerung in Gebieten mit einer potenziell überdurchschnittlichen Anzahl an Tropennächten ist grundsätzlich höher zu beurteilen als in Gebieten mit einer potenziell unterdurchschnittlichen Anzahl an Tropennächten.

Einschränkung: Durch die relative Bewertung und durch die Verwendung unterschiedlicher Eingangsparameter für Gegenwart (gefühlte Temperatur um 4 Uhr nachts/um 16 Uhr) und Zukunft (Anzahl der Tropennächte/Heißen Tage pro Jahr) ergibt sich eine räumlich unterschiedliche Bewertung der „Belastung“.

Klimatologischer Kenntag

„ein Tag, an dem ein definierter Schwellenwert eines klimatischen Parameters erreicht beziehungsweise über- oder unterschritten wird oder ein Tag, an dem ein definiertes meteorologisches Phänomen auftrat (z. B. Gewittertag als Tag, an dem irgendwann am Tag ein Gewitter (hörbarer Donner) auftrat).“
(DWD 2016)

Tropennacht ist eine Nacht (18 bis 06 UTC), in der das Minimum der Lufttemperatur $\geq 20^\circ\text{C}$ beträgt
(DWD 2016).

Heißer Tag ist ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur $\geq 30^\circ\text{C}$ beträgt (DWD 2016).

BAUSTEIN 5.3: POTENZIELLE BETROFFENHEIT IN DER ZUKUNFT



Das heißt zum Beispiel für die Nachtsituation, wenn heute belastete Gebiete anhand der gefühlte Temperatur um 4 Uhr nachts ermittelt werden, können sich bei der Einstufung für die Zukunft anhand von Tropennächten andere Gebietskulissen ergeben. Dementsprechend kann in heute hoch belasteten Gebieten B1 das Auftreten von für die Zukunft projizierten Tropennächten dennoch als selten bewertet werden. Das ist aufgrund der unterschiedlichen Eingangsdaten (gefühlte Temperatur oder Anzahl von Kenntagen pro Jahr) erklärbar, aber als Karte nur schwer vermittelbar. Daher wird empfohlen, für die Zukunft explizit von der Einstufung der Wärmebelastung anhand der durchschnittlichen Anzahl der Tropennächte pro Jahr zu sprechen und nicht von „Belastungsgebieten“. Analog gilt dieser Sachverhalt auch für die Heißen Tage. Für vergleichbare Darstellungen zwischen Gegenwart und Zukunft sollte auf Kenntage zurückgegriffen werden, da nur für diese Modellierungsergebnisse für die Referenzperiode und die Projektion vorliegen.

VORGEHEN

Relevante Daten

- Sensitivitätsanalyse menschliche Gesundheit – Zukunft (→ **Modul 4**)
- Verteilung der projizierten mittleren Anzahl der Tropennächte pro Jahr in der Zukunft (→ **Modul 2**)
- Verteilung der projizierten mittleren Anzahl der Heißen Tage pro Jahr in der Zukunft (→ **Modul 2**)

BAUSTEIN 5.3: POTENZIELLE BETROFFENHEIT IN DER ZUKUNFT



VORGEHEN ZUR ERMITTLUNG DER ZUKÜNFTIG MÖGLICHEN BETROFFENHEIT IN DER NACHT

Verschneidung und Klassifizierung für die Belastungssituation der Nacht – Zukunft

Sensitivitätsanalyse menschliche Gesundheit – Zukunft (→ Modul 4):

- räumliche Konzentration sensibler Bevölkerungsgruppen für den Indikator Hochaldrigendichte für ein Zukunftsszenario; die Bewertung erfolgt auf Basis der Klassengrenzen von 2016.
- relevant für die Verschneidung ist die Bewertung für die höchsten drei Stufen der Sensitivität: extrem sensitiv, hoch sensitiv, sensitiv.¹²

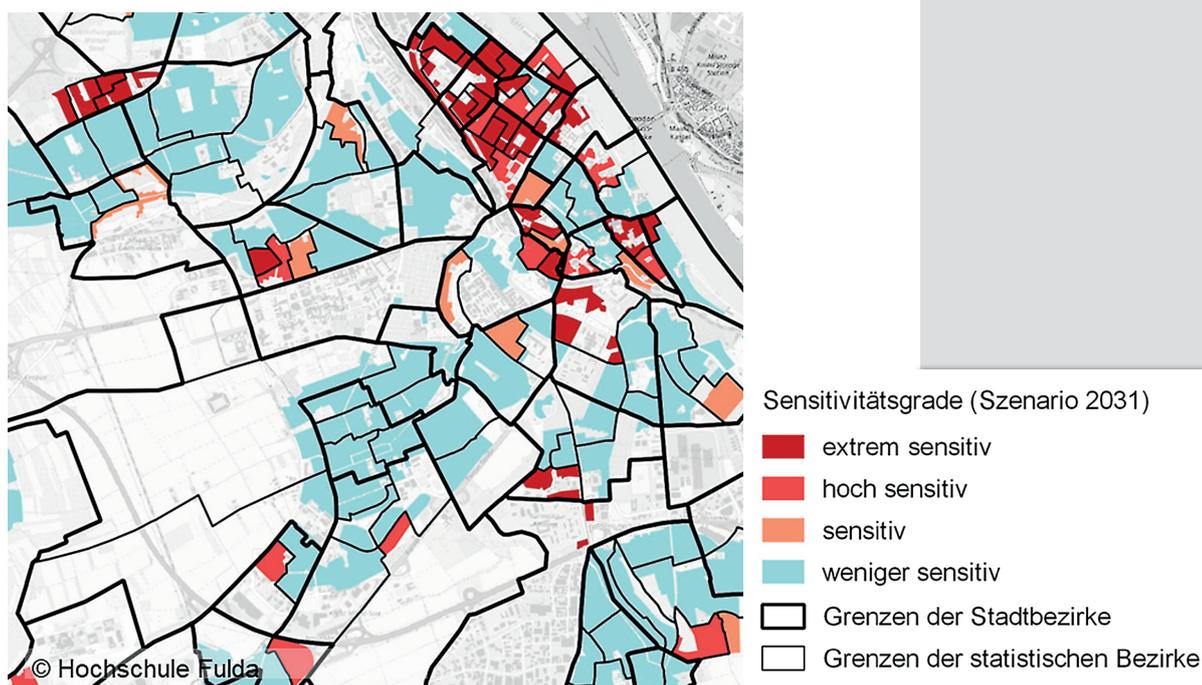


Abbildung 58: Beispieldarstellung – Hochaldrigendichte mit Sensitivitätsgrad in der Zukunft in Mainz (Quelle: eigene Darstellung)

¹²Mit der Betroffenheitsanalyse werden Gebiete identifiziert, in denen unter dem Aspekt menschliche Gesundheit prioritär Handlungsbedarf besteht. Weniger sensitive Bevölkerungsgruppen bleiben daher unberücksichtigt.

BAUSTEIN 5.3: POTENZIELLE BETROFFENHEIT IN DER ZUKUNFT



Mittlere Anzahl der Tropennächte pro Jahr – Zukunft (→ **Modul 2**):

- Verteilung der projizierten mittleren Anzahl der Tropennächte pro Jahr in der Zukunft und Einstufung der Belastung durch relative Bewertung für die Zukunft (siehe mögliche Klassifizierung und Einstufung in → **Baustein 2.4**).
- relevant für die Verschneidung sind alle vier Klassen: sehr häufig, häufig, selten, sehr selten

Relative Einstufung der durchschnittlichen Anzahl der Tropennächte pro Jahr

- Sehr seltenes Auftreten von Tropennächten
- Seltenes Auftreten von Tropennächten
- Häufiges Auftreten von Tropennächten
- Sehr häufiges Auftreten von Tropennächten
- Grenze der Planungsräume
- Gewerbegebiete, Sondergebiete, sowie Flächen für Ver- und Entsorgung
- Bundesautobahn
- Hauptstraße

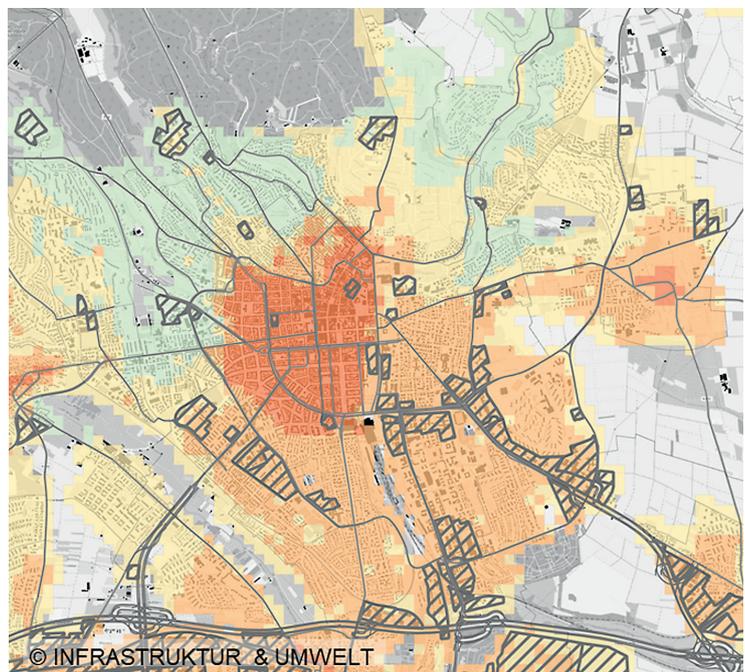


Abbildung 59: Beispieldarstellung – Einstufung der Tropennächte – Zukunft 2031–2060 in Wiesbaden (75. Perzentil)
(Quelle: eigene Abbildung)

Mögliche Klassifizierung und Einstufung Belastungssituation der Nacht – Zukunft

Die Ergebnisse der Einstufung der Wärme im Stadtgebiet (Zukunft – Tropennächte) und der Einstufung der Sensitivitätsanalyse der menschlichen Gesundheit (Szenario) werden anhand einer Matrix zur Einstufung der potenziellen Betroffenheit in der Nacht (Zukunft) (siehe Abbildung 60) miteinander verschneitten.

**BAUSTEIN 5.3:
POTENZIELLE BETROFFENHEIT IN DER ZUKUNFT**



		Szenario Sensitivitätsgrad auf Basis der Hochaldrigendichte 2031			
		extrem sensitiv	hoch sensitiv	sensitiv	weniger sensitiv*
Auftreten von Tropennächten (Zukunft 2031-2060)	sehr häufig	potenziell sehr hohe Betroffenheit (Zukunft Nacht)	potenziell sehr hohe Betroffenheit (Zukunft Nacht)	potenziell hohe Betroffenheit (Zukunft Nacht)	-
	häufig	potenziell hohe Betroffenheit (Zukunft Nacht)	potenziell starke Betroffenheit (Zukunft Nacht)	potenziell mittlere Betroffenheit (Zukunft Nacht)	-
	selten	potenziell mittlere Betroffenheit (Zukunft Nacht)	potenziell niedrige Betroffenheit (Zukunft Nacht)	potenziell niedrige Betroffenheit (Zukunft Nacht)	-
	sehr selten	(In Gebieten, in denen Tropennächte sehr selten auftreten, ist selbst für extrem sensitive Bevölkerungsgruppen keine Betroffenheit in Bezug auf Hitzebelastung festzustellen.)			

*Mit der Betroffenheitsanalyse werden Gebiete identifiziert, in denen unter dem Aspekt menschliche Gesundheit prioritär Handlungsbedarf besteht. Weniger sensitive Bevölkerungsgruppen bleiben daher unberücksichtigt.

Abbildung 60: Matrix für die Ermittlung der potenziellen Betroffenheit nachts (Zukunft) (Quelle: eigene Abbildung)

Abbildung 61 zeigt eine beispielhafte Darstellung der Betroffenheit in der Nacht (weitere Erläuterungen unter „kartografische Darstellung“).

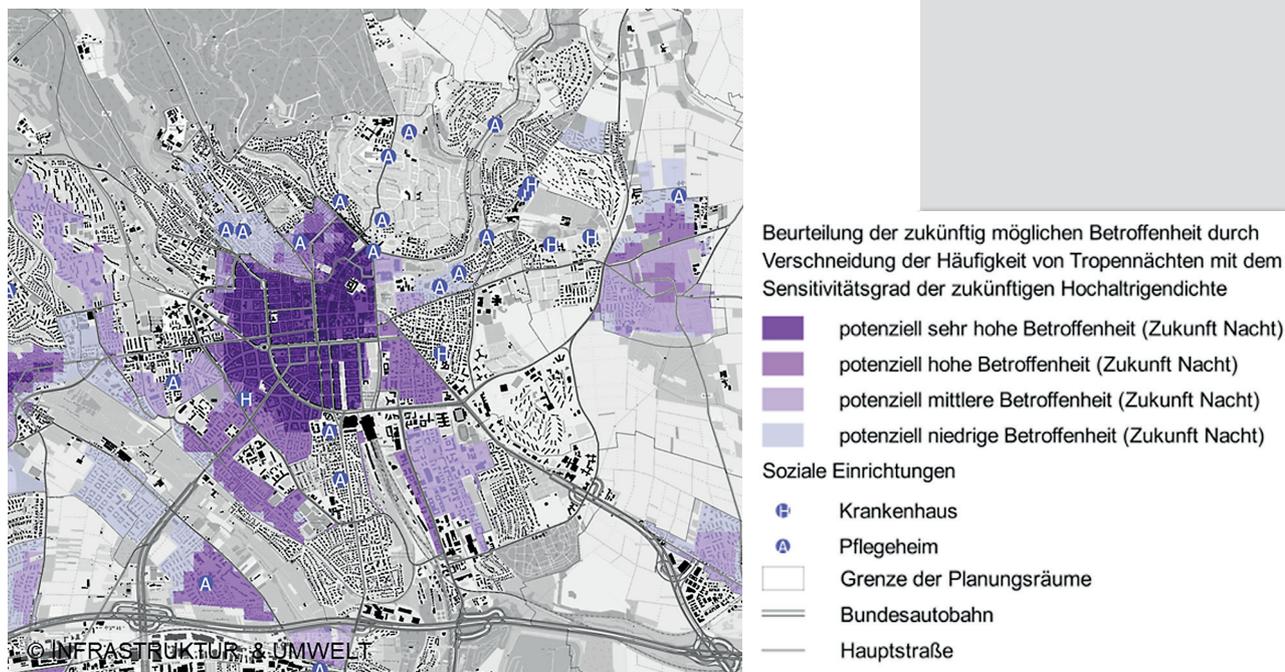


Abbildung 61: Beispieldarstellung – Einstufung der potenziellen Betroffenheit der Bevölkerung nachts in der Zukunft in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)

BAUSTEIN 5.3: POTENZIELLE BETROFFENHEIT IN DER ZUKUNFT



VORGEHEN ZUR ERMITTLUNG DER ZUKÜNFTIG MÖGLICHEN BETROFFENHEIT AM TAG

Verschneidung und Klassifizierung für die Belastungssituation am Tag – Zukunft

Sensitivitätsanalyse menschliche Gesundheit (➔ **Modul 4**): wie oben beschrieben.

Mittlere Anzahl der Heißen Tage pro Jahr – Zukunft (➔ **Modul 2**):

- Verteilung der projizierten mittleren Anzahl der Heißen Tage pro Jahr in der Zukunft
- Einstufung der Belastung durch relative Bewertung (siehe mögliche Klassifizierung und Einstufung in ➔ **Baustein 2.4**)
- relevant für die Verschneidung sind alle vier Klassen: sehr häufig, häufig, selten, sehr selten

Relative Einstufung der durchschnittlichen Anzahl der Heißen Tage pro Jahr

- Sehr häufiges Auftreten von Heißen Tagen
- Häufiges Auftreten von Heißen Tagen
- Seltenes Auftreten von Heißen Tagen
- Sehr seltenes Auftreten von Heißen Tagen
- Grenze der Planungsräume
- Gewerbegebiete, Sondergebiete, sowie Flächen für Ver- und Entsorgung
- Bundesautobahn
- Hauptstraße

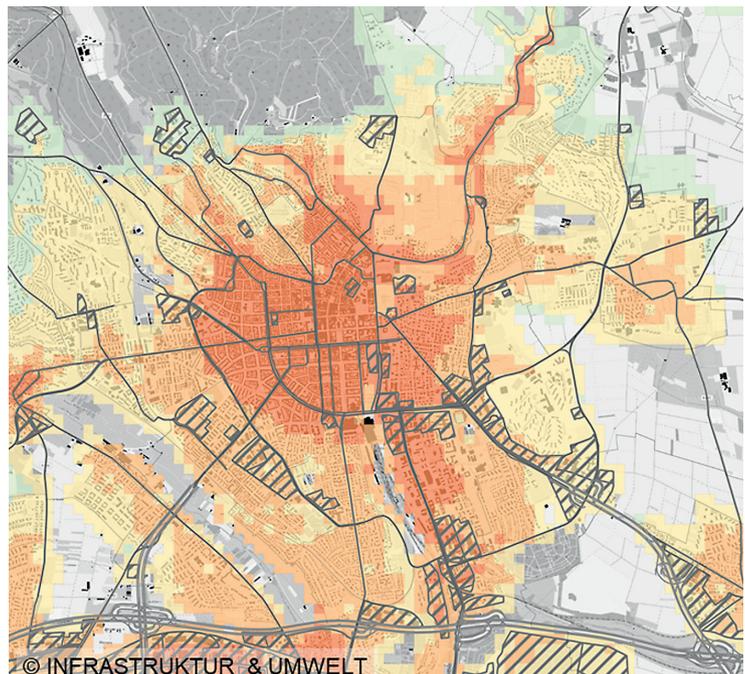


Abbildung 62: Beispieldarstellung – Einstufung der Heißen Tage – Zukunft 2031–2060 in Wiesbaden (75. Perzentil)
(Quelle: eigene Darstellung)

Mögliche Klassifizierung und Einstufung Belastungssituation am Tag – Zukunft

Die Ergebnisse der Einstufung der Wärme im Stadtgebiet (Zukunft – Heiße Tage) und der Einstufung der Sensitivitätsanalyse der menschlichen Gesundheit (Szenario) werden anhand einer Matrix zur Einstufung der potenziellen Betroffenheit am Tag (Zukunft) (siehe Abbildung 63) miteinander verschneitten.



