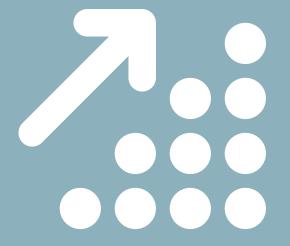
GANZ SCHÖN **HEISS** HIER

Lösungsansätze für eine hitzeangepasste Stadtentwicklung











Impressum

FORSCHUNGSVERBUND

Verbundkoordination



Universität Stuttgart, Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung (IREUS) unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Jörn Birkmann

Verbundpartnerschaft



Universität Stuttgart (IREUS)

Prof. Dr.-Ing. Jörn Birkmann, Kevin Laranjeira, Franziska Göttsche

IRPUD

Technische Universität Dortmund, Institut für Raumplanung (IRPUD)

Prof. Dr. Stefan Greiving, Dr. Mark Fleischhauer, Tanja Schnittfinke, Marisa Fuchs,

Dr. Wiriya Puntub, Sophie Arens



Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU) Prof. Dr. Matthias Garschagen, Antje Katzschner

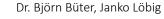


United Nations University; Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS)

Dr. Simone Sandholz, Mia Wannewitz, Dominic Sett



GEO-NET Umweltconsulting GmbH





agl Hartz • Saad • Wendl, Landschafts-, Stadt- und Raumplanung Andrea Hartz, Sascha Saad, Svenja-Sarah Dörrenbächer, Christine Schaal-Lehr



Stadt Bonn

Joachim Helbig, Jessica Löffler



Stadt Ludwigsburg

Albrecht Burkardt, Amely Krafft, Charlotte Klose



Erstellung der Broschüre

Andrea Hartz, Svenja-Sarah Dörrenbächer, Christine Schaal-Lehr, Simone Köcher (agl)



Projektförderung

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), im Rahmen der Bekanntmachung Sozial-Forschung im thematischen Schwerpunkt Nachhaltige Transformation urbaner Räume

Projektlaufzeit: September 2016 bis Oktober 2022

Bilder Cover: ReinventingSociety/Loomn (Vorderseite); Stadt Ludwigsburg (Rückseite)

Dezember 2023

GANZ SCHÖN **HEISS** HIER

Lösungsansätze für eine hitzeangepasste Stadtentwicklung

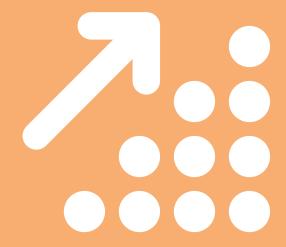
Die Broschüre fasst die Ergebnisse der beiden BMBF-Forschungsvorhaben zusammen:

ZURES I

Zukunftsorientierte Vulnerabilitätsund Risikoanalyse als Instrument zur Förderung der Resilienz von Städten und urbanen Infrastrukturen (2016 –2019)

ZURES II

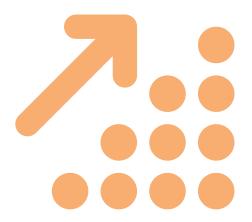
Anwendung und Verstetigung der zukunftsorientierten Klima- und Vulnera bilitätsszenarien in ausgewählten Instrumenten und Planungsprozessen (2020–2022)



Inhalt

1	Das Forschungsvorhaben ZURES	6
2	Hitze in der Stadt: Worauf müssen wir uns einstellen?	10
3	Gute Planungsgrundlagen für eine hitzeangepasste Stadtentwicklung	16
4	Stadtklimaanalysen und Hotspotkarten der neuen Generation	20
5	Herausforderungen Vulnerabilitätsanalysen	30
6	An welchen Anpassungszielen orientieren wir uns?	40
7	Welche Maßnahmen reduzieren die Hitzebelastung in der Stadt?	46
8	Welche Planungsinstrumente stehen uns zur Verfügung?	54
9	Was ist zu tun?	62
	Quellenverzeichnis	66

Das Forschungsvorhaben ZURES



Das Verbundprojekt ZURES – Zukunftsorientierte Vulnerabilitätsund Risikoanalyse als Instrument zur Förderung der Resilienz von Städten und urbanen Infrastrukturen – wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der Initiative "Nachhaltige Transformation urbaner Räume" gefördert.

Der Weltklimarat warnt in seinem neuesten Bericht vor den Folgen eines beschleunigten Klimawandels (IPCC 2022). Die Regionen und Städte in Deutschland verstärken deshalb ihre Anstrengungen hinsichtlich des Klimaschutzes und der Anpassung von Raumstrukturen an zunehmende Extremereignisse wie Flutkatastrophen, Hitzewellen und Dürren. Von besonderer Bedeutung ist es dabei, nicht nur die Gefahrenseite in den Blick zu nehmen, sondern auch die Verwundbarkeit der Bevölkerung sowie der Siedlungs- und Infrastrukturen.

Die Verwendung von Daten zu aktuellen Gefährdungen, wie beispielsweise der Hochwassergefahrenkarten oder auch von Szenarien zur Veränderung der Temperatur- und Niederschlagsregime im Zuge des Klimawandels, gehört mittlerweile zum Standard bei der Erarbeitung von Anpassungsstrategien in der räumlichen Planung. Demgegenüber finden Daten zur aktuellen gesellschaftlichen Verwundbarkeit oder gar Szenarien zu deren Veränderungen in der Zukunft nur noch selten Eingang in die Analyse und Bewertung von Risiken.

Trotz der Klimaschutznovelle des Baugesetzbuchs (BauGB) herrscht eine große Verunsicherung in Politik und Verwaltung, wie stadtklimatische Analysen und Vulnerabilitätsanalysen sinnvoll und rechtlich verbindlich in die vorbereitende und verbindliche Bauleitplanung implementiert werden können. Zwar kann in deutschen Groß- und Mittelstädten bereits vielfach auf Fachinformation zur Berücksichtigung von gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch Hitzestress zurückgegriffen und diese in Abwägungs- und Entscheidungsprozesse eingestellt werden. Jedoch gibt es in Bezug auf Hitzestress keine normativen Regelungen wie Richt- oder Grenzwerte.

Bei der Erstellung von Klimaanalysen und Planungshinweiskarten wird zudem vorrangig das Stadtklima betrachtet. Es gibt nur wenige Beispiele, die die gegenwärtige stadtklimatische Situation mit demografischen Daten, sensiblen Nutzungen und Einrichtungen (SenStadtUm 2015, Stadt Nürnberg 2014, Stadt Köln 2013, Reutlingen 2020) oder Umweltgerechtigkeitsansätzen (SenStadtUm 2016) überlagern. Praxisbeispiele, die im Rahmen ihrer kommunalen Anpassungsstrategien neben Klimawandelszenarien auch zukünftige Entwicklungen beim demografischen Wandel, Landnutzungswandel oder in Bezug auf sozioökologische und sozioökonomische Veränderungsprozesse einbeziehen, stellen Einzelfälle dar. Eine Zusammenführung in Richtung me-

thodischer Standards steht noch aus. So bleibt die soziale Dimension des Klimawandels bei der Entwicklung von Klimaanpassungsmaßnahmen zumeist unterrepräsentiert. Hier bedarf es neuer Handlungsstrategien, denn gerade benachteiligte Quartiere weisen aufgrund ihrer Dichte, ihres Mangels an Freiräumen und ihrer Lärm- und Feinstaubbelastungen eine verhältnismäßig hohe zusätzliche Belastungssituation auf. Kommunen greifen somit vielfach zu kurz, wenn sie bei kommunalen Anpassungsstrategien lediglich die zukünftige klimatische Veränderung betrachten (Birkmann/Garschagen 2014).

Vor diesem Hintergrund widmete sich die ZURES-Verbundpartnerschaft der gesellschaftlichen Verwundbarkeit (synonym: Vulnerabilität) gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels. Ziel war es, die Verwundbarkeit der Bevölkerung sowie der Siedlungsund Infrastrukturen angemessen abzubilden und in die sozioökonomischen Veränderungsprozesse auf städtischer Ebene einzubetten. Konkret befasste sich die ZURES-Verbundpartnerschaft mit der Entwicklung neuer Methoden und Instrumente zur zukunftsorientierten Vulnerabilitäts- und Risikoabschätzung in städtischen Räumen. Der Fokus lag auf der Thematik Hitzestress. Die Ergebnisse leisten einen Beitrag zu einer auf Nachhaltigkeit und Resilienz ausgerichteten Stadtentwicklung.