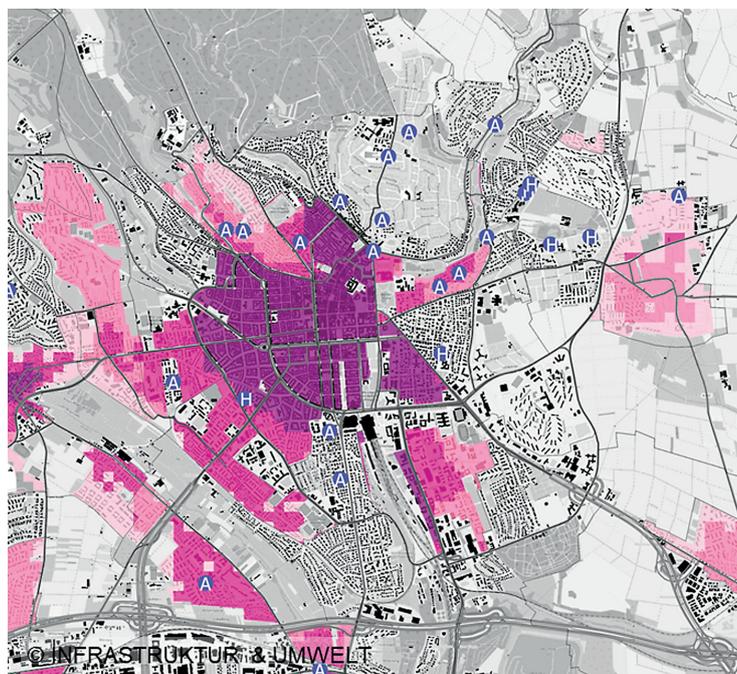
BAUSTEIN 5.3: BETROFFENHEIT IN DER GEGENWART

		Szenario Sensitivitätsgrad auf Basis der Hochaltrigendichte 2031			
		extrem sensitiv	hoch sensitiv	sensitiv	weniger sensitiv*
Auftreten von Heißen Tagen (Zukunft 2031-2060)	sehr häufig	potenziell sehr hohe Betroffenheit (Zukunft Tag)	potenziell sehr hohe Betroffenheit (Zukunft Tag)	potenziell hohe Betroffenheit (Zukunft Tag)	-
	häufig	potenziell hohe Betroffenheit (Zukunft Tag)	potenziell hohe Betroffenheit (Zukunft Tag)	potenziell mittlere Betroffenheit (Zukunft Tag)	-
	selten	potenziell mittlere Betroffenheit (Zukunft Tag)	potenziell niedrige Betroffenheit (Zukunft Tag)	potenziell niedrige Betroffenheit (Zukunft Tag)	-
	sehr selten	(In Gebieten, in denen Heiße Tage sehr selten auftreten, ist selbst für extrem sensitive Bevölkerungsgruppen keine Betroffenheit in Bezug auf Hitzebelastung festzustellen.)			

*Mit der Betroffenheitsanalyse werden Gebiete identifiziert, in denen unter dem Aspekt menschliche Gesundheit prioritär Handlungsbedarf besteht. Weniger sensitive Bevölkerungsgruppen bleiben daher unberücksichtigt.

Abbildung 63: Matrix für die Ermittlung der potenziellen Betroffenheit tags (Zukunft) (Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 64 zeigt eine beispielhafte Darstellung der Betroffenheit am Tag (weitere Erläuterungen unter „kartografische Darstellung“).



Beurteilung der zukünftig möglichen Betroffenheit durch Verschneidung der Häufigkeit von Heißen Tagen mit dem Sensitivitätsgrad der zukünftigen Hochaltrigendichte

- potenziell sehr hohe Betroffenheit (Zukunft Tag)
- potenziell hohe Betroffenheit (Zukunft Tag)
- potenziell mittlere Betroffenheit (Zukunft Tag)
- potenziell niedrige Betroffenheit (Zukunft Tag)

Soziale Einrichtungen

- Krankenhaus
- Pflegeheim
- Grenze der Planungsräume
- Bundesautobahn
- Hauptstraße

Abbildung 64: Beispieldarstellung – Einstufung der potenziellen Betroffenheit der Bevölkerung tags in der Zukunft in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)

**BAUSTEIN 5.3:
POTENZIELLE BETROFFENHEIT IN DER ZUKUNFT**



KARTOGRAFISCHE DARSTELLUNG

Karteninhalt: Verteilung der Betroffenheit der Bevölkerung und Hinweise zur räumlichen Orientierung, wie Hinterlegung topografischer Merkmale (z. B. bebaute Gebiete).

Beurteilung der zukünftig möglichen Betroffenheit durch Verschneidung der Häufigkeit von Tropennächten mit dem Sensitivitätsgrad der zukünftigen Hochaldrigendichte

- potenziell sehr hohe Betroffenheit (Zukunft Nacht)
- potenziell hohe Betroffenheit (Zukunft Nacht)
- potenziell mittlere Betroffenheit (Zukunft Nacht)
- potenziell niedrige Betroffenheit (Zukunft Nacht)

Soziale Einrichtungen

- H Krankenhaus
- A Pflegeheim
- Grenze der Planungsräume
- Bundesautobahn
- Hauptstraße

Hinweis

Zusätzlich können bestehende soziale Einrichtungen dargestellt werden, wobei klar gemacht werden muss, dass sich die Verortung auf die Gegenwart bezieht, während die Verschneidung auf projizierten Werten und Zukunftsszenarien beruht.

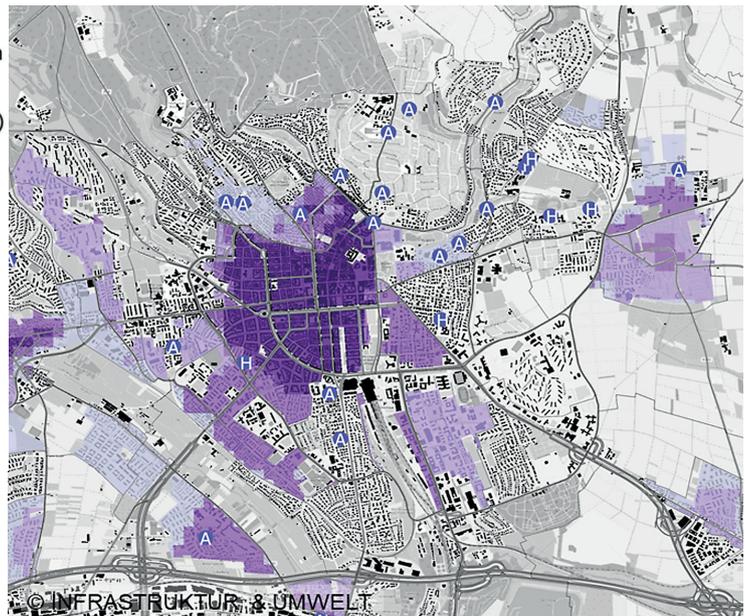


Abbildung 65: Beispieldarstellung – Einstufung der potenziellen Betroffenheit der Bevölkerung nachts in der Zukunft in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)

Beurteilung der zukünftig möglichen Betroffenheit durch Verschneidung der Häufigkeit von Heißen Tagen mit dem Sensitivitätsgrad der zukünftigen Hochaldrigendichte

- potenziell sehr hohe Betroffenheit (Zukunft Tag)
- potenziell hohe Betroffenheit (Zukunft Tag)
- potenziell mittlere Betroffenheit (Zukunft Tag)
- potenziell niedrige Betroffenheit (Zukunft Tag)

Soziale Einrichtungen

- H Krankenhaus
- A Pflegeheim
- Grenze der Planungsräume
- Bundesautobahn
- Hauptstraße

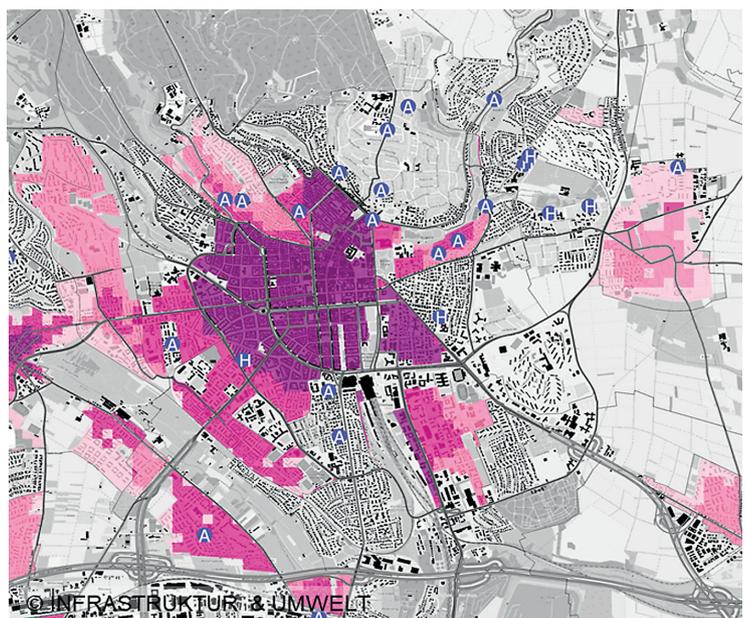


Abbildung 66: Beispieldarstellung – Einstufung der potenziellen Betroffenheit der Bevölkerung tags in der Zukunft in Wiesbaden (Quelle: eigene Darstellung)

BAUSTEIN 5.3: POTENZIELLE BETROFFENHEIT IN DER ZUKUNFT



EMPFEHLUNGEN

Gebiete mit potenziell sehr hoher Betroffenheit in der Zukunft: Bei allen geplanten Vorhaben zur Entwicklung dieser Gebiete sind zwingend stadtplanerische Maßnahmen zur Reduktion der Belastung zu ergreifen. Dazu gehört beispielsweise die Verbesserung der Verschattung öffentlicher Plätze und Fußgängerzonen, eine Steigerung des Anteils von (Dach-) Begrünungen oder energetische Gebäudesanierungen. Eine weitere Verdichtung der Bebauung ist in diesen Gebieten unbedingt zu vermeiden. Eine Ansiedlung sensibler Bevölkerungsgruppen in diesen Gebieten sollte vermieden werden, beispielsweise bei der Standortwahl für Einrichtungen der Altenpflege, Kindergärten, Krankenhäuser etc.

Gebiete mit potenziell hoher Betroffenheit in der Zukunft: Bei geplanten Vorhaben zur Entwicklung dieser Gebiete sollten Maßnahmen zur Reduzierung von Belastungen vorgesehen werden. Dazu gehört eine Verbesserung der Durchgrünung der Gebiete ebenso wie eine Vermeidung zusätzlicher Versiegelungen. Soweit möglich, sollte eine Ansiedlung von sensiblen Bevölkerungsgruppen in diesen Gebieten vermieden werden, z. B. bei der Standortwahl für Einrichtungen der Altenpflege.

Gebiete mit potenziell mittlerer Betroffenheit in der Zukunft: Stadtplanerische Maßnahmen zur Vermeidung einer Zunahme der Belastung sollten ergriffen werden.

Konkrete Planungshinweise finden sich im [↪ Modul 3](#).

Plausibilisierung und Prüfung durch die Kommune

Die vorgestellten Ansätze zur Aufbereitung verschiedener Analysen sind in diesem Handlungsleitfaden durch Beispieldarstellungen der KLIMPRAX-Modellkommunen ergänzt. Die vorgeschlagenen Vorgehensweisen und Abbildungen zeigen mögliche Methoden, um zu einer automatisierten Beurteilung zu kommen. Alle Ergebnisse sind durch Sie vor Ort zu prüfen und zu plausibilisieren.

6 Weiterführende Informationen

Im Rahmen des Projekts KLIMPRAX Stadtklima wurden unterschiedliche Aspekte bearbeitet, die für die Berücksichtigung stadtklimatischer Belange in Planungsprozessen relevant sind. Bereits veröffentlichte Ergebnisse des KLIMPRAX Stadtklima-Projekts wurden für den Handlungsleitfaden aufbereitet und darin integriert (siehe Abb. 61). Die wichtigsten Erkenntnisse daraus wurden im Handlungsleitfaden vertieft behandelt:

- Leitfaden für Kommunen „Anforderungen an die Berücksichtigung klimarelevanter Belange in kommunalen Planungsprozessen“ (HLNUG 2017a) sowie die darauf aufbauende Broschüre „Hitze in der Stadt und kommunale Planung“ (HLNUG 2017b) (Kapitel 3),
- Bericht des DWD „Modellbasierte Analyse des Stadtklimas als Grundlage für die Klimaanpassung am Beispiel von Wiesbaden und Mainz“ (Noppel 2017) (Kapitel 4),
- „Methodenbaukasten zur Bewertung der Hitzebelastung und der Sensitivität der Bevölkerung (menschliche Gesundheit)“ des HLNUG (Kapitel 5) sowie die Datenbank „Planungshinweise“ (<https://www.hlnug.de/?id=10236>).

Der Leitfaden für Kommunen sowie der Bericht des DWD wurden in gekürzter Fassung in den Handlungsleitfaden integriert. Der Methodenbaukasten sowie die Datenbank „Planungshinweise“ sind im vorliegenden Handlungsleitfaden vollständig enthalten.

Falls Sie daran interessiert sind, können Sie die ungekürzten Originalfassungen des Handlungsleitfadens und den DWD-Bericht konsultieren.

Alle Ergebnisdokumente aus dem Projekt finden Sie unter:

<https://www.hlnug.de/?id=10236>



Abbildung 67: Inhalte des Handlungsleitfadens: Planungsleitfaden für Kommunen (HLNUG 2017a), Stadtklimaanalyse (Noppel 2017) und Methodenbaukasten

7 Glossar

Anfälligkeit

Siehe Sensitivität

Anpassung an den Klimawandel

beinhaltet „Initiativen und Maßnahmen, um die Empfindlichkeit natürlicher und menschlicher Systeme gegenüber tatsächlichen oder erwarteten Auswirkungen des Klimawandels zu verringern. Es können verschiedene Arten von Anpassungen unterschieden werden, darunter vorausschauende und reaktive, private und öffentliche, autonome und geplante Maßnahmen.“ (UBA o.J.)

Anpassungsfähigkeit bzw. Anpassungskapazität

bezeichnet das Vermögen (mit Fähigkeiten, Ressourcen oder institutionellen Kapazitäten) eines Systems, sich den Folgen des Klimawandels anzupassen und dessen Auswirkungen abzufedern, dessen Chancen wahrzunehmen und mit etwaigen Risiken adäquat umzugehen. Durch wirksame Anpassungsmaßnahmen kann die Vulnerabilität reduziert werden. (Bundesregierung 2011)

Anpassungsstrategien

„sind langfristig angelegte planerische Vorhaben, Konzepte oder Verhaltensweisen einschließlich der zu ihrer Umsetzung eingesetzten Instrumente und Maßnahmen, um Nachteile von tatsächlichen oder erwarteten Klimaveränderungen mit deren Folgen zu mindern und Vorteile zu nutzen“ (Birkmann et al. 2013: 196). Das Ziel einer Anpassungsstrategie ist häufig die Abwendung bzw. Minimierung von Gefahren oder Schäden, wobei eine sukzessive Weiterentwicklung der Strategie von wesentlicher Bedeutung ist (BMVBS/BBSR/BBR 2009b).

Betroffenheit

betrachtet die Klimawirkung auf ein System oder Handlungsfeld (z.B. Wirtschaftssektor, Bevölkerungsgruppe, Ökosystem) unter Berücksichtigung der jeweiligen Sensitivität und des räumlichen Vorkommens (vgl. UBA 2017: S. 10). Die Betroffenheit der Bevölkerung im Stadtgebiet ist also das Ergebnis der dort vorliegenden temperaturbedingten Folgen des Klimawandels (Exposition) und der Sensitivität der Bevölkerung (UBA 2017).

Bioklima

beschreibt „die Gesamtheit aller atmosphärischen Einflussgrößen auf den menschlichen Organismus. Entsprechend ihrer Ausprägung und Wirkung werden sie als belastend, schonend oder als Reiz empfunden.“ (DWD 2016).

Box-Whisker-Plot

„[...] auch Boxplot oder Kastendiagramm. Ein gebräuchlicher Diagrammtyp, der fünf Kennwerte einer statistischen Verteilung in einer Abbildung darstellt. Die Box umfasst die mittleren 50 % der Verteilung (reicht also vom 25. bis zum 75. Perzentil). Der Median wird durch eine Linie innerhalb der Box markiert. Die Spannweite vom Minimum bis zum Maximum der Verteilung oder z. B. vom 5. bis 95. Perzentil werden in Form von aus der Box herausragende „Antennen“ oder „whisker“ (engl. für „Schnurrhaare“) wiedergegeben.“ (Noppel 2017: S. 93)

Contourplot

ist eine topografische Karte, in welcher drei numerische Variablen in zwei Dimensionen dargestellt werden. Die Linien stellen dabei typischerweise Höhenlinien dar.

CORINE

„Zum Programm CORINE (Coordination of Information on the Environment) der Europäischen Union gehört auch das Projekt CORINE Land Cover (CLC). Ziel dieses Projekts ist die Bereitstellung von einheitlichen und damit vergleichbaren Daten der Bodenbedeckung für Europa. Die Kartierung der Bodenbedeckung und Landnutzung wurde europaweit auf der Basis von Satellitendaten im Maßstab 1 : 100.000 und ab einer Mindestkartiereinheit (MKE) von 25 ha durchgeführt. Die Ersterfassung (CLC1990) erfolgte einheitlich nach 44 Landnutzungsklassen, von denen 37 Klassen in Deutschland relevant sind. Zu den Bezugsjahren 2000 und 2006 erfolgte eine Aktualisierung des Datenbestandes sowie die Kartierung der Veränderungen. Für das Bezugsjahr 2012 (CLC2012) stehen auch Datensätze mit einer MKE von 10 ha zur Verfügung.“ (Noppel 2017)

Dezile

unterteilen die nach der Größe geordneten Werte eines Indikators in 10 gleich stark besetzte Gruppen. So können jeweils 10% der statistischen Bezirke mit den übrigen Bezirken verglichen werden.

Evidenz

ist gegeben, wenn ein Zusammenhang nicht nur theoretisch plausibel ist, sondern auch in methodisch hochwertigen Studien empirisch nachgewiesen ist. In systematischen Übersichtsarbeiten und Metaanalysen werden dafür alle Studien zu einer Fragestellung identifiziert, in ihrer Qualität bewertet, und wenn möglich die Ergebnisse in einem statistischen Verfahren zusammengefasst.

Exposition

beschreibt in den Gesundheitswissenschaften das Ausmaß, in dem ein Mensch einer bestimmten Gesundheitsbelastung ausgesetzt ist. Die Exposition eines Menschen gegenüber Hitze im Kontext des Klimawandels ist abhängig vom Eintreffen eines Hitzeextremwetterereignisses, der Intensität und Dauer, der Intensität, mit der das Hitzeextrem eine bestimmte Region betrifft, von dem genauen Ort, an dem sich der Mensch während des Ereignisses überwiegend aufhält (z. B. im Freien oder in Räumen, im innerstädtischen Überwärmungsgebiet oder im Wald), ggf. vom thermischen Verhalten des Gebäudes, das er bewohnt bzw. in dem er sich aufhält und dem Verhalten, d. h. der Art, wie der Aufenthaltsraum beschattet und belüftet wird.

Unter Exposition werden in den Gesundheitswissenschaften damit prinzipiell Faktoren zusammengefasst, die dem klimatischen Einfluss und seinem räumlichen Vorkommen zuzuordnen sind, zum Teil aber auch der Sensitivität gegenüber dem Hitzeereignis und der Anpassungsfähigkeit von Individuen.

Zur besseren Klarheit wird im Rahmen des Projekts KLIMPRAX Stadtklima die Exposition als das Eintreten eines Hitzeereignisses in einer Region verstanden, also die Kombination von klimatischem Einfluss und räumlichem Vorkommen des Ereignisses, d. h., dem Ausmaß, in dem ein Hitzeereignis eine Stadt betrifft.

Extremwetterereignisse

zeichnen sich durch seltenes Auftreten am betrachteten Ort und zur gegebenen Zeit aus, z. B. können Starkniederschläge, Stürme und extreme Hitze als Extremwetterereignisse bezeichnet werden. Die Definition eines Extremwetterereignisses ist ortsabhängig und kann von Ort zu Ort stark variieren (Birkmann et al. 2013). Bewertet werden diese Ereignisse anhand der Jährlichkeit ihres Auftretens. Im Zuge des Klimawandels kann sich diese Jährlichkeit ändern und somit ein Zusammenhang zu veränderten klimatischen Bedingungen hergestellt werden (Stadt Jena 2012). Allerdings ist zu beachten, dass einzelne Extremwetterereignisse „ohne Kenntnis der Wahrscheinlichkeitsverteilung nicht einfach und direkt dem Klimawandel zugeordnet werden, da immer eine – wenn auch kleine – Wahrscheinlichkeit besteht, dass das betreffende Ereignis auch natürlicherweise hätte auftreten können.“ (Birkmann et al. 2013: S. 202)

Frischluf

„Je nach lufthygienischer Eigenschaft können Luftströmungen in einem Einwirkungsbereich die Luftqualität positiv oder negativ beeinflussen. Ist die Luft unbelastet von Luftschadstoffen, spricht man von Frischluft.“ (Klamis 2013: S. 55)

Frischlufentstehungsgebiet

„Frischlufentstehungsgebiete sind emissionsarme Kaltluftentstehungsgebiete, die oftmals durch einen hohen Grünanteil mit einhergehender lufthygienischer Filterfunktion gekennzeichnet sind (beispielsweise Wälder, dichtere Parkanlagen und Streuobstbereiche).“ (Regierungspräsidium Gießen 2011)

Gesundheit

wird an Mortalität (Anzahl von Todesfällen in einem bestimmten Zeitraum), Morbidität (Anzahl von Krankheitsfällen in einem bestimmten Zeitraum) oder gesundheitsbezogener Lebensqualität (Wohlbefinden und Funktionalität) gemessen. Im Kontext von Hitzeextremen liegen aus methodischen Gründen belastbare Studien vor allem zu Mortalität vor. Mortalität ist zugleich der relevanteste Endpunkt menschlicher Gesundheit. Morbiditätsrisiken werden an einzelnen Erkrankungen bestimmt, bislang meist nicht in der Summe.

Gefühlte Temperatur

„Um die thermische Umwelt gesundheitsrelevant bewerten zu können, wird beim Deutschen Wetterdienst die Gefühlte Temperatur verwendet (siehe auch Wärmebelastung). Diese basiert auf einem Wärmehaushaltsmodell des menschlichen Körpers und umfasst alle relevanten Mechanismen des Wärmeaustauschs. Dabei werden die meteorologischen Elemente Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit sowie die lang- und kurzweiligen Strahlungsflüsse berücksichtigt. Der Wärmeaustausch wird für einen Standard-Menschen modelliert (Klima-Michel-Modell). Dieser passt seine Kleidung soweit an, dass er nach Möglichkeit im thermischen Komfortbereich bleibt. Jeder Gefühlten Temperatur kann eine thermophysiologische Beanspruchung bzw. ein bestimmter Grad der Wärmebelastung zugeordnet werden.“ (Noppel 2017: S. 94)

Heißer Tag (Hitzetag)

beschreibt „einen Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur $\geq 30^\circ\text{C}$ beträgt. Ein Heißer Tag wurde früher auch als Tropentag bezeichnet. Die Anzahl der Heißen Tage ist immer \leq der Anzahl der Sommertage.“ (DWD 2016).

Hitzewelle

beschreibt ein Aufeinanderfolgen mehrerer Tage mit hohem Temperaturmaximum. Es existiert keine einheitliche Definition. Der DWD versteht unter dem Begriff Hitzewelle mindestens drei aufeinander folgende Tage, an denen das Temperaturmaximum über dem 98-Perzentil-Schwellenwert der Referenzperiode von 1961–1990 sowie über 28°C liegt (DWD 2016). Andere Quellen in Deutschland definieren eine Überschreitung der Temperaturschwelle von 30°C an mindestens fünf aufeinander folgenden Tagen als Hitzewelle (GERICS 2012).

Hitzeextrem

bezeichnet das Überschreiten einer Temperaturschwelle unabhängig von der Anzahl von Tagen, an denen dies erreicht wird. Für Hessen wurde im Projekt HEAT II anhand der Übersterblichkeit retrospektiv eine Tagesmitteltemperatur von 23°C als Temperaturschwelle ermittelt. Andere Definitionen betrachten die Tageshöchsttemperatur (siehe Hitzewelle).

Hochaltrigkeit

Es ist nicht einheitlich definiert, wann ein Mensch physisch, psychisch und sozial hochaltrig ist. Wenn von Hochaltrigkeit einer Bevölkerung gesprochen wird, wird häufig das Erreichen eines Alters von 80 Jahren als Grenze definiert. Im Zusammenhang mit dem Klimawandel und Hitzeextremen wird meist das Erreichen eines Alters von 75 Jahren als Grenze gesetzt, da ab diesem Alter in vielen, auch europäischen, Studien die Wahrscheinlichkeit von Mortalität ansteigt (u. a. Feroni et al. 2007; Benmarhina 2015). Ursache für die Übersterblichkeit ist dabei nicht unbedingt das Alter an sich, sondern die zunehmende Wahrscheinlichkeit chronischer Erkrankung, Multimorbidität und Multimedikation.

Innenentwicklung (doppelte)

zielt darauf ab, den künftigen Flächenbedarf soweit wie möglich durch innerörtliche, bereits erschlossene Flächen zu decken. Die doppelte Innenentwicklung zielt weiter darauf ab, gleichzeitig auch urbane Grünflächen zu erschaffen oder zu erhalten (Difu 2013). Zielkonflikte zwischen baulicher Verdichtung und dem Erhalt und der Entwicklung urbaner Grünflächen können durch die Umsetzung einer integrierten Strategie minimiert werden (Böhm et al. 2017).

Kaltluft (lokale)

ist „Luft, die aufgrund des Energieumsatzes an der Erdoberfläche eine niedrigere Temperatur als die Luft in der Umgebung aufweist. Die nachts durch Ausstrahlung abkühlende Erdoberfläche kühlt ihrerseits die darüber liegende bodennahe Luftschicht ab. Es handelt sich dabei um einen relativen und nicht um einen absoluten Bezug.“ (Klamis 2013: S. 56)

Kaltluftentstehungsgebiet/-leitbahn

Kaltluftentstehungsgebiete sind vor allem landwirtschaftlich genutzte Freiflächen (Wiesen, Felder, Äcker mit geringem Gehölzbestand), auf denen sich auf Grund einer negativen Strahlungsbilanz, insbesondere bei guten nächtlichen Ausstrahlungen, die Oberfläche und somit auch die darüber liegenden Luftmassen verhältnismäßig rasch abkühlen (HLNUG 2017a). Kaltluftleitbahnen transportieren kühle, aber hinsichtlich der lufthygienischen Situation nicht näher spezifizierte Luftmassen (MKULNV 2011).

Klimaanalysekarte

„Karte, die die räumlichen Klimateigenschaften wie thermische, dynamische sowie lufthygienische Verhältnisse einer Bezugsfläche darstellt, die sich aufgrund der Flächennutzung und Topografie einstellen.“ (VDI 3787 Blatt 1)

Klimaanpassung

umfasst Maßnahmen und Initiativen, die darauf abzielen, die Empfindlichkeit natürlicher und menschlicher Systeme gegenüber tatsächlichen oder erwarteten Auswirkungen des Klimawandels zu minimieren (Bundesregierung 2011).

Klima

„Das Klima ist definiert als die Zusammenfassung der Wettererscheinungen, die den mittleren Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort oder in einem mehr oder weniger großen Gebiet charakterisieren. Es wird repräsentiert durch die statistischen Gesamteigenschaften (Mittelwerte, Extremwerte, Häufigkeiten, Andauerwerte u.a.) über einen genügend langen Zeitraum. Im Allgemeinen wird ein Zeitraum von 30 Jahren zugrunde gelegt, die sog. Normalperiode, es sind aber durchaus auch kürzere Zeitabschnitte gebräuchlich.“ (DWD 2016)

Klimamodelle

„Für die Analyse der Auswirkungen der menschlichen Aktivitäten auf das Klima der Erde werden Klimamodelle [...] genutzt. [...] Mit ihnen können die beobachteten Änderungen des Klimas in der Erdgeschichte analysiert und nachvollzogen werden.“ (Noppel 2017) Klimamodelle unterscheiden sich unter anderem nach ihrer Maßstabsebene.

Tabelle 5: Klimamodelle (verändert nach Klamis 2013)

Klimamodell	Rastergröße	Untersuchungsgebiet	Beispiele
Mikroskalig	0,001 bis 0,05 km	Stadtteile, Städte	MUKLIMO_3, MIT-RAS, MISKAM
Mesoskalig	0,01 bis 2.000 km	Regionen, Städte	MUKLIMO_3, FIT-NAH, KALM, MET-RAS, KLAM_21
regional	1 bis 200 km	Regionen, Länder	REMO, CCLM, WETTREG, STAR
global	150 bis 500 km	Länder, Kontinente	HadCM3, HadGEM1, ECHAM5

„Mesoskalige Modelle können Bebauungsstrukturen nur stark parameterisiert darstellen [...]. Dagegen sind mikroskalige Modelle in der Lage, die einzelnen Baukörper detailliert darzustellen und Prozesse an einzelnen Gebäuden oder sogar Gebäudeteilen zu betrachten.“ (Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg 2012). Im Rahmen von KLIMPRAX Stadtklima werden mesoskalige Klimamodelle betrachtet und ihre Ergebnisse in die kommunale Planungspraxis übersetzt.

Klima-Michel-Modell

Das Klima-Michel-Modell des Deutschen Wetterdienstes ist ein Energiebilanzmodell für den menschlichen Organismus. Es verknüpft das atmosphärische Milieu mit dem Energieumsatz einer „Standardperson“ – dem Klima-Michel – beim Gehen mit konstanter Geschwindigkeit von 4 km/h. Er ist männlich, 35 Jahre alt, 1,75 m groß, 75 kg schwer. Seine Bekleidung passt er zwischen leichter Sommer- und dicker Winterbekleidung so an, dass er nach Möglichkeit Behaglichkeit empfindet. Die Standardisierung liefert eine Einschätzung der thermischen Bedingungen im Mittel und erlaubt eine Vergleichbarkeit verschiedener Wetterereignisse und Klimate in Raum und Zeit. Zur Beschreibung der Anpassungsleistung dient die Gefühlte Temperatur. (Klami 2013, Noppel 2017)

Klimaprojektionen

„Für die Analyse der Auswirkungen der menschlichen Aktivitäten auf das Klima der Erde werden Klimamodelle [...] genutzt. [...] Möchte man Aussagen über die Zukunft, z. B. die nächsten 100 Jahre machen, so benötigen die Klimamodelle angenommene Vorgaben („Szenarien“). [...] Diese beruhen auf Annahmen über zukünftige gesellschaftliche und technologische Entwicklungen, die mit erheblichen Unsicherheiten verbunden sind. Man spricht deshalb nicht von Klimaprognosen, sondern von Klimaprojektionen.“ (Noppel 2017: S. 96)

Klimaschutz

hat das Ziel, Treibhausgasemissionen anhand zuvor festgelegter Zielgrößen zu vermindern, indem z. B. regenerative Energieträger (wie Solarenergie, Wasser- und Windkraft) genutzt werden oder die Erhaltung natürlicher Treibhausgassenken (z. B. Wälder, Feuchtgebiete) gefördert wird (DIFU 2013).

Klimatologie

ist die Wissenschaft vom Klimasystem (Spektrum 2016).

Klimatologischer Kenntag

„ein Tag, an dem ein definierter Schwellenwert eines klimatischen Parameters erreicht beziehungsweise über- oder unterschritten wird (z. B. Sommertag als Tag mit Temperaturmaximum $\geq 25^\circ\text{C}$) oder ein Tag, an dem ein definiertes meteorologisches Phänomen auftrat (z. B. Gewittertag als Tag, an dem irgendwann am Tag ein Gewitter (hörbarer Donner) auftrat.“ (DWD 2016)

Klimatop

bezeichnet die „klimatische räumliche Einteilung von Gebieten mit ähnlichen mikroklimatischen Ausprägungen hinsichtlich des thermischen Tagesgangs, der durch Bodenrauigkeitsänderungen bedingten Windfeldstörungen, der topografischen Lage und/oder Exposition sowie der Art der realen Flächennutzung.“ (VDI 3787 Blatt 1: S.4)

Klimawandel

bezeichnet jede Veränderung des Klimas und ist ein Synonym für Klimaveränderung. Dies beinhaltet jede Veränderung des Klimas unabhängig von der betrachteten Größenordnung in Raum und Zeit. „Neben Veränderungen der Mittelwerte können auch Änderungen anderer statistischer Kenngrößen (Streuung, Extreme, Form der Häufigkeitsverteilungen) einzelner Klimaparameter (Temperatur, Niederschlag, Wind, Feuchte, Bewölkung usw.) auftreten.“ (DWD 2016)

Klimawirkung

beschreibt die Wirkung des klimatischen Einflusses auf das System (z. B. Wirtschaftssektor, Bevölkerungsgruppe, Ökosystem) unter Berücksichtigung, in welchem Maße ein System auf den Einfluss reagiert und des räumlichen Vorkommens. Die Vulnerabilität ergibt sich aus der (potenziellen) Klimawirkung vermindert um die Anpassungskapazität (UBA 2017: 9). „Es gibt direkte und indirekte Klimawirkungen. Bei direkten Klimawirkungen besteht eine annähernd direkte Wirkungskette zwischen veränderten klimatischen Bedingungen, z. B. vermehrten Hitze- und Dürreperioden, und Auswirkungen, z. B. Ernteauffällen oder Herz- Kreislaufbelastungen. Bei indirekten Klimawirkungen werden hingegen mehrere nebeneinander

bestehende Wirkungsketten multikausal verknüpft sowie Rückkopplungen und Vorschädigungen berücksichtigt.“ (BBSR/BBR 2016)

Im Kontext menschlicher Gesundheit meint Klimawirkung die (potenziellen) Auswirkungen eines Hitzeextremes auf die Gesundheit der Bevölkerung eines städtischen Raums. In epidemiologischen Studien werden Klimawirkungen auf die menschliche Gesundheit in Abhängigkeit von der Exposition (hier: Hitze) und der Suszeptibilität (Empfindlichkeit) von Bevölkerungsgruppen beschrieben.