Das ZURES-Projekt wurde in zwei Teilprojekten durchgeführt:

- ZURES I von September 2016 bis November 2019 mit den beiden Modellstädten Bonn und Ludwigsburg,
- ZURES II von Juli 2020 bis Oktober 2022 mit Vertiefungen in der Stadt Ludwigsburg.

Die Modellstädte Bonn und Ludwigsburg weisen ähnliche Problemlagen in Bezug auf zunehmenden Hitzestress auf. Beide Städte müssen sich zudem mit einem erheblichen Entwicklungsdruck auf unbebauten Freiflächen auseinandersetzen. Die ZURES-Verbundpartnerschaft hat deshalb in beiden Städten

Transformationsprozesse auf kleinräumiger Ebene in den Fokus genommen, die dazu beitragen, dass die thermische Belastung der Bevölkerung steigt. Analysen zum gegenwärtigen Zustand sowie zu den Veränderungen des Stadtklimas wurden in Form von Szenarien für die gesamtstädtische und teilstädtische Ebene erarbeitet und mit sozioökonomischen sowie soziodemografischen Szenarien zur Vulnerabilität verknüpft. In einem nächsten Schritt wurde ausgelotet, wie die methodischen Ansätze und Ergebnisse in die Instrumente der Stadtentwicklung einfließen können. Zudem galt es, daraus Schlussfolgerungen für eine Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf andere Städte zu ziehen.

In der Verstetigungsphase ZURES II befasste sich die Verbundpartnerschaft mit der direkten Nutzbarkeit der Klima- und Vulnerabilitätsszenarien und deren Implementierung in Planungsprozessen der Stadt Ludwigsburg. Das Projekt ZURES II begleitete daher die Erarbeitungsprozesse zu einem gesamtstädtischen Stadtentwicklungsplan sowie von Stadtteilentwicklungsplänen für die Stadtteile Innenstadt und Ost. Das heißt, dass die Integration und Verwertung der neuen Informationen und Szenarien sowohl in der Bestandsaufnahme, der Zielentwicklung als auch bei konkreten Maßnahmen und Handlungsfeldern eine zentrale Rolle spielten. Die generelle Anwendbarkeit der ZURES I-Ergebnisse wurde bereits intensiv in Wissenschafts-Praxis-Dialogen diskutiert und in der Verstetigungsphase nochmals konkret aufgegriffen.

Das Projekt gliederte sich in unterschiedliche Bausteine (s. Abb. 1), die zum einen GIS-gestützte Analysen und Modellierungen, zum anderen akteursbezogene bzw. partizipative Ansätze umfassten. Darüber hinaus wurden jeweils Instrumente der Stadtentwicklung und Stadtplanung in den Fokus genommen, um auszuloten, wie sich Ergebnisse von Vulnerabilitätsanalysen integrieren lassen bzw. inwieweit es hierzu bereits Ansätze in der Planungspraxis gibt.

Abb. 1: Bausteine des ZURES-Forschungsvorhabens

Quelle: eigene Darstellung

Analysen und Modellierung

Beteiligung und Partizipation

Instrumente und Empfehlungen

Neue Ansätze für Stadtklimaanalysen in den Modellstädten Bonn (10 x 10 m) und Ludwigsburg (25 x 25 m)

Recherche zu Vulnerabilität

- Literatur
- Beispiele/Fallstudien
- Indikatoren

Szenarien mittlerer und hoher Vulnerabilität (in Abhängigkeit des Alters der Bevölkerung und der sozioökonomischen Ressourcen)

Integrative Planhinweiskarten für die Modellstädte Akteurs- und Governanceanalyse



- Haushaltsbefragungen
- Partizipative Szenarioentwicklung in den Modellstädten
- Workshops mit den Modellstädten zur Begleitung des Arbeitsprozesses



- Online-Umfrage (600 Städte in Deutschland)
 zu thermischer Belastung
- Wissenschafts-Praxis-Dialog

Implementierung in die Planungsinstrumente auf städtischer Ebene (formell/informell) in den Modellstädten

Einsatz in Planungsinstrumenten, u. a.

- Städtebauliche Entwicklungskonzepte
- Bauleitplanung
- Landschaftsplanung
- Hitzeaktionsplan
- Umweltprüfung



Handlungsempfehlungen zu Planungsgrundlagen, Strategien und Instrumenten, Maßnahmen, Kommunikation und Beteiligung

Weiterentwicklung der Stadtklimaanalyse für Ludwigsburg (5 x 5 m)



Weiterentwicklung von Vulnerabilitätsanalysen



Maßnahmen-Szenarien zur Reduktion der thermischen Belastung in Ludwigsburg

Modellierung von Effektstärken zur Priorisierung von Maßnahmen

- Validierung der modellierten Hotspots mit Nutzerinnen und Nutzern
- Beteiligung der Bevölkerung über Veranstaltungen, Online-Befragung, Stadtspaziergänge, partizipatives Mapping
- Workshops mit der Modellstadt Ludwigsburg zur Begleitung des Arbeitsprozesses



Online-Umfrage (191 Städte in Deutschland) zu Vulnerabilität Entwicklung von Zielen für die gesamtstädtische Ebene in Ludwigsburg



Entwicklung von Maßnahmen für die Gesamtstadt sowie für die Ludwigsburger Stadtteile Innenstadt und Ost

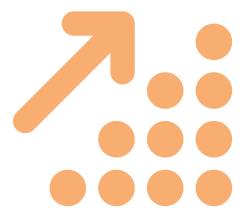


Vertiefende Fallstudien zur Verwendung von Vulnerabilitätskonzepten bzw. -indikatoren in Instrumenten der Stadtentwicklung

URES II



Hitze in der Stadt: Worauf müssen wir uns einstellen?



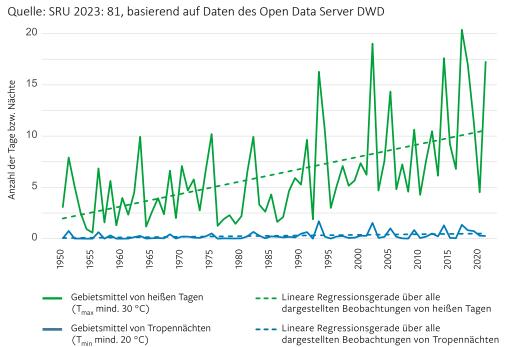
Die globale Erwärmung und die damit verbundene Erhöhung der Durchschnittstemperaturen haben weitreichende Folgen: So beeinflussen höhere Lufttemperaturen die Niederschlagsverhältnisse sowie damit Anzahl und Intensität von Starkregenereignissen und Trockenperioden. Höhere Temperaturen begünstigen zudem die bodennahe Ozonbildung und führen in Verbindung mit Luftschadstoffen zu negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit (UBA 2021; RKI 2023; SRU 2023). Darüber hinaus nehmen

Hitzewellen zu, aufgrund derer sich insbesondere in den Städten die Mortalitätsraten in den vergangenen Jahrzehnten deutlich erhöht haben (ebd.).