Kompensation

bezieht sich im Rahmen des Projekts auf einen räumlichen/funktionalen Ausgleich klimatischer Beeinträchtigungen. Gemäß §15 Abs. 7 Nr. 2 BNatSchG sind Eingriffe „zu Inhalt, Art und Umfang von Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen einschließlich Maßnahmen zur Entsiegelung, zur Wiedervernetzung von Lebensräumen und zur Bewirtschaftung und Pflege sowie zur Festlegung diesbezüglicher Standards, insbesondere für vergleichbare Eingriffsarten“ zu kompensieren (BNatSchG 2009).

Lokalklima

„ist das Klima an einem konkreten Ort. Es ist eingebettet in das Regionalklima und wird zusätzlich durch Relief und Flächennutzung in der näheren Umgebung des Ortes bestimmt“ (DWD 2016).

Metaanalysen

fassen die statistischen Ergebnisse von Primärstudien zu einer Fragestellung in einem statistischen Verfahren zusammen. Dabei werden die Befunde der Primärstudien integriert und einer Heterogenitätsanalyse unterzogen. Ist die Heterogenität hoch, ist das ein Hinweis, dass es wichtige Unterschiede zwischen den Studien gibt, die genauer untersucht werden sollten. Dann werden beispielsweise einzelne Studien ausgeschlossen, die die Heterogenität verursachen oder es werden Untergruppen gebildet und die Ergebnisse der jeweiligen Untergruppen getrennt zusammengefasst (Hoffmann 2015).

Mesoklima

„Unter Mesoklima versteht man den Bereich, der zwischen dem Mikroklima und dem Makroklima liegt. Während das Makroklima hauptsächlich von großskaligen und das Mikroklima vor allem von kleinskaligen, lokalen Prozessen beeinflusst ist, ist es im Mesoklima eine Mischung von beiden. Beispielsweise können auch viele Phänomene des Stadtklimas (wie z. B. die Wärmeinsel) dem Mesoklima zugeordnet werden. Durch die Überlagerung von großskaligen und lokalen Einflüssen sind die Phänomene des Mesoklimas nicht immer einfach zu untersuchen oder vorherzusagen.“ (Noppel 2017: S. 96) Die Größenordnung des Einflussbereiches des Mesoklimas liegt bei ungefähr 100 km² bis 10.000 km² (Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg 2009).

Mikroklima

„Das Mikroklima beschreibt mittlere atmosphärische Zustände und wiederkehrende Phänomene im mikrometeorologischen Maßstabbereich (mikroskalig). Mit Mikroklima ist damit das spezielle Klima eines Areals gemeint, das sich in den bodennahen Luftschichten ausbildet und stark von den vorhandenen Oberflächen (Untergrund, Bewuchs, Bebauung), z. B. deren Rauigkeit und thermischen Eigenschaften, beeinflusst ist. Verschiedenheiten in der Geländeform oder im Pflanzenbewuchs können dabei auf engem Raum große Unterschiede in der Temperatur oder der Windgeschwindigkeit verursachen. So kann es z. B. an einem Sommertag über einer Asphaltdecke mehrere Grad wärmer sein als über einer benachbarten, feuchten Wiese. Auch in klaren Nächten können sich, z. B. durch unterschiedliche Ausstrahlungsbedingungen, auf kleinem Raum signifikante Temperaturunterschiede ergeben. Bedeutsam ist das Mikroklima vor allem für die jeweilige Flora und Fauna eines Areals, aber auch der Mensch ist dem Mikroklima direkt ausgesetzt. Am ausgeprägtesten zeigt es sich bei sogenannter autochthoner Witterung, also bei schwachwindigen Hochdrucklagen. Spezielle Mikroklimata sind beispielsweise das Bestandsklima und das Standortklima.“ (Noppel 2017: S. 97)

Multikollinearität

liegt vor, wenn zwei oder mehr erklärende Variablen eine sehr starke Korrelation miteinander haben.

Numerische Modelle

„Als numerische Modelle bezeichnet man im Allgemeinen Computermodelle, welche auf Grundlage mathematisch-physikalischer Gleichungen und mittels numerischer Methoden physikalische Vorgänge simulieren können. Beispiele aus der Meteorologie sind Wettervorhersagemodelle oder Klimamodelle. Die darin eingehenden Gleichungen beschreiben die atmosphärischen Zustände und die Kausalität der Abläufe. Sie sind so weit vereinfacht, dass sie mit Hilfe von Rechenanlagen bei erträglichem Zeitaufwand gelöst werden können. Je nach dem Anwendungszweck können Art und Grad der vorgenommenen Vereinfachungen recht unterschiedlich sein, wodurch sich die große Vielfalt existierender numerischer Modelle erklärt.“ (Noppel 2017: S. 97)

Ökologische Studien

sind in der in der Epidemiologie Beobachtungsstudien, die aggregierte Daten und nicht individuell erhobene Merkmale untersuchen. Es werden nicht Angaben zu einzelnen Personen untersucht, sondern zu Gruppen von Individuen und deren Gruppenmerkmale, beispielsweise zu statistischen Bezirken oder Regionen. Die gruppenspezifischen Ergebnisse können nicht auf Eigenschaften von Individuen bezogen werden. Beispielsweise kann aus einem negativen Soll-Ist-Wert der Wohnfläche eines statistischen Bezirkes nicht geschlossen werden, dass es dort keine Personen gibt, die in luxuriös großen Wohnungen wohnen.

Planungshinweiskarte

ist eine „informelle Hinweiskarte, die eine integrierende Bewertung der in der Klimaanalysekarte dargestellten Sachverhalte im Hinblick auf planungsrelevante Belange enthält.“ (VDI 3787 Blatt 1: S. 5).

Perzentil

„ist ein Lagemaß aus der Statistik. Durch die Perzentile wird ein der Größe nach geordneter Datensatz in 100 umfangsgleiche Teile zerlegt. Diese teilen somit den Datensatz in 1% Schritte auf. Das x. Perzentil ist sozusagen ein Schwellenwert innerhalb eines geordneten Datensatzes bei dem x% aller Werte kleiner oder gleich dieses Schwellenwertes sind. Der Rest ist größer. Für das 25. Perzentil bedeutet das zum Beispiel, dass 25% der Werte unterhalb oder gleich dieses Perzentils liegen. Anhand von Perzentilen lässt

sich somit ein einzelner Wert einer Datenreihe qualitativ einordnen. Das 50. Perzentil entspricht genau dem Median.“ (Noppel 2017: S. 97)

Quintile

unterteilen die nach der Größe geordneten Werte eines Indikators in fünf gleich stark besetzte Gruppen. So können jeweils 20% der statistischen Bezirke mit den übrigen Bezirken verglichen werden.

RCP (Representative Concentration Pathways)

„deutsch: „Repräsentative Konzentrationspfade“ geben Szenarien für zukünftige Konzentrationen u.a. von Treibhausgasen bzw. deren Strahlungsantrieb wieder. Sie wurden für den 5. Sachstandsbericht des IPCC entwickelt und ersetzen damit die früheren SRES-Szenarien.“ (Noppel 2017: S. 98)

Sensitivität (Empfindlichkeit)

Die Sensitivität (Anfälligkeit oder Empfindlichkeit) beschreibt, in welchem Maße ein System (z. B. Wirtschaftssektor, Bevölkerungsgruppe, Ökosystem) aufgrund seiner Eigenschaften auf einen klimatischen Einfluss reagiert. (UBA 2017)

Sommertag

beschreibt einen „Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur $\geq 25^\circ\text{C}$ beträgt. Die Menge der Sommertage enthält auch die Untermenge der Heißen Tage.“ (DWD 2016)

SRES-Szenarien

„SRES steht für „Special Report on Emission Scenarios“ des IPCC, der im Jahr 2000 veröffentlicht wurde. Es handelt sich dabei um Szenarien der zukünftigen Entwicklung u.a. von Treibhausgas-Emissionen, die dazu dienen sollten, mit Hilfe von Klimamodellen den möglichen zukünftigen Klimawandel aufgrund der Erhöhung von Treibhausgaskonzentrationen zu berechnen. Es werden eine ganze Anzahl von Szenarien unterschieden (A1B, A1T, A1FI, A2, B1, B2). Das Szenario A1B gilt z. B. als moderates Szenario.“ (Noppel 2017: S. 99)

Diese Szenarien wurden inzwischen durch die „RCP“ ersetzt (siehe auch RCP).

Stadtklima

ist das durch die Wechselwirkungen mit der Bebauung und deren Auswirkungen (einschließlich Abwärme und Emission und Luftverunreinigungen) modifizierte Mesoklima in Stadt- und Ballungsgebieten. Es ist vor allem geprägt durch die veränderten Windgeschwindigkeiten auf Grund der Bebauung sowie durch die Eigenschaften der eingesetzten Baustoffe (bspw. in Bezug auf die Wärmespeicherung, Reflexion der Sonnenstrahlung und Bodenversiegelung). (DWD 2016)

Stadtökologie

ist ein interdisziplinärer Ansatz, der die Anpassung der Stadtentwicklung, des Städtebaus und der städtischen Lebensprozesse (Stadt) an die Erfordernisse ökologischer Verträglichkeit untersucht und konkrete Handlungsansätze für den ökologischen Stadtumbau entwickelt. Die Stadtökologie strebt die Vernetzung der Handlungsfelder Stadtwirtschaft, Stadttechnik, Stadtgestaltung, Verwaltung, Stadtpolitik und Umweltkommunikation an, um über „integrierte“ Denk- und Vorgehensweisen neue Möglichkeiten des Planens und Handelns aufzuzeigen. Ihr Ziel ist die umweltorientierte Weiterentwicklung des modernen Städtebaus durch die Beachtung von ressourcensparenden, umweltschonenden und sich selbst regelnden Kreisläufen. (Gabler Wirtschaftslexikon 2016)

Suszeptibilität

bezeichnet in den Gesundheitswissenschaften die Empfindlichkeit gegenüber bestimmten Erkrankungen, Erregern oder Fremdstoffen. Im Kontext von Hitzeextremen ist damit die Anfälligkeit einer Person gegenüber einwirkender Wärmeenergie gemeint. Faktoren, die die Suszeptibilität beeinflussen, sind biologischer, psychosozialer und verhaltensabhängiger Art. (Grewe und Pfaffenberger 2011)

Szenario

ist eine kohärente, konsistente und plausible Beschreibung möglicher zukünftiger Entwicklungen und Verhältnisse, die auf bestimmten Annahmen basieren. Sie können von Projektionen abgeleitet werden, enthalten aber oft zusätzliche Informationen aus weiteren Quellen und Modellgeschichten. (IPCC 2007)

Trajektorie

„Bahn oder Bewegungspfad, den ein Objekt, z. B. ein Luftpartikel, in einem gewissen Zeitraum durchläuft. Das bedeutet, dass die Trajektorie alle Orte verbindet, die ein Teilchen während seiner Bewegung einmal berührt hat. Durch die Berechnung von Trajektorien lässt sich z. B. die Herkunft und die weitere Verfrachtung von Luftverunreinigungen bestimmen. Geht man vom Endpunkt der Bahn aus und „verfolgt“ das Objekt zeitlich rückwärts bis zu seinem „Startpunkt“, spricht man von Rückwärtstrajektorien. Geht man vom Startpunkt aus und rechnet zeitlich vorwärts von einer Vorwärtstrajektorie.“ (Noppel 2017: S. 99)

Tropennacht

beschreibt „eine Nacht (18 bis 06 UTC), in der das Minimum der Lufttemperatur $\geq 20^\circ\text{C}$ beträgt.“ (DWD 2016)

Ventilationsbahnen

gewährleisten einen Luftmassentransport unabhängig von der thermischen oder lufthygienischen Ausprägung. (MKULNV 2011)

Vulnerabilität

Vulnerabilität ist das Ergebnis der Folge der Klimawirkung auf ein System, modifiziert durch dessen Anpassungskapazität. Im Rahmen der Untersuchung der Sensitivität von städtischen Räumen gegenüber Hitzebelastung unter dem Fokus menschlicher Gesundheit wird Vulnerabilität eines städtischen Raumes deswegen als das Resultat der Klimawirkungen auf städtische Räume und der Anpassungskapazität in diesen städtischen Räumen auf die Klimawirkungen verstanden. (UBA 2017)

Im Gegensatz dazu drückt in der internationalen gesundheitswissenschaftlichen Literatur Vulnerabilität das in epidemiologischen Studien gemessene höhere relative Risiko von bestimmten Bevölkerungsgruppen gegenüber anderen Gruppen der Bevölkerung aus, eine bestimmte Erkrankung zu erleiden. Vulnerabilität in diesem Sinne kann auf eine erhöhte Exposition mit belastungsauslösenden Faktoren, eine höhere Suszeptibilität (Empfindlichkeit) gegenüber den Belastungen oder eine Kombination von beiden Einflussfaktoren zurückgehen. Vulnerabilität wird hier auf Individuen und Bevölkerungsgruppen bezogen. Im Rahmen der

Untersuchung der Sensitivität von städtischen Räumen gegenüber Hitzebelastung wird der Begriff der Vulnerabilität nicht in diesem Sinne benutzt.

Wandflächenindex

„Der mittlere Wandflächenindex wird aus dem Verhältnis der Gebäudeaußenwandfläche (ohne Dachfläche) zur Gebäudegrundfläche berechnet.“ (DWD 2017c)

Wärmebelastung

„Wärmebelastung tritt ein, wenn die Thermoregulation des menschlichen Körpers trotz angepassten Verhaltens nicht mehr ausreicht, um Behaglichkeit herzustellen. Ein mögliches Maß für die Wärmebelastung ist die Gefühlte Temperatur. Die Wärmebelastung wird in vier Stufen unterteilt: schwache, mäßige, starke und extreme Wärmebelastung.“ (Noppel 2017: S. 100; vgl. zur Einteilung der Wärmebelastung auch VDI 3787, Blatt 2)

Wärmeinseleffekt

beschreibt das Phänomen der höheren Luft- und Oberflächentemperaturen in Siedlungsgebieten im Vergleich zum Umland, auch Hitzeinseleffekt genannt (MKULNV 2011). „Die Ausprägung des Wärmeinseleffekts hängt von der Größe der Stadt, der Bebauungsstruktur sowie der jeweiligen Wetterlage ab. Die höchsten Temperaturdifferenzen ergeben sich bei geringem Wind und hoher Ein- bzw. Ausstrahlung (d. h. geringer Bewölkung). In Städten, die in einer windschwachen Region liegen, wird der mittlere Wärmeinseleffekt also z. B. höher sein, als in Städten, in deren Umgebung in der Regel eine relativ hohe Windgeschwindigkeit herrscht.“ (Noppel 2017: S. 70)

Wärmespeicher

Die Oberfläche, die Sonneneinstrahlung absorbiert und über einen vergleichsweise langen Zeitraum speichert, ist in städtischen Bereichen größer als in ländlichen Bereichen. Durch die dichte Bebauung, den hohen Versiegelungsgrad und das Wärmespeichervermögen bestimmter Baustoffe haben bebaute Flächen daher, anders als unbebaute Flächen, die Funktion eines Wärmespeichers. Bebaute Gebiete heizen sich u. a. wegen des direkten Einfallswinkels der Sonne auf die senkrechten Fassaden, der fehlenden Vegetation und der geringen Verdunstungsleistung stärker auf. Auch der verbaute Stein selbst fungiert als Wärmespeicher und gibt die am Tage

absorbierte Wärme nur langsam über die Nachtstunden ab, wodurch auch die Abkühlung der Luft verlangsamt wird (siehe auch Wärmeinseleffekt). (DIFU 2013)

Widerstandsfähigkeit (Resilienz)

bezeichnet in der Ökologie die Fähigkeit eines Ökosystems externe Störungen zu absorbieren, zentrale Funktionen aufrecht zu erhalten und den Ausgangszustand möglichst wiederherzustellen. Somit umfasst Widerstandsfähigkeit zwei Kernaspekte: „einerseits die Fähigkeit [...] auch unter dem Einfluss externer Schocks und Störungen zentrale Funktionen aufrecht zu erhalten [und andererseits] die Fähigkeit zur Wiederherstellung des Systems nach der Einwirkung von Störungen und Schocks und die Weiterentwicklung im Sinne von Lern- und Reorganisationsprozessen“ (Birkmann et al. 2013: S. 212). Der zweite Aspekt interessiert sich auch für die Zeitspanne, um den Ausgangszustand wiederzuerlangen: Je schneller sich ein Ökosystem von den Folgen einer Störung erholt, desto resilienter ist es.

Vor dem Hintergrund des Klimawandels wird der Begriff Resilienz häufig mit Robustheit bzw. Widerstandskraft konnotiert, was jedoch die Lernfähigkeit eines Ökosystems als dritten Kernaspekt der Resilienz vernachlässigt. So umfasst Resilienz auch diese Lernfähigkeit eines Ökosystems, sich an sich verändernde Umweltbedingungen anzupassen. Ein resilientes Ökosystem verfügt somit einerseits über eine hohe Anpassungskapazität, andererseits aber auch über die Fähigkeit, sich reaktiv und proaktiv an sich wandelnde Umweltbedingungen anzupassen. (Birkmann et al. 2013)

Strahlungsnacht

„von einer windschwachen Strahlungsnacht wird dann ausgegangen, wenn die Windgeschwindigkeit im Stundenmittel höchstens 2,6 m/s (oder 5 kn) und der Bedeckungsgrad des Himmels mit Wolken höchstens 4 Achtel beträgt [...]“ (Noppel 2017: S. 100)

z-Transformation

Um Indikatoren mit unterschiedlich dimensionierten Werten zusammenfassen zu können, können die Werte mittels der z-Transformation zu standardisierten, dimensionslosen Werten umgewandelt werden. Die z-Transformation erfolgt anhand der folgenden Berechnungsvorschrift (vgl. VDI 3785 Blatt 1):

$$z = (x - \mu) / \sigma$$

Mit:

- x: Ausgangsparameter
- μ : arithmetisches Mittel
- σ : Standardabweichung
- z: standardisierter Parameter als Ergebnis

Nach Anwendung der Berechnungsvorschrift entspricht das arithmetische Mittel dem Wert 0, die Standardabweichung dem Wert 1.

8 Literatur

- Analitis, A., et al. (2014): Effects of Heat Waves on Mortality. Effect Modification and Confounding by Air Pollutants. *Epidemiology* 25: 15–22.
- Apfel, D., et al. (2012): Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken für Politik, Planung und Verwaltung in Bezug auf die Anpassung an den Klimawandel. *dynaklim-Publikation Nr. 22*.
- Arbuthnott, K.A., Hajat, S. (2017): The health effects of hotter summers and heat waves in the population of the United Kingdom: a review of the evidence. In: *Environmental Health* 16: 119.
- ARL – Akademie für Raumordnung und Landesplanung (2016): Positionspapier zur Anpassung an den Klimawandel. <http://arl-net.de/content/positionspapier-zur-anpassung-den-klimawandel> Zugriff am 20.03.2016.
- Basu, R.; Samet, J. M. (2002): Relation between elevated ambient temperature and mortality: a review of the epidemiologic evidence. *Epidemiologic Reviews* 24 (2): 190-202.
- BauGB – Baugesetzbuch (2009): Gesetz über Baurecht (Baugesetzbuch – BauGB) vom 01. August 1979, zuletzt durch Bekanntmachung vom 03. November 2017 geändert, in BGBl. I S. 3634.
- BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2017): Liste der Gemeindeverbände und Zuordnung zu Verdichtungsräumen nach MKRO, Stand 31.12.2015.
- BBSR/BBR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung/Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (2016): Querauswertung zentraler Verbundvorhaben des Bundes zur Anpassung an den Klimawandel mit Fokus Stadt- und Regionalentwicklung. *BBSR-Online-Publikation, Nr. 04/2016*.
- Benmarhnia, T., et al. (2015): Vulnerability to Heatrelated Mortality. A Systematic Review, Metaanalysis, and Metaregression Analysis. *Epidemiology*; 26: 781-793
- Benmarhnia, T., et al. (2017): Small-area spatiotemporal analysis of heatwave impacts on elderly mortality in Paris: a cluster analysis approach. *Sci Total Environ* 2017, 592: 288-294.
- Birkmann, J., et al. (2013): Raumentwicklung im Klimawandel: Herausforderungen für die räumliche Planung. *Forschungsberichte der ARL 2*. Hrsg.: Jochen Schanze.
- BMVBS/BBSR/BBR – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung/Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung/Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (2009): Ursachen und Folgen des Klimawandels durch urbane Konzepte begegnen – Skizzierung einer Klimawandelgerechten Stadtentwicklung. *BBSR-Online-Publikation, Nr. 22/2009*.
- BNatSchG – Bundesnaturschutzgesetz (2009): Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz – BnatSchG) vom 29. Juli 2009, zuletzt durch Art. 1 des Gesetzes vom 15. September 2017 geändert, in BGBl. I S. 2542.
- Böhm, J., et al. (2017): Doppelte Innenentwicklung – Perspektiven für das urbane Grüne. Hrsg.: Bundesamt für Naturschutz, Bonn.
- Bouchama, A., et al. (2007): Prognostic Factors in Heat Wave–Related Deaths. A Metaanalysis. *Arch Intern Med* 167 (20): 2170-2176.
- Breitner, S., et al. (2014a): Shortterm effects of air temperature on mortality and effect modification by air pollution in three cities of Bavaria, Germany: A time-series analysis. *Science of the Total Environment* 485-486: 49-61.
- Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Berlin.
- Bundesregierung (2011): Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Berlin.
- Bundesregierung (2016): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Berlin.
- Deutscher Städtetag (2019): Anpassung an den Klimawandel in den Städten – Forderungen, Hinweise und Anregungen. Berlin und Köln.
- DIFU – Deutsches Institut für Urbanistik GmbH (2013): *KommAKlima Kommunale Strukturen, Prozesse und Instrumente zur Anpassung an den Klimawandel in den Bereichen Planen, Umwelt und Gesundheit – Hinweise für Kommunen Klimawandel und Klimaanpassung in urbanen Räumen*. Köln.

- DKRZ – Deutsches Klimarechenzentrum (2016): Die Szenarien. <https://www.dkrz.de/Klimaforschung/konsortial/ipcc-ar5/die-szenarien>
Zugriff am 25.08.2016.
- DWD – Deutscher Wetterdienst (2016): Wetterlexikon. <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html;jsessionid=FE74990EAD F2B3B5CD20F22FA9128055.live21061?nn=103346&lv2=100310>
Zugriff am 29.08.2016.
- DWD – Deutscher Wetterdienst (2017a): Hitzewarnsystem jetzt mit Warnungen für Städter, ältere und erkrankte Menschen. https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/aktuelles/170314_klima_pk_hitze.html
Zugriff am 25.11.2018.
- DWD – Deutscher Wetterdienst (2017b): Stadtklima: (Fast) alles bekannt – Wir müssen nur noch handeln. Präsentation von J. Hessel und H. Noppel. https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/klimprax/veranstaltung_wiesbaden/5_20180816_KLIMPRAX_Buergerinfo_Hessel_Final_r.pdf
Zugriff am 17.02.2019.
- DWD – Deutscher Wetterdienst (2017c): Das Klimasimulationsmodell MUKLIMO_3. Die Thermodynamikversion. https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimawirk/stadtpl/lokalklimamodelle/muklimo_thermodynamik.pdf?__blob=publicationFile&v=8
Zugriff am 16.01.2019.
- DWD – Deutscher Wetterdienst (2018): Deutschlandwetter im Sommer 2018. https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2018/20180830_deutschlandwetter_sommer_news.html
Zugriff am 20.02.2019.
- DWD (o.J.): Stadtklimamessungen – die städtische Wärmeinsel. https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimawirk/stadtpl/projekt_waermeinseln/projekt_waermeinseln_node.html
Zugriff am 25.11.2018.
- Fanger, P.O. (1972): Thermal Comfort, Analysis and Application in Environmental Engineering. New York: McGraw Hill.
- Faroni, M., et al. (2007): A retrospective study on heat-related mortality in an elderly population during the 2003 heat wave in Modena, Italy: the Argento Project. *J Gerontol Med Sci* 62A: 647–651.
- Future Cities (2013): Zukunft für unsere Städte – attraktiv und klimatauglich!. http://www.futurecities.eu/uploads/media/Zukunft_fuer_unsere_Staedte_DE_01.pdf
Zugriff am 30.08.2016.
- Gabler Wirtschaftslexikon (2016): Stadtökologie. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/13967/stadt-oekologie-v7.html>
Zugriff am 29.08.2016.
- GERICS Climate Service Center Germany (2012): Hitzewelle (Hitzeperiode). http://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/lexikon_definitionen_mit_cover.pdf
Zugriff am 11.06.2016.
- Grewe, HA., Pfaffenberger, D. (2011): Prävention hitzebedingter Gesundheitsgefährdungen in der stationären Altenpflege. *PrävGesundheitsf* 6 (3): 192–198.
- Heudorf, U., Schade, M. (2014): Heat waves and mortality in Frankfurt am Main, Germany, 2003–2013. *Z Gerontol Geriat* 2014 · 47 475–482.
- HLNUG – Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2017a): Anforderungen an die Berücksichtigung klimarelevanter Belange in kommunalen Planungsprozessen. Leitfaden für Kommunen; KLIMawandel in der PRAXis, Wiesbaden.
- HLNUG – Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2017b): Hitze in der Stadt und kommunale Planung – Klimawandel in Hessen – Schwerpunktthema; Wiesbaden.
- HLNUG – Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2018): Klimawandel in der Zukunft; Fachzentrum Klimawandel und Anpassung, Wiesbaden. https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/Ausgabe_02Klimawandel-in-der-Zukunft_internet.pdf
Zugriff am 04.12.2018.

- HLNUG – Fachzentrum Klimawandel Hessen (o. J.): Umweltatlas Hessen. Jahresmitteltemperatur 1901–2010 als 30-Jahresmittel.
http://atlas.umwelt.hessen.de/servlet/Frame/atlas/klima/temperatur/d_1_1_2.htm
Zugriff am 07.01.2018.
- HMWEVL – Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung (o.J.): Entwurf einer Projektskizze und Leistungsbeschreibung für die Beauftragung einer landesweiten Klimaanalyse/Kaltluftströmungs-Simulation unter Berücksichtigung des klimawandelbedingten Temperaturanstiegs für die Regionalplanung der Planungsregionen Nord-, Mittel- und Südhessen einschließlich dem Ballungsraum Frankfurt/Rhein-Main;
<https://landesplanung.hessen.de/informationen/anpassung-den-klimawandel/landesweite-klimaanalyse>
Zugriff am 01.12.2017.
- HMUELV – Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2012): Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Hessen (Hessische Anpassungsstrategie). Wiesbaden.
- HMUKLV – Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2017): Integrierter Klimaschutzplan Hessen 2025. Wiesbaden.
- Hoffmann, J. (2015): Biostatistics for Practitioners: An Interpretative Guide for Medicine and Biology. Academic Press.
- INKAS (o.J.): Informationsportal Klimaanpassung in Städten des Deutschen Wetterdienstes:
www.dwd.de/inkas.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): Climate Change 2007 – The Physical science Basic. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel in Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2018): Summary for Policy-makers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above preindustrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. World Meteorological Organization: Genf.
- Karlsson, M., Ziebarth, N. (2018): Population Health Effects and Health-Related Costs of Extreme Temperatures: Comprehensive Evidence from Germany.
<https://www.goek.wiwi.uni-due.de/forschung/forschungsprojekte/climate-change-pollution-and-human-health-outcomes/>
Zugriff am 11.12.2018.
- Klamis – Klimaanpassung in Mittel- und Südhessen (2013): Modellgestützte Klimaanalysen und -bewertungen für die Regionalplanung.
- Kleinschmit, B., et al. (2011): Sozialräumliche Verteilung der bioklimatischen Bewertung in Berlin. In: Themenheft Umweltgerechtigkeit. Nr. 2/2011. Berlin.
- Lampert, T., et al. (2013): Messung des sozioökonomischen Status in der Studie „Gesundheit in Deutschland aktuell“ (GEDA). In: Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz 56 (1): 131–143.
- LUBW – Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hrsg.) (2017): Planungsempfehlungen für die (stadt-)klimawandelgerechte Entwicklung von Konversionsflächen – Modellvorhaben Heidelberg; KLIMOPASS-Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg.
- Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (2009): Glossardatenbank. Mesoklima.
http://mars.geographie.uni-halle.de/mlucampus/geoglossar/terme_datenblatt.php?terme=Mesoklima
Zugriff am 13.03.2019.
- Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg (Hrsg.) (2012): Städtebauliche Klimafibel, Hinweise für die Bauleitplanung. Stuttgart.
- MKULNV – Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2011): Handbuch Stadtklima – Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel. Düsseldorf.

- MWKEL – Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung Rheinland-Pfalz (2013): Klimawandelbericht – Grundlagen und Empfehlungen für Naturschutz und Biodiversität, Boden, Wasser, Landwirtschaft, Weinbau und Wald. Mainz.
- Noppel, H. (2017): Modellbasierte Analyse des Stadtklimas als Grundlage für die Klimaanpassung am Beispiel von Wiesbaden und Mainz. Abschlussbericht zum Arbeitspaket 3 des Projekts KLIMPRAX Wiesbaden/Mainz–Stadtklima in der kommunalen Praxis. Hrsg.: Deutscher Wetterdienst. Offenbach am Main: Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes. (Berichte des Deutschen Wetterdienstes; 249).
- Regierungspräsidium Gießen (2011): Kommunen im Klimawandel – Wege zur Anpassung. Modellvorhaben der Raumordnung zur Klimaanpassung in Mittel- und Südhessen (Klamis, Klimamoro). Gießen.
- Robine, J.M., et al. (2007): Report on excess mortality in Europe during summer 2003. EU community Action Programme for Public Health, Grant Agreement 2005114. Heat Wave Project 2003.
- RKI – Robert Koch Institut (2004): Hitzewellen und extreme Klimaereignisse – Herausforderungen für das Gesundheitswesen. Epidemiologisches Bulletin 2004, 25: 200.
- Scherer, D. (2007): Viele kleine Parks verbessern Stadtklima. Mit Stadtplanung Klima optimieren. In: TASPO Report. Die Grüne Stadt.
- Schlegel, I., Koßmann, M. (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.
https://www.stadtklima-stuttgart.de/stadtklima_filestorage/download/kliks/Abschlussbericht_Stadtklima_Stuttgart-Kooperation.pdf
Zugriff am 05.01.2017.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (2015): EFRE-Projekt 027 Stadtklima Berlin – Abschlussbericht, Bearbeitung: GEO-NET Umweltconsulting GmbH, Oktober 2015.
- Spektrum (2016): Klimatologie.
<http://www.spektrum.de/lexikon/geographie/klimatologie/4173>
Zugriff am 29.08.2016.
- Stadt Jena (2012): Handbuch Klimawandelgerechte Stadtentwicklung für Jena – ExWoSt-Modellprojekt – Jenaer Klimaanpassungsstrategie JenKAS. Jena.
- Statistisches Bundesamt (2018): Grad der Verstädterung nach Fläche, Bevölkerung und Bevölkerungsdichte am 31.12.2016.
<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/LaenderRegionen/Regionales/Gemeindeverzeichnis/NichtAdministrativ/Aktuell/33STL.html>
Zugriff am 25.12.2018.
- UBA – Umweltbundesamt (2013): Klimafolgenanpassung – Handlungsfeld menschliche Gesundheit.
<http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/handlungsfeld-menschliche-gesundheit>
Zugriff am 20.03.2016.
- UBA – Umweltbundesamt (2015a): Monitoringbericht 2015 zur deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel – Bericht der interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung. Dessau-Roßlau.
- UBA – Umweltbundesamt (2015b): Entscheidungsprozesse zur Anpassung an den Klimawandel in Kommunen. Climate Change 04/2015, Düsseldorf.
- UBA – Umweltbundesamt (2016): Kommunen befähigen, die Herausforderungen der Anpassung an den Klimawandel systematisch anzugehen (KoBe). Climate Change 20/2016, Wuppertal.
- UBA – Umweltbundesamt (2017): Leitfaden für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen. Empfehlungen der interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassung an den Klimawandel der Bundesregierung, www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/uba_2017_leitfaden_klimawirkungs_und_vulnerabilitatsanalysen.pdf.
Zugriff am 04.11.2017.
- UBA – Umweltbundesamt (2018): Trends der Lufttemperatur, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/trends-der-lufttemperatur#textpart-1>.
Zugriff am 29.11.2018.

UBA – Umweltbundesamt (o.J.): Glossar. Anpassung an den Klimawandel.

https://www.umweltbundesamt.de/service/glossar/a?tag=Anpassung_an_den_Klimawandel#alphabar
Zugriff am 27.03.2019.

Uphoff, H., Hauri, A.M. (2005): Auswirkungen einer prognostizierten Klimaänderung auf Belange des Gesundheitsschutzes in Hessen: S. 11.

Vandentorren, S., et al. (2006): August 2003 heat wave in France: risk factors for death of elderly people living at home. Eur J Public Health 16: 583-591.