Die thermische Belastung und Hitzewellen nehmen zu

Die Zunahme der Hitzebelastung aufgrund des Klimawandels lässt sich anhand der Entwicklung der Anzahl der Heißen Tage, mit einem Temperaturmaximum von über 30° C, im Verlauf der vergangenen 70 Jahre verfolgen (s. Abb. 2). Trotz teils starken Schwankungen zwischen den einzelnen Jahren ist der Trend der Heißen Tage deutlich steigend. Die Jahre 2003, 2015, 2018 sowie 2022, gemittelt über die Gesamtfläche Deutschlands, waren die Jahre mit der höchsten Zahl Heißer Tage (UBA 2022). 2022 wurden etwa 17,3 Heiße Tage in Deutschland verzeichnet (ebd.). Das Gebietsmittel der Tropennächte – das sind Nächte mit Temperaturen über 20° C – zeigt sich im Gegensatz zu den Heißen Tagen weitestgehend konstant. Ein Grund dafür ist, dass der Großteil der Wetterstationen des Deutschen Wetterdiensts (DWD) in ländlichen Gebieten liegen, Tropennächte jedoch vor al-

Abb. 2: Anzahl der Heißen Tage und Tropennächte im Gebietsmittel in Deutschland zwischen 1951 und 2022 mit einem Lufttemperatur-Maximum über 30 Grad Celsius (Gebietsmittel)



lem in städtischen Gebieten auftreten und somit statistisch nicht angemessen in Erscheinung treten (SRU 2023: 81 f.).

Zahlreiche Klimamodellierungen zeigen auf, dass in Zukunft mit einer höheren Frequenz, Intensität und Dauer von Hitzewellen zu rechnen ist (UBA 2022). Diese Hitzewellen sind insbesondere mit bioklimatischen Belastungen verbunden (MKRO 2016: 31), auch wenn es bisher noch keine einheitliche Definition zu Hitzewellen gibt – weder bezüglich der Anzahl der Tage und Nächte mit hoher Temperatur noch hinsichtlich der Schwellenwerte zu Temperaturwerten oder anderen bioklimatischen Indizes (Schillo et al. 2018).

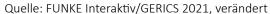
Wird die Anzahl der Heißen Tage und Tropennächte deutschlandweit differenziert betrachtet, so fällt auf, dass es je nach Region gravierende Unterschiede gibt: Mit einer Spannbreite von weniger als 3 bis über 21 Tagen ist die Anzahl der Hitzetage pro Jahr in Deutschland regional sehr unterschiedlich verteilt. Die Differenzen sind jedoch mit Blick auf die geographisch differenzierten klimatischen

und topographischen Bedingungen innerhalb Deutschlands nicht verwunderlich (UBA 2021; RKI 2023).

Die im ZURES-Projekt untersuchten Fallstudienstädte Bonn und Ludwigsburg liegen dabei in den deutschlandweit wärmsten Regionen (s. Abb. 3). Für die Stadt Bonn wird eine Zunahme der Heißen Tage bis zum Ende des 21. Jahrhunderts von sechs auf zehn pro Jahr prognostiziert. Für Ludwigsburg wird angenommen, dass die Anzahl der Heißen Tage pro Jahr um 7,6 ansteigen, sich also mehr als verdoppeln wird. Die Simulationen zeigen für beide Städte zudem eine Zunahme der Tropennächte bis zum Ende des 21. Jahrhunderts – in Bonn um 1,9 und in Ludwigsburg um 3,2 Tage pro Jahr.

Eine steigende Hitzebelastung kann gerade in urbanen Räumen weitreichende Folgen nach sich ziehen. Geprägt durch einen hohen Versiegelungsgrad, wärmespeichernde Baumaterialien, einen verringerten Luftaustausch sowie Luftschadstoffe und anthropogene Wärmequellen kann im Lokalklima der

Abb. 3: Veränderung der Heißen Tage und Tropennächte bis Ende des 21. Jahrhunderts und Fallstudienstädte Bonn und Ludwigsburg



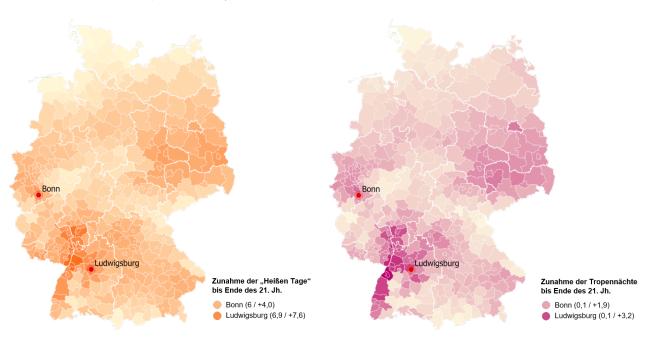
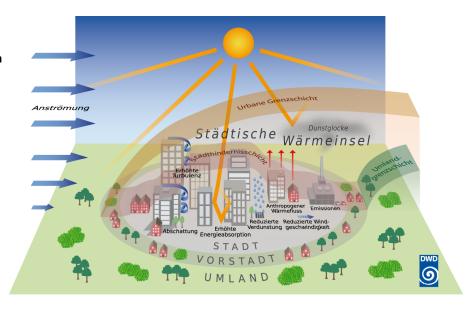


Abb. 4: Das Stadtklima und seine Einflussfaktoren

Quelle: DWD o. J.



Städte der sogenannte Wärmeinseleffekt auftreten (s. Abb. 4). Hierbei tritt eine deutlich höhere bodennahe Lufttemperatur im städtischen Ballungsraum im Vergleich zum ländlichen Umland auf (DWD o. J.). Die bioklimatischen Bedingungen einer Region beeinflussen die Ausprägung der städtischen Wärmeinseln stark. Im Oberrheingraben oder im Rhein-Main-Gebiet führen die bioklimatischen Umgebungsbedingungen beispielsweise zu deutlich höheren Wärmebelastungen als in Norddeutschland (UBA 2021).

Hitzestress wirkt sich stark auf die menschliche Gesundheit und das Wohlbefinden aus

Die gesundheitlichen Folgen hoher Lufttemperaturen reichen von negativen Auswirkungen auf das menschliche Wohlbefinden bis hin zu einem deutlichen Anstieg der Todesfälle, vor allem bei anhaltenden Hitzeperioden. Zwischen 1992 und 2021 kam es insbesondere in den Jahren 1994, 2003, 2006, 2015, 2018 und 2019 zu einer erhöhten Rate an hitzebedingten Sterbefällen. In diesen Jahren gab es jeweils mindestens 6.000 hitzebedingten Sterbefälle (Winklmayr et al. 2022). Besonders anfällig gegenüber thermischer Belastung sind vulnerable Bevölkerungsgruppen, wozu unter anderem ältere Menschen, chronisch Kranke und Kinder zählen (DStGB/Difu 2022: 7). Nicht nur die direkte Hitzeeinwirkung auf den menschlichen Körper wirkt belastend, eine heiße Witterung kann zudem zu einer höheren Schadstoffbelastung der Luft im städtischen Umfeld beitragen und damit Herz-Kreislauf- sowie Atemwegserkrankungen verstärken (SRU 2023; RKI 2023; UBA 2022).

Aufgrund der Tatsache, dass sich die meisten Menschen den größten Teil des Tages in Gebäuden aufhalten, müssen auch die (steigenden) Temperaturen in Innenräumen in Bezug auf die menschliche Gesundheit betrachtet werden (Hartz et al. 2020: 7). Hierbei spielen vor allem mehrtägige Hitzewellen eine entscheidende Rolle, da sich die Gebäude in Abhängigkeit der Bausubstanz und weiterer Faktoren erst über mehrere Tage hinweg aufheizen und die Wärme anschließend in das Innere des Gebäudes abgeben (ebd.).

Der Klimawandel führt in Kombination mit Urbanisierungstendenzen in vielen deutschen Städten zu einem besonderen und drängenden Handlungsbedarf in der Stadtentwicklung, um mit effektiven Maßnahmen eine Reduktion der thermischen Belastung zu erzielen.

Haushaltsbefragung Bonn

Im Rahmen des ZURES-Projekts fanden 2019 in Bonn und in Ludwigsburg Haushaltsbefragungen statt. Die Bevölkerung wurde zur

Wahrnehmung und zu den Auswirkungen von Hitzebelastungen befragt. Dabei wurden Informationen zur aktuellen Wohnsituation, der subjektiv empfundenen Hitzebelastungen in Abhängigkeit des Aufenthaltsorts, individuellen Verhaltensweisen, der Risikowahrnehmung und Anpassungsbereitschaft sowie zu problembezogenen Erwartungshaltungen gegenüber der Stadtplanung erhoben.