VDI – Verein Deutscher Ingenieure (2003): VDI 3787 Blatt 5, Umweltmeteorologie: Lokale Kaltluft, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN-Normenausschuss KRdL; Dezember 2003.

VDI – Verein Deutscher Ingenieure (2008a): VDI 3787 Blatt 2, Umweltmeteorologie: Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung Teil I: Klima, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN-Normenausschuss KRdL; November 2008.

VDI – Verein Deutscher Ingenieure (2008b): VDI 3785 Blatt 1, Umweltmeteorologie – Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima. Dezember 2008.

VDI – Verein Deutscher Ingenieure (2015): VDI 3787 Blatt 1, Umweltmeteorologie: Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN-Normenausschuss KRdL; September 2015.

Weder, C. (2012): Erstellung einer Statistik über Extremereignisse und Klimaveränderungen in Hessen; HLNUG, Wiesbaden, 2012.

Ausgewertete Fallbeispiele:

- Früh, B., Koßmann, M., Roos, M. (2011): Frankfurt am Main im Klimawandel – Eine Untersuchung zur städtischen Wärmebelastung, In: Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 237, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach, http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/files/22416/237_gesamt.pdf
Zugriff am 01.12.2017.
- Heidelberg (2015): Stadtklimagutachten für die Stadt Heidelberg, Fortschreibung des Gutachtens von 1995, Bearbeitung: GEO-NET Umweltconsulting GmbH und ÖKOPLANA, https://www.heidelberg.de/site/Heidelberg_ROOT/get/documents_E-1056338902/heidelberg/Objektdatenbank/31/PDF/Luft%20und%20L%C3%A4rm/31_pdf_stadtklima-2015_klimaanalyse.pdf
Zugriff am 5.01.2018.
- Koßmann, M.; Noppel, H.; Früh, B. (2014): Stadtklimatische Untersuchungen der sommerlichen Temperaturverhältnisse in Offenbach am Main als Grundlage zur Anpassung an den Klimawandel, https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimawirk/stadtpl/projekt_offenbach/abschlussbericht_offenbach.pdf?__blob=publicationFile&v=4
Zugriff am 05.01.2018.
- Kuttler, Düttemeyer, Barlag (2011): Erstellung eines Konzeptes zur städtebaulichen Anpassung an den Klimawandel in Gelsenkirchen, Stufe II Stadtklimamanagement, Essen.
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2013): Klimawandelgerechte Metropole Köln, LANUV-Fachbericht 50, https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30050.pdf
Zugriff am 21.11.2017.
- Landeshauptstadt Mainz (1992): Klimaökologischer Begleitplan, Klimafunktionskarte.
- Landeshauptstadt München (2014): Stadtklimaanalyse Landeshauptstadt München, Bearbeitung: GEO-NET Umwelt-consulting GmbH.
- Landeshauptstadt Wiesbaden (2017): Fortschreibung der Klimafunktionskarte, unveröffentlicht.
- Stadt Bad Liebenwerda (2010): Bad Liebenwerda, Studie zur lokalen Betroffenheit durch potentielle Folgen des Klimawandels, http://www.klimastadtraum.de/SharedDocs/Downloads/Veroeffentlichungen/Modellprojekte/ExWoSt/Bad%20Liebenwerda%20Studie%20lokale%20Betroffenheit.pdf?__blob=publicationFile&v=3
Zugriff am 01.12.2017.
- ThINK – Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz (2012): Handbuch Klimawandelgerechte Stadtentwicklung für Jena, In: Schriften zur Stadtentwicklung Nr.3, http://www.jenkas.de/images/download/JenKAS-Handbuch_einer_klimawandelgerechten_Stadtentwicklung_Web.pdf
Zugriff am 21.11.2017.
- Umweltamt Landeshauptstadt Wiesbaden (Hrsg.) (2011): Stadtklima Wiesbaden, Teiluntersuchung zum Landschaftsplan auf Flächennutzungsplanebene, Zeitraum 2006-2011, Umweltbericht Nr. 22.
- Verband Region Stuttgart (2008): Klimaatlas Region Stuttgart. Regionaler planungsbezogener Klimaatlas auf der Basis eines GIS, <https://www.region-stuttgart.org/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=1956&token=09798d12f29309e0432d6d6acc83830a31d80921>
Zugriff am 21.11.2017.

9 Anhang

Anhang 1: Beispielhafte Kartenaufbereitungen des DWD der Ergebnisse der numerischen Modellierungen mit MUKLIMO_3

Hinweis: Die klimatologischen Kenntage aus den Simulationsergebnissen wurden mit Messungen verglichen. Der Stern in den Abbildungen kennzeichnet die Lage einer Vergleichsstation im Auswertungszeitraum.

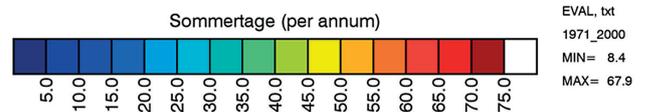
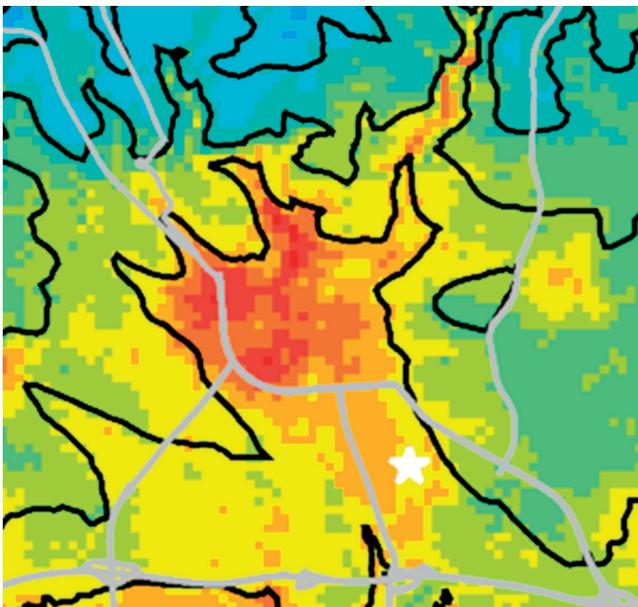


Abbildung 68: Mittlere jährliche Anzahl Sommertage für die Modellierung der Gegenwart (1971–2000) (Quelle: Noppel 2017: S. 33)

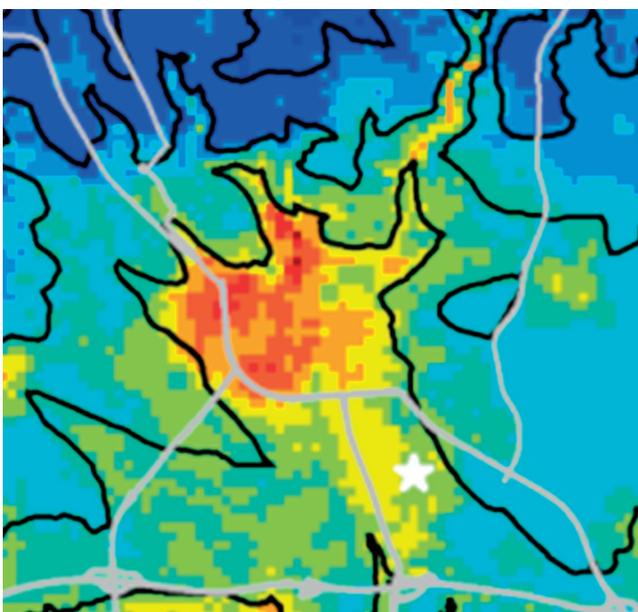


Abbildung 69: Mittlere jährliche Anzahl Heiße Tage für die Modellierung der Gegenwart (1971–2000) (Quelle: Noppel 2017: S. 34)

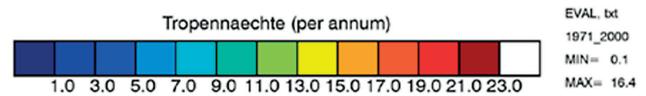
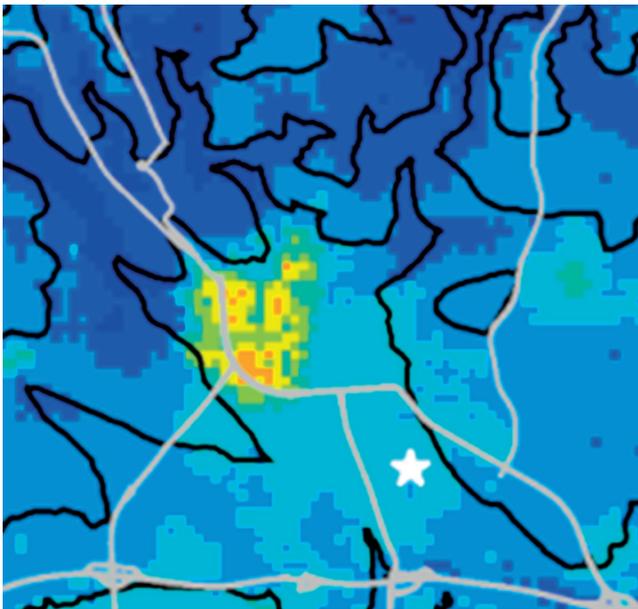


Abbildung 70: Mittlere jährliche Anzahl Tropennächte für die Modellierung der Gegenwart (1971–2000) (Quelle: Noppel 2017: S. 35)

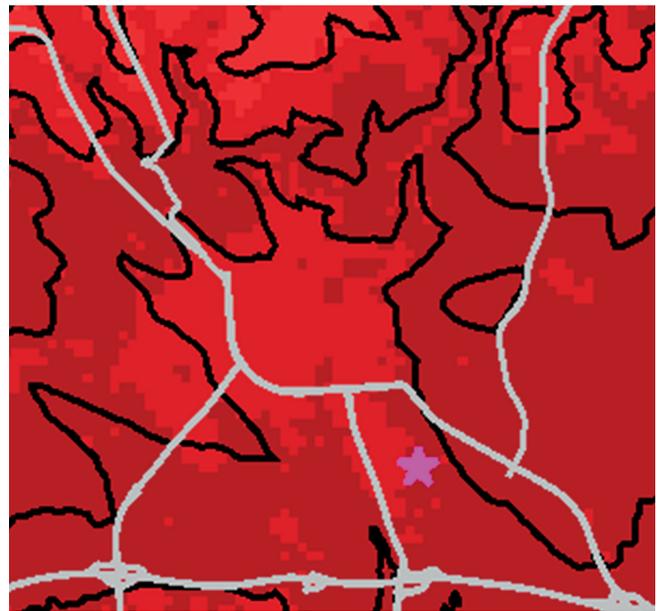
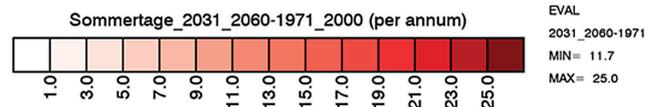
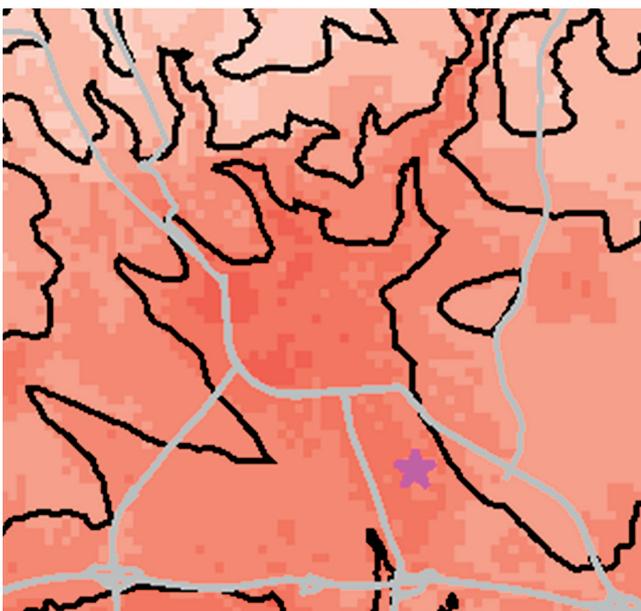
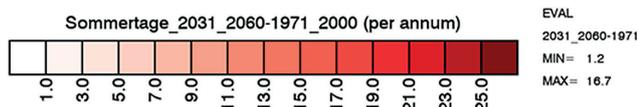


Abbildung 71: Änderung der Anzahl der Sommertage pro Jahr aus den Klimaprojektionen. Links: 25. Perzentil, rechts: 75. Perzentil. (Quelle: Noppel 2017: S. 47)

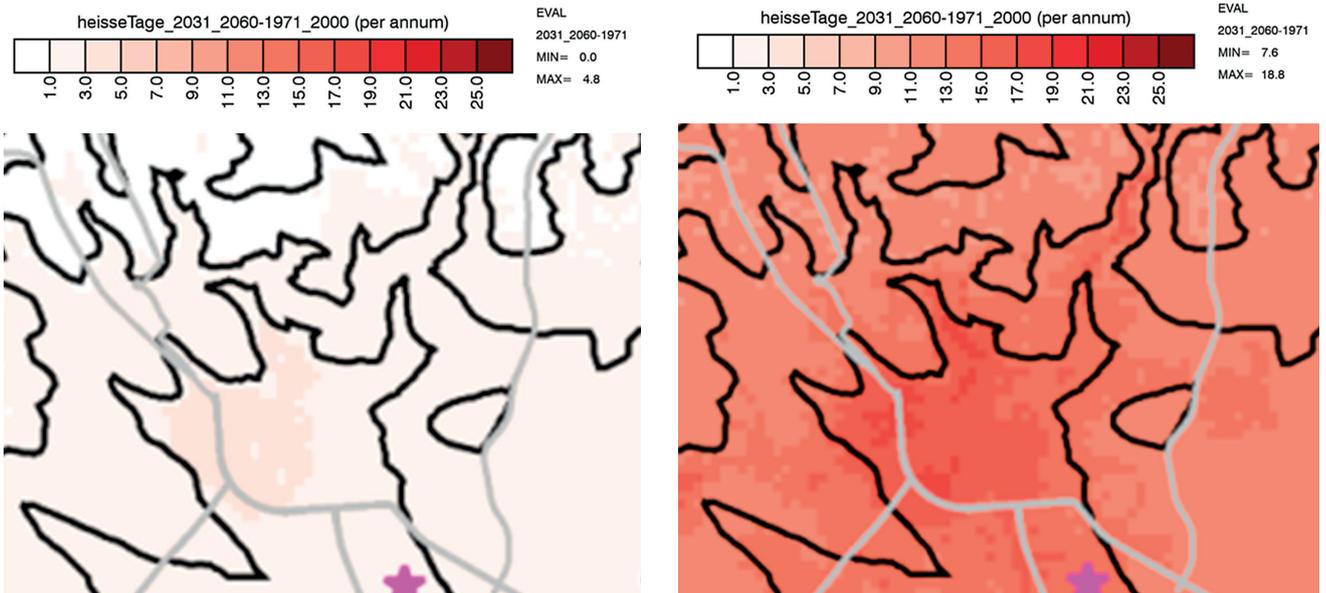


Abbildung 72: Änderung der Anzahl der Heißen Tage pro Jahr aus den Klimaprojektionen. Links: 25. Perzentil, rechts: 75. Perzentil. (Quelle: Noppel 2017: S. 47)

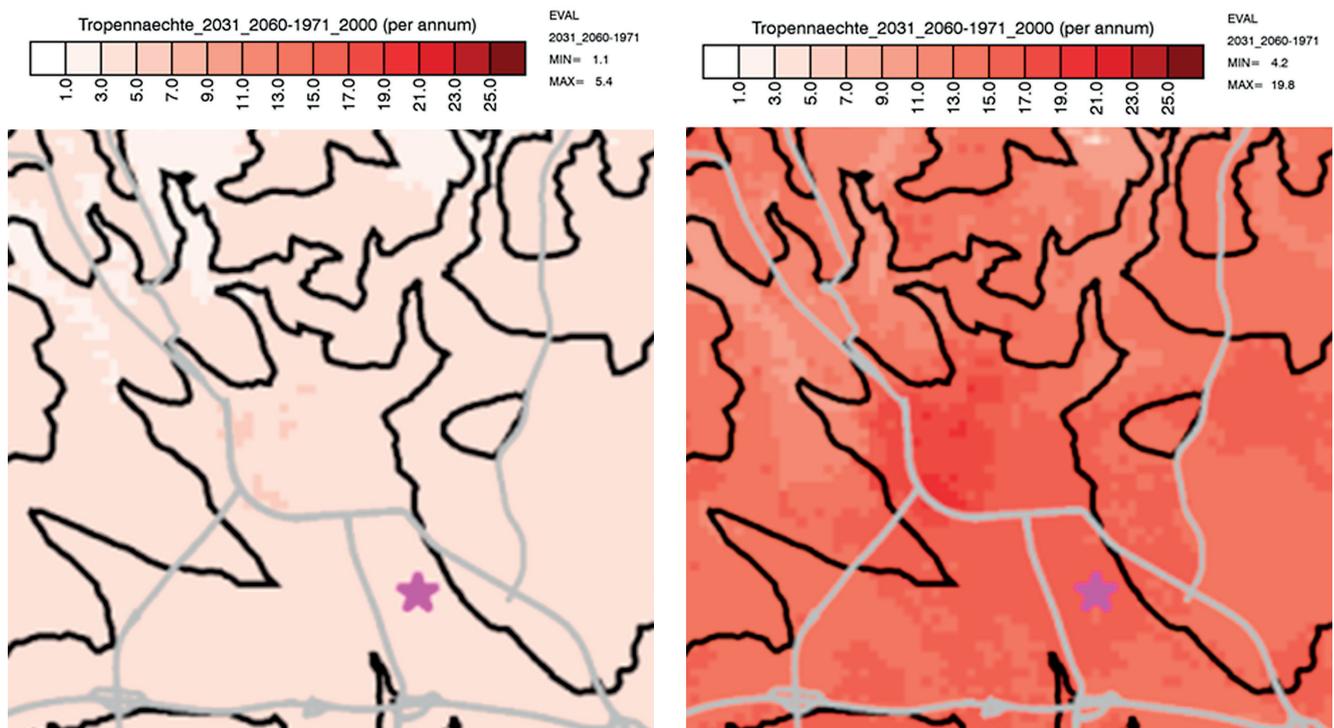


Abbildung 73: Änderung der Anzahl der Tropennächte pro Jahr aus den Klimaprojektionen. Links: 25. Perzentil, rechts: 75. Perzentil. (Quelle: Noppel 2017: S. 48)