Die Auswertung der Haushaltsbefragung (hier am Beispiel von Bonn) zeigt, dass Hitzewellen eine hohe Belastung für die städtische Bevölkerung darstellen (Sandholz et al. 2021). Mehr als 70 % der Befragten befürchten, dass diese Belastungen im Zuge des Klimawandels in der Zukunft zunehmen werden. Im Gegensatz dazu ist die wahrgenommene Bedrohung für den eigenen Haushalt vergleichsweise gering, was verdeutlicht, dass Hitzestress eher als abstraktes aber nicht unbedingt persönlich konkretes Risiko verstanden wird.

Das Hitzeempfinden wurde an verschiedenen Orten innerhalb der Stadt sehr unterschiedlich bewertet. Während die Mehrzahl der Befragten die Hitze in Parks und Gärten nicht oder nur wenig wahrnimmt, fällt die Bewertung im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) und

der Bonner Innenstadt deutlich schlechter aus. Insbesondere in der dicht bebauten und wenig begrünten Innenstadt und dem oft ohne Klimaanlage operierenden ÖPNV wird Hitze als stark oder sogar sehr stark empfunden. Weitere Unterschiede zeigten sich bei verschiedenen Wohnformen. Befragte in größeren Wohnungen und freistehenden Häusern bewerteten Hitzewellen als weniger problematisch, da ihre Wohnungen auch bei großer Hitze zumindest teilweise kühl bleiben. Im Gegensatz dazu gaben rund 70 % der in Dachgeschosswohnungen lebenden Befragten an, dort sehr stark oder stark hitzebelastet zu sein. Andere Faktoren, wie beispielsweise Bildung oder Einkommen, zeigten hingegen keinen direkten Einfluss auf das Hitzeempfinden.

Ein großer Teil der Befragten gab an, bei Hitze häufig oder manchmal unter gesundheitlichen Beschwerden zu leiden (s. Abb. 5), insbesondere unter Trägheit bzw. Abgeschlagenheit, Schlaf- und Konzentrationsproblemen. Vor allem Studierende sowie Single- und Paarhaushalte beklagten Schlaf- und Konzentrationsprobleme sowie Kopfschmerzen, was sich über einen Faktorenmix (Alter, Einkommen, Tagesablauf) erklären lässt. In der Gruppe der Seniorinnen und Senioren ab 65 Jahren nimmt da-

Abb. 5: Gesundheitliche Belastung verschiedener Gruppen bei Hitze in Bonn (n = 688) Quelle: eigene Darstellung

■ Nein ■ Manchmal ■ Häufig ■ n/a	Schlafprobleme	Konzentrations- probleme	Kopfschmerzen	Herz-Kreislauf- Probleme
SeniorInnen				
Single-/ Pärchen- Haushalte				
Studierende				
Familien mit Kindern				

gegen die Zahl der Herz-Kreislaufprobleme zu. Diese können bei Hitze zu lebensbedrohenden gesundheitlichen Problemen führen. Aufgrund der Gesundheitsbelastungen kommt der Anpassung an Hitzestress eine wichtige Rolle zu. Mehr als drei Viertel der Befragten gaben an, dass Anpassungsmaßnahmen in Bonn an den zu erwartenden Hitzestress eine hohe Priorität in der Stadtentwicklung haben sollten.

Zum Schutz vor Hitze werden von der Bevölkerung vor allem einfach zu realisierende Maßnahmen umgesetzt, das heißt solche ohne größeren baulichen oder finanziellen Aufwand. Die zusätzliche Verschattung der eigenen Wohnung oder des eigenen Hauses, die Anlage von Wasserflächen oder Bepflanzungen zur Kühlung und Verschattung sowie die Anpassung der individuellen Verhaltensweisen stehen im Vordergrund. Dagegen sehen vergleichsweise wenige Befragte eine Option im Einbau einer Klimaanlage oder dem Umzug in eine besser an Hitze angepasste Wohnung/ein Haus oder Wohnumgebung.

Mit Blick auf die Anpassungsmaßnahmen zeigen sich Unterschiede zwischen den Bevölkerungsgruppen. So sind Ältere bereit, eher kostengünstigere Maßnahmen umzusetzen.

Jüngere Haushalte, vor allem Studierende, befürworten dagegen auch aufwändigere Maßnahmen. Dabei zeigt sich jedoch, dass es einen starken positiven Zusammenhang zwischen dem Einkommen der Befragten und deren Bereitschaft, auch privates Geld für Hitzeschutzmaßnahmen zu investieren, gibt.

Insgesamt lieferten die Befragungsergebnisse wertvolle Informationen darüber, wie Einwohnerinnen und Einwohner der Städte Hitzestress wahrnehmen, welche künftigen Änderungen sie erwarten, wie sie konkret betroffen sind und welche Anpassungsmaßnahmen sie daher bereits umgesetzt haben oder in Erwägung ziehen. Das Hitzeempfinden der Bevölkerung an verschiedenen Orten kann die Maßnahmenplanung der Stadtverwaltung unterstützen, um gezielt an besonders frequentierten, aber klimatisch unbehaglichen Orten einzugreifen. Darüber hinaus zeigten die Ergebnisse, dass Maßnahmen differenziert und speziell auf verschiedene Bevölkerungsgruppen abgestimmt geplant und implementiert werden müssen. Deutlich wurde, dass nicht nur die oft im Fokus stehenden älteren Bevölkerungsgruppen betroffen sind, sondern auch Jüngere Unterstützung bei der Anpassung an Hitzestress benötigen (s. Abb. 6).

Abb. 6: Differenzierte Auswirkungen von Hitzestress auf unterschiedliche Bevölkerungsgruppen (n=688)

Quelle: eigene Darstellung









/arum betroffen?

Seltene Nutzung von Parks und öffentlichen Erholungsflächen; eingeschränkte Anpassungsoptionen: geringe Bewältigung und Anpassungsfähigkeit

Lebt oft in kleinen Wohnungen (einkommensabhängigkeit); hoher Anteil an **Dachgeschosswohnungen:** hohe Exposition Häufige Nutzung ÖPNV; schlecht angepasste Wohnungen; geringes Einkommen: hohe Exposition und geringe Anpassungskapazität Vergleichsweise geringe Möglichkeit, kurzfristig Verhalten/Wohnung anzupassen, **Nutzung** größerer **Freiflächen** mit **Anreise** verbunden: hohe Exposition

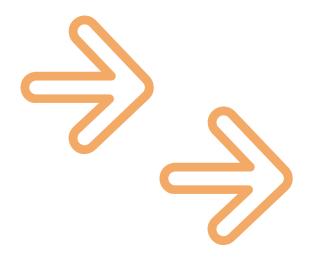
e betroffen?

15% der ü-65jährigen mit häufigen Auswirkungen auf das Herz-Kreislauf-System: hohes Gesundheitsrisiko 1/4 der 30-64jährigen mit häufigen Schlafproblemen während Hitzewellen: mögliche Auswirkungen auf die psychische Gesundheit (LOHMUS 2018) 1/4 der unter 29jährigen mit häufigen Kopfschmerzen während Hitzewellen

20% mit häufigen Kopfschmerzen während Hitzewellen, hilfsbedürftige (Klein)kinder im HH



Gute Planungsgrundlagen für eine hitzeangepasste Stadtentwicklung



Ein Schwerpunkt der Arbeiten im ZURES-Forschungsvorhaben lag auf der Weiterentwicklung der Planungsgrundlagen als Fundament für eine hitzeangepasste Stadtentwicklung: "Gute lokale Planungsgrundlagen sind die zentrale Wissensbasis für eine klimawandelgerechte Entwicklung". (Jessica Löffler, Stadt Bonn)

Welche Daten brauchen wir für eine hitzeangepasste Stadtentwicklung?

Ausgangspunkt einer hitzeangepassten Stadtentwicklung ist das Wissen um die Zusammenhänge von thermischer Belastung durch Hitze und Hitzewellen und die hierdurch ausgelösten Folgewirkungen auf die menschliche Gesundheit. Darüber hinaus geht es um die Einflussfaktoren, mit denen die Hitzeexposition und die Folgewirkungen von Hitze im Kontext der Stadtentwicklung einerseits wirksam werden, andererseits beeinflussbar sind.