Anhang 2: Planungshinweistabelle

Planungshinweiskatalog				Raumkategorie				
Nr.	Planungshinweis	Wirkungsfeld des Planungshinweises	Beispielmaßnahmen	Umsetzung	Instrumente			
					A	B	C	D
1	Planung und Festsetzung von Dach- und Fassadenbegrünung	Grün- und Freiflächen-nutzung	<p>Festsetzung von Dachbegrünungen und Fassadenbegrünungen im Bebauungsplan</p> <p>Kommunales Konzept der Dach- und Fassadenbegrünung im Landschaftsplan</p> <p>Initiierung von Beratungsprogrammen zur Förderung von Dach- und Fassadenbegrünungen</p> <p>Schaffung von Investitionsprogrammen zur Förderung von Dach- und Fassadenbegrünungen</p>	<p>Die Dachform (Flachdach) kann auf Basis von § 91 HBO definiert werden, die Begrünung auf der Grundlage von § 9 Abs. 1 Nr. 25 BauGB, der die Gemeinde u. a. zur Festsetzung von Bepflanzungen für Teile baulicher Anlagen ermächtigt. Beispiel: "Im Geltungsbereich des Bebauungsplanes sind die undurchsichtigen Dachflächen über Gebäuden mit mehr als 10 qm Grundfläche flächendeckend zu bepflanzen. Ausnahmsweise sind über bis zu 40 % der Grundfläche andere Materialien zulässig, wenn dies für die Nutzung erneuerbarer Ressourcen (Sonnenlicht, Umgebungstemperatur etc.) erforderlich ist."</p> <p>Ein gesamtstädtisches Konzept zur Dach- und Fassadenbegrünung kann als Fachkonzept zum Landschaftsplan erstellt werden. Im Landschaftsplan können darüber hinaus Maßnahmen zur Begrünung von Dächern und Fassaden für bestimmte Quartiere und Stadtteile dargestellt werden.</p> <p>Mit Hilfe von Beratungsprogrammen können insbesondere Privateigentümer*innen motiviert werden, Dach- und Fassadengrün an ihren Eigenheimen und Gewerbeobjekten zu installieren. Zusätzliche Anreize können durch entsprechende Zuschüsse der Kommune zur Dachbegrünung gesetzt werden (Förderung).</p> <p>Inhalt solcher Programme sind beispielsweise indirekte Zuschüsse der Dachbegrünung bei gesplitteter Abwassersatzung, direkte Zuschüsse für Dach- und Fassadenbegrünung oder direkte finanzielle Unterstützungen, die je nach Fall an Bedingungen geknüpft sind. Die Umsetzung erfolgt über entsprechende Konzepte.</p>		X		
2	Versiegelung reduzieren durch ...	Grün- und Freiflächen-nutzung	<p>Entsiegelung öffentlicher Flächen</p> <p>Förderung der Entsiegelung privater Flächen</p> <p>Sensibilisierung der Öffentlichkeit über Vorteile einer Entsiegelung</p>	<p>Für Maßnahmen zur Entsiegelung eignen sich z.B. Parkplätze aus Beton und Asphalt; diese Materialien können durch Pflaster mit mindestens 30% Fugenanteil, Rasensteine, Schotterrasen ersetzt werden. Auch Schulhöfe bieten häufig Potenziale für die Entsiegelung von Flächen. Entsprechende Entsiegelungspotenziale können z.B. im Landschaftsplan aufgezeigt werden.</p> <p>Durch städtische Begrünungsberater kann eine kostenlose Beratung angeboten werden, um die Möglichkeiten der Förderung von privaten Entsiegelungsmaßnahmen zu erörtern und Unterstützung bei der Antragsstellung anzubieten. Gegenstand spezieller Förderangebote kann z.B. die gezielte Entsiegelung und Begrünung von Innenhöfen, Hinterhöfen etc. in dicht bebauten Stadtquartieren sein. Die Förderung kann kombiniert werden mit Vorteilen im Bereich der Regenwasserversickerung (z.B. gesplittete Abwassergebühren).</p> <p>In entsprechenden Informationsmaterialien können die Folgen einer hohen Versiegelung für die lokale Wärmeentwicklung im Baublock/Quartier aufgezeigt werden. Die Vorteile einer Entsiegelung durch positive Auswirkungen auf die Temperaturen werden dargelegt. Jedem Handlungsträger und Bürger können Informationen darüber vermittelt werden, wie sie vorhandene Versiegelungen gezielt reduzieren können.</p>		X		

3	Neuversie- gelung begrenzen durch ...	Grün- und Freiflächen- nutzung	Einführung ökologi- scher Standards zur Begrenzung der Ver- siegelung	Ökologische Standards umfassen z.B. eine maximal zulässige Versie- gelung oder Schutzzone zur Vermeidung von Versiegelung. Die ökologischen Standards sollen möglichst konkrete, orts-/flächenbezo- gene Aussagen beinhalten und bspw. im Landschaftsplan festgesetzt werden.	Landschafts- plan	X	X	X	X
			Festsetzung von Freiflächenanteilen bzw. reduzierter Ver- siegelung durch Vor- gartensatzung	Durch eine Vorgartensatzung lässt sich die gärtnerische Gestaltung der Vorgärten festlegen. Somit kann die Nutzung als hauswirtschaftliche Flächen, als Arbeits-, Lager- oder Stellplatzflächen verhindert werden.	Satzung	X	X	X	X
			Sensibilisierung der Öffentlichkeit über Nachteile und Risi- ken der Versiegelung	In entsprechenden Informationsmaterialien können die Folgen einer hohen Versiegelung für die lokale Wärmeentwicklung im Baublock/ Quartier aufgezeigt werden. Jedem einzelnen Handlungsträger und Bürger können Informationen darüber vermittelt werden, wie diese Versiegelungen vermieden werden können.	Information	X	X	X	X
			Erhalt von schatten- spendenden Grün- strukturen, insb. großkroniger Bäume durch Baumschutz- satzung	Auf Grundlage des § 29 BNatSchG ist es möglich Bäume im Innenbe- reich als "Geschützte Landschaftsbestandteile" mittels einer Baum- schutzsatzung nach §12 Abs. 1 Satz 3 und Abs. 2 Satz 2 HAGBNatSchG unter Schutz zu stellen.	Satzung	X	X	X	X
4	Beschattung von öffentli- chen Plätzen und Freiflä- chen durch ...	Grün- und Freiflächen- nutzung	Neuanlage von schat- tenspendenden Grünstrukturen	Insbesondere in Bereichen mit hohem Publikumsverkehr wie Plätzen, ÖPNV- Haltestellen, etc. bieten sich Pflanzungen von schattenspenden- den Stadtbäumen besonders gut an (bei der Anordnung der Bäume in Straßenräumen und auf Plätzen ist unbedingt auf eine günstige Beschattungswirkung, gerade auch für Sitzgelegenheiten, zu achten). Entsprechende Pflanzungen können über den Landschaftsplan vorge- sehen werden. Falls für entsprechende Gebiete ein Bebauungsplan erstellt wird, können Pflanzgebote über § 9 Abs. 1 Nr. 25a BauGB festgesetzt werden.	Landschafts- plan Bebauungs- plan Vorgaben Weitbewerbe, VEP	X	X	X	X
			Anpassung der Pflanz- bedingungen an zunehmende Hitze und Trockenheit	Zur Anpassung an zunehmende Hitze und Trockenheit ist z.B. auf Folgendes zu achten: - Große Baumscheiben und Pflanzgruben - Schaffung von Niederschlagswasserspeicherungen und Versi- ckerungsmöglichkeiten - Verbesserung der Durchlässigkeit der oberen Bodenschicht durch Einsatz von Stauden und Bodendeckern - Baumbeete mit wasserspeichernden Substraten angelegt, um großer Trockenheit vorzubeugen - Einbau von Bewässerungsrohren	Information Beratung Eigene Ausführung Vorgaben Weitbewerbe, VEP	X	X	X	X
5	Baumstand- orte auf zunehmende Hitze vorbereiten durch ...	Grün- und Freiflächen- nutzung	Gewährleistung einer ausreichenden Pflege und Wasser- versorgung auch in Trockenperioden	Die Grünflächenunterhaltung in der Stadt muss insgesamt auf Herausfor- derungen durch längere Hitze und Trockenheit angepasst werden. Möglichkeiten sind die Einrichtung automatischer Bewässerungsanla- gen oder der Einbezug der Bevölkerung für bspw. „Bewässerungs- kampagnen“ während Hitze- und Trockenperioden. Durch ein Baumkataster kann während Hitzeperioden die Identifizie- rung von besonders pflegebedürftigen Bäumen erleichtert werden, um so eine rechtzeitige Bewässerung zu gewährleisten.	Information Eigene Ausführung	X	X	X	X

6	Auswahl geeigneter Pflanzenarten für Neupflanzungen	Grün- und Freiflächen-nutzung	Pflanzung von hitze-resistenten und schattenspendenden Stadtbäumen	<p>Wichtig ist die Auswahl von hitze- und trockenoleranten Pflanzenarten bei Neupflanzungen (entsprechende Artenlisten gibt die Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz GALK heraus). Dabei sollte im innerörtlichen Bereich zugunsten einer langfristigen Vitalität des Gehölzbestandes auch eine Verwendung nichtheimischer Arten möglich sein. Eine für die lokale Situation angepasste Auswahl entsprechender Arten kann im Landschaftsplan getroffen werden. Entsprechende Festsetzungen sind über § 9 Abs. 1 Nr. 25a BauGB möglich.</p> <p>Bei Neupflanzungen ist auf allergenes Risiko und auf die Resilienz der Bäume (z.B. Widerstandsfähigkeit gegen Krankheiten) zu achten.</p>	Information Bebauungsplan Landschaftsplan Vorgaben Weitbewerbe, VEP	X	X	X	X
7	Durchflüchtungswege schaffen durch ...	Grün- und Freiflächen-nutzung	Vorgabe der Pflanzenarten im Grünordnungsplan bzw. Bauungsplan auf Basis entsprechender Artenlisten der Landschaftsplanung	<p>Vorhandene Durchflüchtungswege, die ggf. teilweise im Querschnitt bereits bebaut oder aus sonstigen Gründen nur eingeschränkt ihre Funktion erfüllen, können durch geeignete Maßnahmen (z.B. Rückbau von Baukörpern (bspw. durch das Rückbau- und Entsiegelungsgebot § 179 BauGB), Rücknahme hochwachsender Pflanzungen) erweitert und somit in ihrer Funktion verbessert werden. Gerade in bestehenden Quartieren trägt dies zu einer lokalen Verbesserung der Kaltluftausströmung bei.</p> <p>Sind entsprechende Stellen identifiziert, kann ggf. mit den Eigentümern das Gespräch gesucht und hinsichtlich der erwünschten Maßnahmen beraten werden. Soweit es sich um Grundstücke im Eigentum der Kommune handelt, können eigene Maßnahmen ergriffen werden.</p>	Information Beratung Bebauungsplan Eigene Ausführung	X	X	X	X
8	Durchflüchtungswege sichern durch ...	Grün- und Freiflächen-nutzung	Sicherung der Flächen mit Funktion eines Durchflüchtungswegs	<p>Durch die Freilegung von Bachläufen können neue Kaltluftleitbahnen geschaffen werden. Entsprechende Maßnahmen können im Landschaftsplan vorbereitet werden. Eine Umsetzung ist z.B. im Rahmen von Ausgleichsmaßnahmen für Eingriffe möglich.</p> <p>Die im Landschaftsplan bzw. Grünordnungsplan dargestellten Durchflüchtungswege werden durch die Aufnahme und Festsetzung in den Bauleitplänen rechtsverbindlich gesichert (z.B. als Grünfläche, Sport und Spielanlagen oder als landwirtschaftliche Fläche). Dafür kommen die Festsetzungsmöglichkeiten nach § 9 Abs. 1 BauGB in Betracht. Insbesondere über § 9 Abs. 1 Nr. 10 BauGB können relevante Flächen von Bebauung freigehalten werden.</p>	Landschaftsplan Bebauungsplan Eigene Ausführung	X	X	X	X
9	Optimierte Gebäudeausrichtung durch ...	Gebäude und Baumaterialien	Festsetzung der Gebäudeausrichtung im Bauungsplan	<p>Gebäudeausrichtung zur Nutzung der natürlichen Durchflüchtungswege zur passiven Gebäudekühlung. Textliche Festsetzung im Bauungsplan auf Grundlage des § 9 Abs. 1 Nr. 2 BauGB.</p>	Bebauungsplan	X	X	X	X

10	Verwendung geeigneter Baumaterialien	Gebäude und Baumaterialien	<p>Verwendung heller, hitzeresistenter Materialien bei Renovierungs- und Neubaumaßnahmen</p> <p>Einsatz mobiler Grünanlagen</p> <p>Installation und Betrieb öffentlicher Trinkwasserspender</p> <p>Empfehlungen zum hitzeangepassten Verhalten</p> <p>Sensibilisierung und Schulung des Betreuungspersonals von empfindlichen Bevölkerungsgruppen</p> <p>Installation technischer Beschattung</p> <p>Bereitstellung von klimatisierten Aufenthaltsräumen in öffentlichen Gebäuden</p> <p>Kühle-Orte-Karten und Apps</p>	<p>Geeignete Baumaterialien zeichnen sich aus durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ermöglichung von Dach-/ Fassadenbegrünung - Verwendung von stark reflektierenden Oberflächenmaterialien (Cool Colours) insbesondere bei Dächern (weiße Dächer) führt dazu, dass mehr Sonnenstrahlung reflektiert wird und die Bebauung sich weniger stark erwärmt - Reduzierung der Wärmespeicherkapazität durch Wärmeisolierung und geeignete Fassadenmaterialien und Baustoffe - Mit Hilfe einer Gestaltungsatzung gem. § 91 HBO können örtliche Regelungen zur äußeren Gestaltung baulicher Anlagen formuliert werden. <p>Beispielsweise mit "mobilen Planzen (Kübelpflanzen)", welche in hitzebelasteten Stadtquartieren platziert werden.</p> <p>Entsprechende Trinkwasserspender sollten insbesondere auf Plätzen mit hohem Publikumsverkehr wie öffentliche Plätze, ÖPNV-Haltestellen etc. zur Verfügung stehen.</p> <p>Über Informationsmaterialien und Beratungsangeboten können Empfehlungen weitergegeben werden, z.B. zu folgenden Themen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Angepasstes Lüftungsverhalten während der kühleren Nacht- und Morgenstunden - Das Vermeiden der Nutzung von wärmeabgebenden Geräten - Einsatz von Verdunklungen bei direkter Sonneneinstrahlung <p>Informationsaktivitäten sind z.B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Informationsflyer für Betreuungspersonal bereitstellen - Informationsveranstaltungen für Betreuungspersonal im Themenfeld „Hitzegefahren durch den Klimawandel“ anbieten. - Verteilung von Informationen per Post, Rundmails oder der Homepage der Kommune <p>Insbesondere in Bereichen mit hohem Publikumsverkehr wie Plätze, ÖPNV-Haltestellen etc.; durch Installation von Sonnensegeln in Fußgängerzonen; Sonnenschutzfolien auf transparenten Dächern, z.B. von Haltestellen.</p> <p>Bereitstellung von öffentlich zugänglichen Aufenthaltsräumen mit Ausgabe von kostenfreiem Wasser und eine grundlegende medizinische Versorgung durch das Rote Kreuz. Während der höchsten Hitzebelastung (14:00 Uhr bis 19:00 Uhr) könnten diese beispielsweise in Quartierzentren, Alterspflegeheimen, Kirchen oder Verwaltungsgebäuden eingerichtet werden. Durch einen Bring- und Holdienst der Betreuungs- und Sozialdienste ermöglicht es auch Personen mit eingeschränkter Mobilität die klimatisierten Aufenthaltsräume zu nutzen. Diese Maßnahme kann ggf. in einen Hitzeaktionsplan aufgenommen werden.</p> <p>Im Falle von Hitzewellen könnte eine App auf Grundlage von Nutzerdaten Informationen über das individuelle Risiko, kostenfreie Trinkwasserentnahmestellen und die nächstgelegenen kühlen Orte der Stadt (wie zum Beispiel Bibliotheken, Gemeinde- und Kulturzentren etc.) aufzeigen und eine Route dorthin berechnen.</p>	<p>X</p> <p>X</p> <p>X</p> <p>X</p> <p>X</p> <p>X</p> <p>X</p> <p>X</p>	<p>Information Bebauungsplan Satzung</p> <p>Eigene Ausführung</p> <p>Eigene Ausführung</p> <p>Information Beratung</p> <p>Information Beratung</p> <p>Konzepte (Hitzeaktionsplan) Vorgaben Wettbewerbe, VEP</p> <p>Konzepte (Hitzeaktionsplan) Eigene Ausführung</p> <p>Konzepte (Hitzeaktionsplan) Eigene Ausführung</p>
11	Entlastung der Bevölkerung in hitzebelasteten Stadtquartieren durch ...	Menschliche Gesundheit				