Um zu erkunden, welche Datengrundlagen notwendig sind, stellen sich folgende Fragen:

- Wie hoch ist die Hitzebelastung? Wie lange, in welcher Häufigkeit und in welcher Intensität treten Belastungssituationen auf und auf welcher Ebene (stadtregional, Gesamtstadt, Quartier, Gebäude oder Freiraum)?
- Welche Siedlungs- und Infrastrukturen, welche Bevölkerungsgruppen sind besonders betroffen?
- Wo bestehen vordringliche Anpassungsbedarfe? Wo gibt es Ressourcen für eine hitzeangepasste Stadtentwicklung (z. B. relevante Kaltluftströmungen, klimawirksame Freiräume)?

Was erreichen wir mit guten Planungsgrundlagen? Ein Erfahrungsbericht aus der Modellstadt Bonn

Der Bedarf für eine aktuelle und dem Stand der Wissenschaft und Technik entsprechende Stadtklimaanalyse war für die Stadt Bonn ausschlaggebend für eine aktive Beteiligung am ZURES-I-Projekt. Dem vorausgegangen war die Erarbeitung eines integrierten Klimaschutzkonzepts für Bonn (2013) mit einem Baustein zur Klimaanpassung, in welchem vor allem auf Möglichkeiten zur Berücksichtigung stadtklimatischer Belange in den Prozessen der Stadtentwicklung eingegangen worden war. Diese Untersuchung zeigte, dass für eine wachsende Stadt wie Bonn mit entsprechend hohem Entwicklungsdruck, bei gleichzeitig stadtklimatisch problematischer Lage, qualifizierte Planungsgrundlagen eine zentrale Voraussetzung für eine klimawandelangepasste Stadtentwicklung sind.

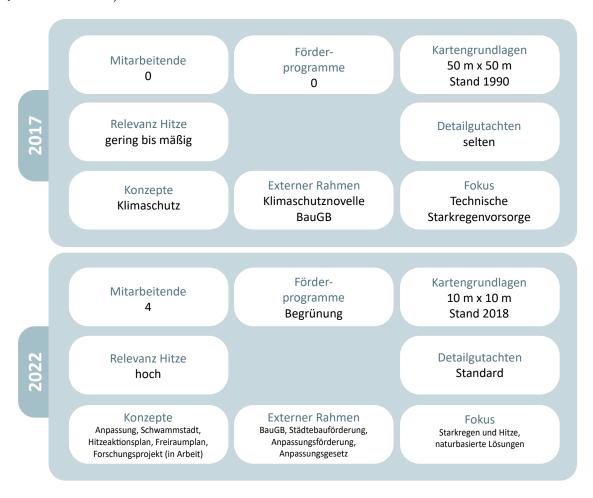
Selbstverständlich war die 100-Prozent-Finanzierung des Projekts durch das BMBF von großem Vorteil für die Stadt Bonn. Ob für eine vergleichbare Leistung Mittel aus dem kommunalen Haushalt hätten aufgewendet werden können, ist fraglich. Neben dem Finanzierungsvorteil lag der Vorzug des Förderprojekts jedoch vor allem in dem für alle Beteiligten

sehr gewinnbringenden mehrjährigen Dialog zwischen (wissenschaftlichen) Projektbeteiligten und der kommunalen Verwaltung. Blickwinkel, Bedarfe und Prioritäten variierten teilweise – gerade zu Beginn des Projekts – voneinander. Praktisch führte der Austausch untereinander. forciert durch die Wissenschafts-Praxis-Dialoge, über die Projektlaufzeit zu einem deutlich gesteigerten Verständnis für die unterschiedlichen Perspektiven aus Forschung und Praxis. Methodische Vorgehensweisen, Prozesse und Ergebnisprodukte wurden so gestaltet, dass sie nach Möglichkeit für alle Beteiligten eine gute und gangbare Lösung darstellten. Die Verwaltung wurde durch die Forschungspartnerschaft zu mehr Mut und einem "Denken in Szenarien" angespornt – die Forschungspartnerschaft durch die Verwaltung wiederum zur Entwicklung vor allem praxistauglicher Instrumente.

Dass die Ergebnisse des ZURES-I-Projekts in den Jahren 2018 und 2019 schlussendlich in einer Kulisse von Rahmenbedingungen veröffentlicht wurden, die durch Hitzesommer, Fridays for Future und den Ausruf des Klimanotstands geprägt waren, war vor Projektbeginn nicht vorhersehbar gewesen. Genau diese Konstellation verhalf der erarbeiteten Stadtklimaanalyse sowie der darauf basierenden Planungshinweiskarte jedoch zu einer Aufmerksamkeit und einem Bekanntheitsgrad, der allein aus Bemühungen der Verwaltung heraus mit der üblichen Presse- und Öffentlichkeitsarbeit wohl nicht hätte erreicht werden können. Die Aufmerksamkeit für die Relevanz der Hitzeanpassung in Städten ist gerade in den vergangenen Jahren deutlich gestiegen. Musste vor Jahren noch aufwändig seitens der Fachverwaltungen begründet

Abb. 7: Hitzeanpassung in Bonn – Entwicklung 2017–2022

Quelle: Jessica Löffler, Stadt Bonn







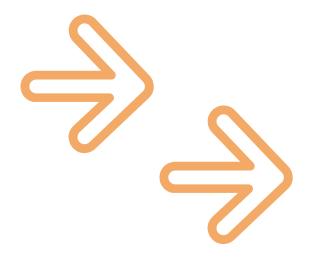
werden, weshalb mehr Hitzeanpassung notwendig ist, so muss mittlerweile erklärt werden, warum nicht längst mehr geschehen ist.

In Bonn sind die durch ZURES I geschaffenen Planungsgrundlagen zum etablierten Planungshilfsmittel geworden. Sie werden bei allen raumwirksamen Planungen genutzt, um eine Ersteinschätzung zur Beeinträchtigung stadtklimatischer Belange zu formulieren. Dies führt in jedem Fall zu einer deutlich weiterqualifizierten Darstellung der Sachverhalte als Entscheidungsgrundlage im Rahmen der Abwägungsentscheidungen. Absolute Vorgaben resultieren hingegen nicht aus den Karten. Praktisch muss sich auf Basis der hohen Informationsdichte (gesamtstädtische Auflösung der Stadtklimaanalyse von 10 m x 10 m) jedoch sehr bewusst für oder gegen die formulierten Empfehlungen entschieden werden. Die Erfahrung der vergangenen Jahre zeigt, dass nicht nur die Entscheidung, "ob" eine Fläche mit Blick auf deren Klimafunktionen baulich entwickelt wird, sondern auch die Frage nach dem "wie" durch die ZURES-I-Ergebnisse positiv beeinflusst wird. So wurden neben dem Standard zur Dachbegrünung je nach Erfordernis im Einzelfall auch verbindliche Regelungen z. B. zur Begrünung von Fassaden, Herstellung von Wasserflächen, hellen Fassadenfarben, Verschattungsanlagen oder zulässigen Gebäudehöhen getroffen, um zusätzliche Wärmebelastung abzumildern.

Die Entwicklung des "Handlungsfelds Hitze" der vergangenen Jahre in Bonn ist bemerkenswert. Ausreichend ist sie jedoch nicht, wenn wir dem Klimawandel in Kombination mit Stadtklimaeffekten wirklich etwas entgegenhalten wollen. Daher wird es künftig darauf ankommen, mehr Verbindlichkeit für das Thema zu schaffen. Mit dem Klimawandel haben wir alle zusammen einen Prozess ausgelöst, der uns zunehmend in unserem Alltag beeinflusst, unser Sicherheitsgefühl beeinträchtigt und im schlimmsten Fall unsere Existenz bedroht. Um dagegen wirksam vorgehen zu können, brauchen Kommunen der Bedeutung des Themas angemessene regulatorische Rahmenbedingungen. Klimaschutz und -anpassung zur Pflichtaufgabe zu erheben, wäre vor diesem Hintergrund ein Anfang.



Stadtklimaanalysen und Hotspotkarten der neuen Generation



Für die Modellierung wird das Stadtgebiet in ein Raster mit einer Gitterweite von 10 m x 10 m bzw. 5 m x 5 m überführt. Für jede Rasterzelle werden Informationen – beispielsweise zur Geländehöhe und Landnutzung, zu Gebäudeumrissen und -höhen sowie zu Bäumen und dem Versiegelungsanteil – bestimmt und als Eingangsdaten für die Modellrechnung verwendet.

4.1

Modellierung der thermischen Belastung in Bonn und Ludwigsburg

Mittels einer Modellrechnung können flächendeckende Aussagen zur klimatischen Situation in einer Stadt getroffen werden. Ziel ist es, u. a. herauszufinden,

- welche Bereiche in einer Stadt besonders überwärmt sind,
- welche Grünflächen wichtige Ausgleichsflächen darstellen und
- welche Flächen für den Kaltlufttransport relevant sind.

Für die Ergebnisse ist es von Vorteil, wenn die Modelle räumlich so hoch aufgelöst sind, dass sie Gebäude und einzelne (großkronige) Bäume in ihren Eingangsdaten erfassen. Dadurch kann die Wärmebelastung am Tag (mit der Verschattung als wesentlichen Parameter) genauer dargestellt und die Hinderniswirkung von Gebäuden auf die Kaltluftströmung berücksichtigt werden.

Mit einer Zehn-Meter-Auflösung in der Stadtklimaanalyse Bonn (ZURES I) und einer, dank gestiegener Rechenleistung, noch höheren Fünf-Meter-Auflösung bei der Aktualisierung der Stadtklimaanalyse Ludwigsburg (ZURES II) wurden die Anforderungen gebäudeauflösender Modellierungen erfüllt. In beiden Städten wurde das Stadtklimamodell FITNAH-3D verwendet und der Modellierung eine sommerliche Strahlungswetterlage zugrunde gelegt.

Eine Besonderheit im Rahmen der Forschungsprojekte war es, dass in Bonn und Ludwigsburg neben dem aktuellen auch das zukünftige Stadtklima im Jahr 2030 bzw. 2035 in zwei verschiedenen Szenarien modelliert wurde:

- "schwacher" Klimawandel RCP 2.6 und
- "starker" Klimawandel RCP 8.5.

Die Stellschrauben zur Bestimmung des zukünftigen Stadtklimas ergaben sich dabei aus Annahmen zum Siedlungswachstum (u. a. Bebauung von Entwicklungsflächen, Baulücken) sowie zu klimatischen Änderungen infolge des Klimawandels (zunehmende Temperaturen und Trockenheit im Sommer).

Ergebnisse der Modellierungen

Zur Bewertung der **Wärmebelastung am Tag** wurde der humanbioklimatische Index PET

(Physiologisch Äquivalente Temperatur) verwendet. Die PET beschreibt die Wärmebelastung im Außenraum in der Einheit °C und berücksichtigt dabei den Einfluss kurz- und langwelliger Strahlung, der Lufttemperatur, Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit. Am Beispiel der Stadt Bonn wird deutlich, dass die PET eine hohe Spannbreite im Stadtgebiet aufweist (s. Abb. 8). Die geringsten Wärmebelastungen sind entlang größerer Gewässer zu finden, die tagsüber eine kühlende Wirkung auf ihre Umgebung haben. Flächenhaft heben sich Waldgebiete mit einer schwachen Wärmebelastung ab (PET ≤ 29 °C). Durch die ungehinderte Sonneneinstrahlung sind über unversiegelten Freiflächen (z. B. Sportplätze, Ackerflächen) am Tag dagegen hohe thermische Belastungen zu erkennen. Die höchsten Werte werden über versiegelten Gewerbegebieten und dem Straßenraum erreicht (extreme Wärmebelastung mit Werten ≥ 41 °C PET). Im Stadtzentrum fällt die Wärmebelastung insbesondere dort hoch aus, wo stark versiegelte Flächen ohne wirksame Verschattung vorhanden sind.

Einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung des Stadtklimas in der Nacht leisten Ausgleichsströmungen, die kühlere Luft aus dem Umland oder städtischen Grünflächen in die überwärmten Siedlungsräume transportieren. Um diese identifizieren zu können, werden der Kaltluftvolumenstrom (Kaltluftströmung in der unteren Luftschicht) und die Strömungsrichtung (Pfeilsymbole in den Karten) betrachtet. In Bonn wird deutlich, dass im Bereich von Bachtälern und Hängen hohe

Kaltluftströmungen auftreten, die zwar bis in die bebauten Strukturen reichen, aber die Innenstadt kaum noch bis gar nicht mehr mit Kaltluft versorgen können (s. Abb. 9).

Die **Klimaanalysekarte** fasst die stadtklimatischen Prozesse in der Nacht zusammen, indem sie die Kaltluftströmungen über Grünund Freiflächen und die nächtliche Überwärmung im Siedlungsraum abbildet. Dabei sind besondere Kaltluftprozesse hervorgehoben, die für das Stadtklima – hier in Ludwigsburg – eine wichtige Rolle spielen: Kaltluftentstehungsgebiete, Kaltluftleitbahnen, Kaltluftabflüsse und Parkwinde (s. Abb. 10).

Infolge des Klimawandels ist zwar eine flächendeckende Zunahme der nächtlichen Lufttemperatur, jedoch kaum ein Einfluss auf das Kaltluftströmungsfeld erkennbar (s. Abb. 11). Bauliche Entwicklungen können dagegen als Strömungshindernis wirken, was sich insbesondere im Bereich von Kaltluftleitbahnen bzw. Kaltluftabflüssen auf die umliegende Bestandsbebauung auswirken kann. Die Wärmebelastung am Tag erhöht sich durch den Klimawandel ebenfalls flächenhaft in Ludwigsburg, wobei die zunehmende Trockenheit zu verstärkenden Effekten führt: Dort, wo Straßenbäume ausfallen, kommt es kleinräumig zu einem deutlichen Anstieg der PET. Zudem kann eine gesunkene Bodenfeuchte dazu führen, dass die PET über unversiegelten Freiflächen stärker zunimmt, da die Verdunstungsleistung der Böden im Vergleich zum Ist-Zustand abnimmt.

Abb. 8: Wärmebelastung am Tag im Ist-Zustand in einem Ausschnitt der Stadt Bonn (verkürzte Legende)

Quelle: eigene Darstellung

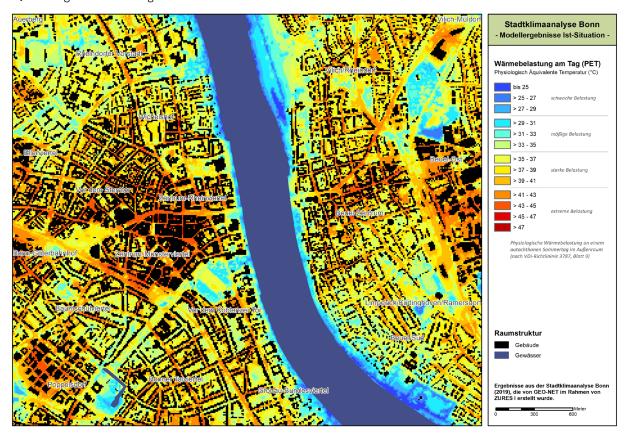


Abb. 9: Kaltluftströmungsfeld im Ist-Zustand in einem Ausschnitt der Stadt Bonn (verkürzte Legende)