12	<p>Informationen über Hitzebelastungen am Arbeitsplatz (insb. Freiluftberufe)</p>	<p>Menschliche Gesundheit</p>	<p>Erste-Hilfe-Maßnahmen organisieren</p>	<p>Erste-Hilfe-Maßnahmen sollten in einem Handlungsplan mit klar definierten Verantwortlichkeiten festgelegt werden.</p>	Konzepte (Hitzeaktionsplan)	X	X
			<p>Bewusstsein und Aufklärung zur Hitzebelastung am Arbeitsplatz über verschiedene Informationskanäle schaffen</p>	<p>Geeignete Informationsaktivitäten sind z.B.: - Hitzeflyer bei Ärzten und in Apotheken auslegen - Rundmails an kommunale Angestellte sowie kooperierende Unternehmen, um auf die Gefahren extremer Hitzewetterlagen hinzuweisen - Mitteilungshefte und Homepages der Gemeinden nutzen</p>	<p>Konzepte (Hitzeaktionsplan)</p>	X	X
13	<p>Berücksichtigung von Hitzewellen als Szenario in der Alarm- und Einsatzplanung der Rettungsdienste</p>	<p>Menschliche Gesundheit</p>	<p>Hinweise an Gewerbebetriebe hinsichtlich Quarantänen / Quarantieren, bei denen Vorsorgemaßnahmen zum hitzeangepassten Arbeiten wichtig sind</p>	<p>Information der Gewerbebetriebe über die Räume mit besonderer Wärmebelastung und Information über geeignete Vorsorgemaßnahmen, z.B.: - Sensibilisierung der Mitarbeiter und Schärfung der Aufmerksamkeit - Anpassung der Arbeits- und Pausenzeiten (Beispielsweise die Pausenzeiten bei Freiluftberufen zwischen 11 Uhr und 15 Uhr (Sommerzeit in Deutschland) legen, um vor intensiver Sonnenstrahlung zu schützen) - Lockerung der Bekleidungsvorschriften - Bereitstellung von Getränken - Wärmequellen im Gebäude reduzieren oder vermeiden - Schutz vor übermäßiger Sonneneinstrahlung - Möglichst im Schatten arbeiten</p>	Information Beratung	X	X
			<p>Durchführen von regelmäßige Übungen</p>	<p>Übungen sollten mindestens Akteure einbinden der Feuerwehren, Not- und Rettungsdienste, Krankenhäuser, Ärzteschaft/Praxen. Diese Maßnahme kann ggf. in den Hitzeaktionsplan aufgenommen werden.</p>	Konzepte (Hitzeaktionsplan)	X	X
			<p>Integration der Hitze-komponente in existierende Pläne und Konzepte</p>	<p>Wichtig ist insbesondere die Sicherstellung ausreichender personeller, finanzieller und technischer Ressourcen während Hitzewellen. Diese Maßnahme kann ggf. in den Hitzeaktionsplan aufgenommen werden.</p>	Konzepte (Hitzeaktionsplan)	X	X
			<p>Einrichtung eines "Buddy-Systems"</p>	<p>Während Hitzewellen werden angemeldete Personen angerufen und nach dem Wohlbefinden gefragt. Falls ein Anruf wiederholt nicht beantwortet wird, wird versucht auf anderen Wegen einen Kontakt herzustellen. Diese Maßnahme richtet sich primär an Personen über 75 Jahren. Die Anmeldung kann telefonisch, per Mail oder über die Sozialdienste erfolgen. Diese Maßnahme kann ggf. in den Hitzeaktionsplan aufgenommen werden.</p>	Konzepte (Hitzeaktionsplan)	X	X

16	Sicherung einer angemessenen Durchgrünung und Gestaltung der Baugrundstücke	Raum- und Siedlungsstruktur	<p>Multifunktionale Nutzung von Flächen</p> <p>Festsetzung von Freiflächenanteilen bzw. reduzierter Versiegelung im Bebauungsplan</p> <p>Rechtsverbindliche Festsetzung im Bebauungsplan für die Erhaltung von Bäumen und Sträuchern in einem Bebauungsplangebiet oder Teilen davon</p>	<p>Zur Klimaanpassung sollten verschiedene Funktionen wie beispielsweise Regenwasserbewirtschaftung und Verdunstungskühle durch in der Fläche gehaltenes Niederschlagswasser bis hin zum Aufenthalts- und Erholungsraum, Raum für Spiel und Sport und Lebensraum für Pflanzen und Tiere bei der Planung verknüpft werden, um den Flächenverbrauch klimarelevanter Flächen zu minimieren.</p> <p>§ 9 Abs. 1 Nr. 20 BauGB ermöglicht ausdrücklich Festsetzungen zum Schutz des Bodens, z.B. über die Einschränkungen der Versiegelung von Grundflächen (Stellplatzflächen, Zufahrten und Wegen) aus Gründen des Bodenschutzes wie aus Gründen der Anreicherung des Grundwassers. Darüber kann u.a. die Verwendung von wasser- und luftdurchlässigen Unterbauten und Aufbau (z.B. mit Rasensteinen, Schotterrasen oder Pflaster mit mehr als 30% Fugenanteil) geregelt werden.</p> <p>Festsetzung der Größe und Ausgestaltung von Verkehrsflächen auf Grundlage von § 9 Abs. 1 Nr. 11 BauGB.</p> <p>Festsetzung der Unzulässigkeit von Stellplätzen, Garagen oder sonstigen Nebenanlagen auf den nicht überbaubaren Grundstücksflächen auf Grundlage von § 12 Abs. 6 u. § 14 BauNVO.</p> <p>Festsetzungen zur Errichtung von Stellplätzen und Garagen ausschließlich im Bereich der überbaubaren Grundstücksfläche, also in Geschossen der baulichen Anlage (z.B. Untergeschoss) auf Grundlage von § 12 Abs. 4 u. Abs. 5 BauNVO.</p> <p>Festsetzungen über das Maß der baulichen Nutzung (Grundflächenzahl) auf Grundlage von § 9 Abs. 1 Nr. 1 BauGB; § 16 Abs. 4 Nr. 1/4 BauNVO.</p> <p>Festsetzung der überbaubaren und nicht überbaubaren Grundstücksfläche auf Grundlage von § 9 Abs. 1 Nr. 2 BauGB.</p> <p>Plätze und Freiflächen mit einer guten Grünstruktur und insbesondere schattenspendenden Bäumen sollten explizit als erhaltenswert ausgewiesen werden. Dies kann insbesondere im Landschaftsplan erfolgen, muss bei Bedarf dann auch in Bebauungspläne übernommen werden (z.B. durch § 9 Abs. 1 Nr. 25b BauGB Flächen für die Erhaltung von Bäumen, Sträucher und sonstigen Bepflanzungen).</p>	<p>Landschaftsplan Flächennutzungsplan Vorgaben Wettbewerbe, VEP</p> <p>Bebauungsplan Vorgaben Wettbewerbe, VEP</p> <p>Bebauungsplan</p> <p>Bebauungsplan</p> <p>Bebauungsplan</p> <p>Bebauungsplan</p> <p>Bebauungsplan</p> <p>Bebauungsplan</p> <p>Bebauungsplan Vorgaben Wettbewerbe, VEP</p>	<p>X</p>	<p>X</p> <p>X</p> <p>X</p> <p>X</p> <p>X</p> <p>X</p> <p>X</p> <p>X</p> <p>X</p>	
----	---	-----------------------------	--	---	--	---	--	--

17	Förderung einer angemessenen Durchgrünung und Gestaltung der Baugrundstücke	Raum- und Siedlungsstruktur	Multifunktionale Nutzung von Flächen	Zur Klimaanpassung sollten verschiedene Funktionen wie beispielsweise Regenwasserbewirtschaftung und Verdunstungskühle durch die Fläche gehaltenes Niederschlagswasser bis hin zum Aufenthalts- und Erholungsraum, Raum für Spiel und Sport und Lebensraum für Pflanzen und Tiere bei der Planung verknüpft werden, um den Flächenverbrauch klimarelevanter Flächen zu minimieren.	Bebauungsplan	X	X	X	
			Förderung der Entsiegelung privater Flächen	Die Festsetzung von Entsiegelungsmaßnahmen für Flächen, die künftig nicht mehr als Bau- oder Verkehrsflächen genutzt werden (sollen), kann als bodenschützende Ausgleichsmaßnahme über § 9 Abs. 1 Nr. 20 BauGB festgesetzt werden. Hier ist zu beachten, dass solche Maßnahmen aufgrund potenzieller Entsiegelungsforderungen nur in Ausnahmefällen in Betracht kommen.	Bebauungsplan	X	X	X	
			Vorgabe der Pflanzenarten im Grünordnungsplan bzw. Bebauungsplan auf Basis entsprechender Artenlisten der Landschaftsplanung	Möglichkeit der Verpflichtung zur Beseitigung einer baulichen Anlage bzw. versiegelten Fläche, wenn diese den Festsetzungen des Bebauungsplans nicht mehr entsprechen und ihnen nicht angepasst werden können (Rückbau- und Entsiegelungsgebot § 179 BauGB)	Bebauungsplan	X	X	X	
18	Entwicklung einer stadtklimatisch günstigen Freiflächenstruktur	Raum- und Siedlungsstruktur	Aufwertung öffentlicher und privater Flächen, Erhalt und Anlage von Mikroparks / einer Mikropark"struktur"	Plätze und Freiflächen mit einer guten Grünstruktur und insbesondere schattenspendenden Bäumen sollten explizit als erhaltenswert ausgewiesen werden. Dies kann insbesondere im Landschaftsplan erfolgen, muss bei Bedarf dann auch in Bebauungspläne übernommen werden (z.B. durch § 9 Abs. 1 Nr. 25b BauGB Flächen für die Erhaltung von Bäumen, Sträucher und sonstigen Bepflanzungen).	Landschaftsplan Bebauungsplan	X	X	X	
			Definition von Orientierungswerten zur Durchgrünung im Landschaftsplan	Viele kleinere Grünflächen können über ihre Summenwirkung und bei insgesamt ausreichender Anzahl zu einer Verminderung thermischer Belastungen bzw. des Wärmeinsel-Effektes beitragen. Wichtig ist, dass sie entsprechend vernetzt und stadträumlich sinnvoll angeordnet sind, z.B. an die großen Durchführungswege angebunden sind. Die gesamtstädtische Betrachtung erfolgt im Landschaftsplan, ggf. auch im Flächennutzungsplan.	Landschaftsplan Flächennutzungsplan	X	X	X	
			Rückbau von ungenutzten Baukörpern	Über entsprechende Kennzahlen und quantitative Messgrößen für die Durchgrünung im Landschaftsplan (gesamtstädtische Betrachtung) erfolgt eine Sicherstellung einer ausreichenden Frei- und Grünflächenversorgung. Die Orientierungswerte werden dabei auf die Einwohner bezogen (6 bis 15 m ² Grünflächenbedarf pro Einwohner), auch die Erreichbarkeit und nutzungsbezogene Mindestgrößen spielen eine Rolle.	Landschaftsplan Vorgaben Weitbewerbe, VEP	X	X	X	X
19	Schaffung von Frischluft- und Kaltluftentstehungsgebieten	Raum- und Siedlungsstruktur	Textliche Festsetzung der Verwendungs- und Versiegelungsmaterialien im Bebauungsplan	Durch den Rückbau von ungenutzten Baukörpern ist es möglich die dadurch gewonnene Fläche als Frischluft- bzw. Kaltluftentstehungsgebiet aufzuwerten. Möglichkeit der Verpflichtung zur Beseitigung einer baulichen Anlage bzw. versiegelten Fläche, wenn diese den Festsetzungen des Bebauungsplans nicht mehr entsprechen und ihnen nicht angepasst werden können (Rückbau- und Entsiegelungsgebot) über § 179 BauGB.	Bebauungsplan und entsprechende Anordnung	X	X	X	
				Dadurch kann Niederschlagswasser in der Fläche gehalten werden, wodurch Verdunstungskühle entstehen kann. Dies kann im Textlichen Teil festgehalten werden (Bspw.: "Im Geltungsbereich des Bebauungsplans sind Stell- und Parkplätze sowie Fahr- und Gehwege auf den privaten Grundstücken nur in wasserdurchlässiger Ausführung (Pflaster mit mindestens 30% Fuganteil, Rasensteine, Schotterrasen o.ä.) zulässig).	Bebauungsplan	X	X	X	X

20	<p>Freihaltung von Transportbahnen für Frischluft- und Kaltluftzufuhr</p>	Raum- und Siedlungsstruktur	<p>Festsetzung der Mindestgröße von Baugrundstücken im BauGB</p>	<p>Die Festsetzung der Mindestgröße von Baugrundstücken (§ 9 Abs. 1 Nr. 3 BauGB) kann auf Basis der Analyse der Kaltluftströme die Durchluftungsmöglichkeit eines Gebietes fördern. In der Begründung zum Flächennutzungsplan (§ 5 Abs. 5 BauGB) bzw. in der Begründung zum Bebauungsplan (§ 9 Abs. 8 BauGB) ist auf die lokal klimatische Bedeutung der betreffenden Flächen für die Frischluftversorgung des Siedlungsraumes besonders einzugehen.</p>	X			X
			<p>Vorgaben zur Freihaltung von Transportbahnen im Bebauungsplan festlegen</p>	<p>Die Freihaltung der Transportbahnen kann auf Basis der Analyse der Kaltluftströme durch bspw. die Festsetzung der Grundstücksgröße, der Bauweise (§ 22 Abs. 1, 2 BauNVO) und der überbaubaren Grundstücksfläche (§ 23 Abs. 1 i. V. m. § 16 Abs. 5 BauNVO), sowie der Höhe baulicher Anlagen (§ 16 Abs. 4, 5 i. V. m. § 18 Abs. 1 BauNVO) im Bebauungsplan festgelegt werden.</p>	X			X
21	<p>Klimafunktion von Flächen für angrenzende Siedlungsräume beachten</p>	Raum- und Siedlungsstruktur	<p>Anpassung der baulichen Dichte in klimatisch sensiblen Bereichen durch Festlegung im Bebauungsplan</p>	<p>Die bauliche Dichte wird u.a. beeinflusst durch die bebaubare Grundfläche (§ 16 Abs. 2 Nr. 1 i. V. m. § 19 BauNVO), Anordnung und Größe der Verkehrsflächen (§ 9 Abs. 1 Nr. 11 BauGB) und Anordnung und Größe der Grünflächen (§ 9 Abs. 1 Nr. 15 BauGB).</p>	X			X
			<p>Minimierung von negativen Beeinträchtigungen bei unvermeidbaren baulichen Querungen</p>	<p>Beispielsweise sind Talquerung durch Brücken verträglicher als in Form von Dämmen.</p>	X			X
			<p>Berücksichtigung der Klimafunktionen bei der Stadtentwicklung</p>	<p>Über ein entsprechendes Fachgutachten zum Landschaftsplan kann die Berücksichtigung von klimarelevanten Funktionen zwischen unterschiedlichen Siedlungsräumen sichergestellt werden.</p>	X			
			<p>Entscheidungsgrundlage zum klimagerechten Flächenmanagement erstellen</p>	<p>Erstellung eines Konzeptes zum klimagerechten Flächenmanagement als Entscheidungsgrundlage für die Innen- und Außenentwicklung der Kommune. Dabei werden insbesondere die funktionalen Beziehungen der Flächen zueinander dargestellt. Bei der Erstellung können Fachgutachten zum Landschaftsplan oder Themenkarten zum Stadtklima als hilfreiche Grundlage dienen.</p>	X			
			<p>Kooperation mit angrenzenden Kommunen zur Sicherung von Flächen mit Bedeutung für Frisch-/Kaltluftversorgung</p>	<p>Beispielsweise durch die Schaffung langfristig gültiger Absprachen zwischen benachbarten Kommunen z. B. für das Freihalten von Frischluftschneisen oder Kaltluftentstehungsgebieten über kommunale Grenzen hinweg.</p>	X			

Bildnachweis

Seite 6: „Thermometer“, © Gerd Altmann (geralt) - pixabay.com
Seite 20: „Park“, © MabelAmber - pixabay.com



Hessisches Landesamt für
Naturschutz, Umwelt und Geologie
Für eine lebenswerte Zukunft