Quelle: eigene Darstellung

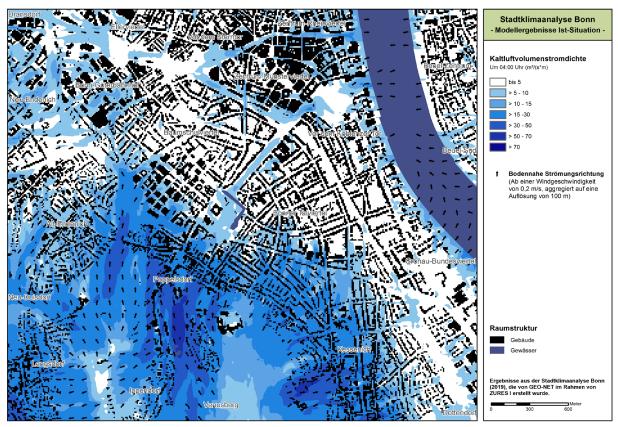


Abb. 10: Klimaanalysekarte Nacht (Ist-Zustand) in einem Ausschnitt der Stadt Ludwigsburg (verkürzte Legende) Quelle: eigene Darstellung

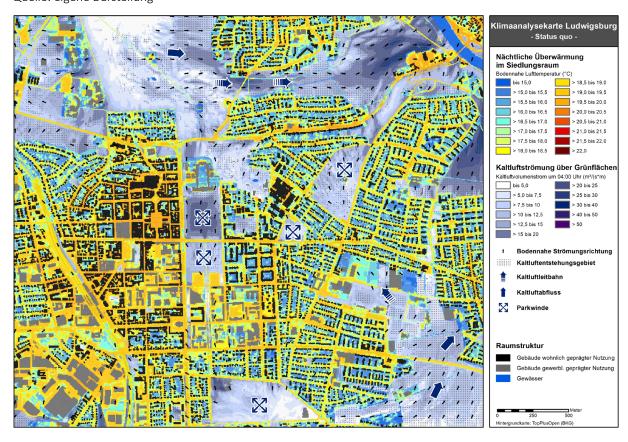
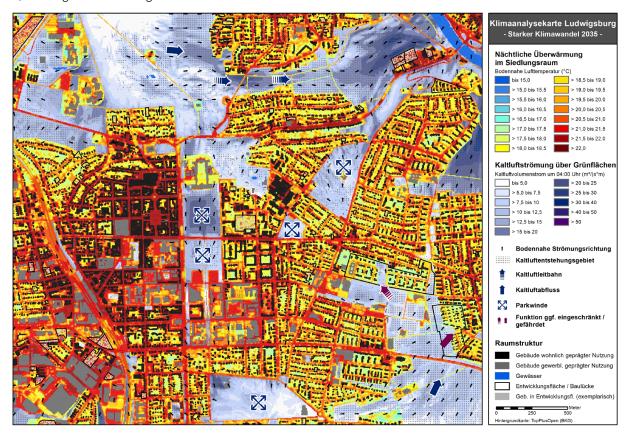


Abb. 11: Klimaanalysekarte Nacht ("Starker Klimawandel") in einem Ausschnitt Ludwigsburgs (verkürzte Legende)

Quelle: eigene Darstellung



Erstellung der Planungshinweiskarte

Die gutachterliche Arbeit in den vergangenen Jahren hat gezeigt, dass die "planerische Übersetzung" der Ergebnisse einer Klimaanalyse für die Städte immer wichtiger wird. Zentrales Produkt einer Stadtklimaanalyse ist daher die Planungshinweiskarte (PHK), die für die Verwaltung, aber auch Politik und Öffentlichkeit das vorrangige Kartenwerk zur Beurteilung des Stadtklimas sein soll. Dabei wurde die städtische Verwaltung intensiv in den Prozess zur Erstellung der Planungshinweiskarte eingebunden, um das Verständnis für die Anwendbarkeit der Karten zu stärken. In Bonn wurden getrennte Planungshinweiskarten für die Tag- und Nacht-Situation erstellt. In Ludwigsburg wurden vergleichbare PHK-Bewertungskarten erarbeitet, die für den Tag und die Nacht sowie die Klimawandelszenarien die thermische Belastung im Siedlungsraum und die Bedeutung von Grün- und Freiflächen als Ausgleichsraum bewerten (s. Abb. 12, 13).

In der gemeinsamen Planungshinweiskarte Stadtklima wurden die Ergebnisse der PHK-Bewertungskarten zusammengefasst, sodass auf den ersten Blick ersichtlich wird, welche Flächen einen hohen Schutzbedarf haben, wo in Ludwigsburg Maßnahmen zur Anpassung vorrangig umgesetzt werden sollten und wie die potenziellen Entwicklungsflächen aus stadtklimatischer Sicht einzuordnen sind (s. Abb. 14).

Im Siedlungsraum wird die **stadtklimatische Handlungspriorität** dargestellt. Die Bewertung beruht in bewohnten Gebieten hauptsächlich auf den Schlafbedingungen (nächtliche Überwärmung und Kaltluftfunktion), in unbewohnten Gebieten vorrangig auf der Aufenthaltsqualität im Außenraum. Die Handlungsprioritäten sollen eine Hilfestellung geben, in welchen Flächen Maßnahmen zur stadtklimatischen Anpassung besonders wichtig und bevorzugt anzugehen sind. Die in der "erweiterten Vulnerabilitätsanalyse" in ZURES II definierten Bereiche mit wichtiger Funktion bzw. hoher Vulnerabilität wurden in

aggregierter Form in die Planungshinweiskarte Stadtklima aufgenommen. Überlagern sich diese Bereiche mit hitzebelasteten Bereichen, ergibt sich daraus ein zusätzlicher Bedarf an Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel.

Grün- und Freiflächen, landwirtschaftliche Flächen und Wälder werden als stadtklimatischer Ausgleichsraum bezeichnet. Die Planungshinweiskarte gibt den stadtklimatischen Schutzbedarf dieser Flächen anhand ihrer Funktion für den Kaltlufthaushalt bzw. als Rückzugsorte an Heißen Tagen wieder. In Abhängigkeit vom Schutzbedarf der Flächen ist deren stadtklimatische Funktion bei geplanten Entwicklungen zu prüfen – bei einem sehr hohen Schutzbedarf wird eine Entwicklung beispielsweise nur dann als stadtklimaverträglich gewertet, wenn ein Nachweis über die Erhaltung der jeweiligen Funktion erfolgt. Siedlungsnahe und öffentlich zugängliche Grünflächen sowie Wälder mit einer hohen klimatischen Aufenthaltsqualität sind in der Karte als Entlastungsräume hervorgehoben, die von der Bevölkerung an Heißen Tagen aufgesucht werden können.

In der Planungshinweiskarte wird die stadtklimatische Verträglichkeit der potenziellen Entwicklungsflächen und Baulücken in Ludwigsburg anhand der Ergebnisse der Zukunftsszenarien untersucht. Die Bewertung reicht von "Entwicklung aus stadtklimatischer Sicht nicht empfehlenswert" bis hin zu "Entwicklung unter Beachtung klimaökologischer Standards möglich" und erfolgt in Abhängigkeit der stadtklimatischen Situation der jeweiligen Fläche vor einer möglichen Bebauung und den Änderungen nach Umsetzung der Bebauung. Für den Großteil der Entwicklungsflächen sind Auswirkungen zu erkennen, die eine klimafachliche Begleitung der Planung notwendig erscheinen lassen, was insbesondere gilt, wenn die Entwicklungsflächen im Bereich von Kaltluftleitbahnen bzw. -abflüssen liegen. Außerhalb der wichtigen Kaltluft-Strukturen werden für viele Flächen, insbesondere angesichts der Folgen des Klimawandels, opti-

Abb. 12: PHK-Bewertungskarte Nacht (Ist-Zustand) in einem Ausschnitt der Stadt Ludwigsburg (verkürzte Legende)

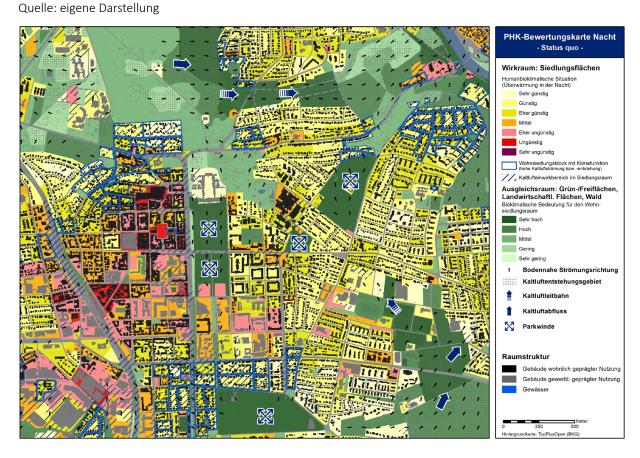


Abb. 13: PHK-Bewertungskarte Tag ("schwacher Klimawandel") in einem Ausschnitt Ludwigsburgs (verkürzte Legende) Quelle: eigene Darstellung

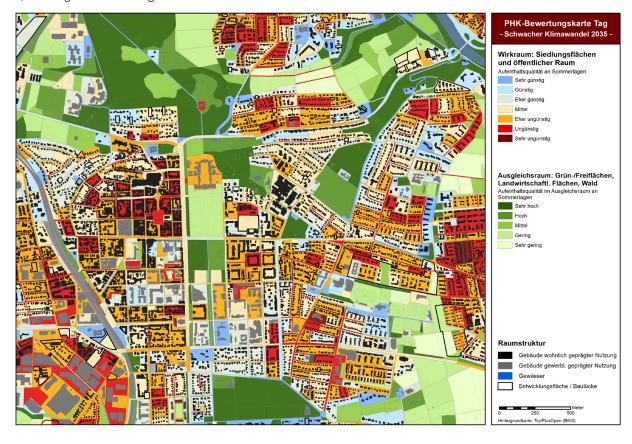
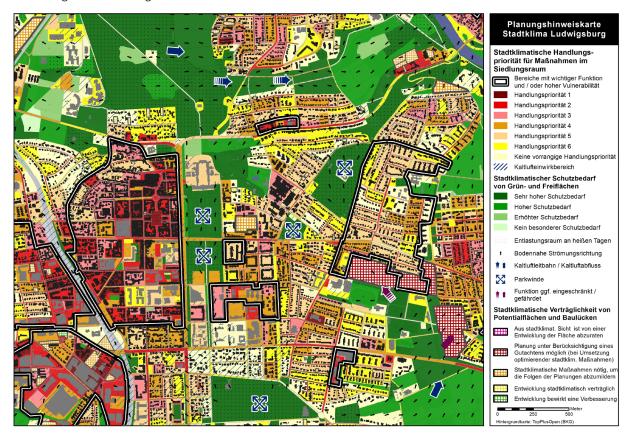


Abb. 14: Planungshinweiskarte Stadtklima in einem Ausschnitt der Stadt Ludwigsburg (verkürzte Legende)

Quelle: eigene Darstellung



mierende Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation empfohlen. In diesen Fällen sind bei der Planung geeignete stadtklimatische Maßnahmen umzusetzen, um die vorhabenbezogenen Auswirkungen zu mildern.

Im Ergebnis ist die Planungshinweiskarte Stadtklima das zentrale Produkt der Klima-analyse. Auf Grundlage der Karte können klimatisch belastete Bereiche sowie wertvolle Grünräume auf einen Blick identifiziert werden. Je nach Fragestellung und Fläche lassen sich daraus erste, allgemeine planerische Kon-

sequenzen ableiten: Wo sind Maßnahmen zur Anpassung nötig? Wo sind bei geplanten Vorhaben stadtklimatische Belange besonders zu berücksichtigen? Bei Bedarf können die weiteren Kartenwerke herangezogen werden: Ist eine Fläche am Tag und/oder in der Nacht belastet? Sind Grünflächen für den Kaltlufthaushalt und/oder als Rückzugsorte an Heißen Tagen von Bedeutung?

Mit diesen Datensätzen und Planhinweiskarten liegen hervorragende Grundlagen zur Bearbeitung von Maßnahmen für eine klimawandelangepasste Stadt in Ludwigsburg vor.



Hotspotkarten Ludwigsburg

Auf Basis der Klimamodellierungen und ergänzenden Untersuchungen zu Exposition und Vulnerabilität wurde für die Stadt Ludwigsburg eine Hotspotanalyse durchgeführt, um Räume mit besonderer Handlungspriorität zu identifizieren. Ziel war es, eine Grundlage, sozusagen einen Fachbeitrag, für die Entwicklung einer räumlichen Perspektive im Rahmen der Stadtentwicklungsplanung zu erarbeiten. Damit werden die Prioritäten für die Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen zur Reduktion der thermischen Belastung aufgezeigt. Vergleichbare Analysen lassen sich in aktuellen Klimaanpassungsstrategien der Städte Karlsruhe, Freiburg und Zürich finden (Stadt Karlsruhe 2015; Stadt Freiburg i. Br. 2019; Stadt Zürich 2020).

In der Hotspotanalyse wurden Räume mit besonderem Handlungsbedarf in Bezug auf Hitzestress identifiziert. Hierfür wurde zwischen der Stadt der Nacht und der Stadt am Tag unterschieden, da sich Nutzerinnen und Nutzer je nach Tageszeit an verschiedenen Orten aufhalten – nachts zumeist zuhause, tagsüber oftmals an anderen Orten. Zudem entfalten verschiedene Maßnahmen ihre Wirkung im Laufe des Tages in unterschiedlicher Art und Weise. Einerseits soll gerade in diesen städtischen Räumen eine Überhitzung im Stadtgebiet vermieden, andererseits sollen gezielt vulnerable Gruppen entlastet werden. Deshalb flossen sowohl klimatische (humanbioklimatische Belastungssituation) als auch nicht-klimatische Kriterien in die Beurteilung ein. Zu den nicht-klimatischen Kriterien zählten u. a. die Flächennutzung, insbesondere soziale Infrastrukturen, sowie demographische Faktoren und die subjektive Wahrnehmung von Hitzestress von Befragten.

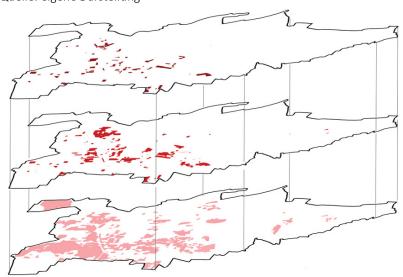
Für die Hotspotanalyse der Tagsituation bilden Gebiete mit hoher Wärmebelastung unter dem Szenario eines starken Klimawandels die Grundlage (s. Abb. 15). In diesen Gebieten wurden im Anschluss soziale Infrastrukturen, Orte des täglichen Bedarfs und Stadtviertel mit hoher gesellschaftlicher Vulnerabilität hervorgehoben (s. hierzu Kap. 5). Zusätzlich wurden, unabhängig von der Klimamodellierung, Orte, die während der Befragung im Sommer 2021 von der Bevölkerung als Orte mit hohem wahrgenommenen Hitzestress identifiziert worden waren, in die zweite Hotspotkategorie mit aufgenommen. Diese Gebiete wurden dann wiederum daraufhin untersucht, welche von ihnen selbst im Falle eines schwachen Klimawandels eine hohe Wärmebelastung aufweisen würden.

Für die Hotspotanalyse der Nachtsituation wurden nur die Gebiete mit hoher Wärmebelastung unter dem Szenario eines starken Klimawandels und mit Wohnnutzung als Grundlage genutzt, da sich der überwiegende Teil der Bevölkerung nachts zuhause aufhält. Die zweite Hotspotkategorie bilden Orte in diesen Gebieten, die entweder eine hohe gesellschaftliche Vulnerabilität oder auch unter schwachem Klimawandel eine hohe Wärmebelastung aufweisen. Im letzten Schritt wurden diese beiden Gebiete verschnitten und es wurde untersucht, welche Gebiete sowohl eine hohe Exposition als auch eine hohe Vulnerabilität aufweisen.

Über die Hotspotkarten ist eine Priorisierung von Maßnahmen zur Reduktion der thermischen Belastung möglich (s. Abb. 16).

Abb. 15: Vorgehen Hotspotanalyse Tag

Quelle: eigene Darstellung



höchste Priorität:

Gebiete mit hoher Priorität + Gebiete mit hoher Wärmebelastung unter schwächerem Klimawandelszenario (= ungünstige und sehr ungünstige Wirkungsräume RCP 2.6)

Priorität

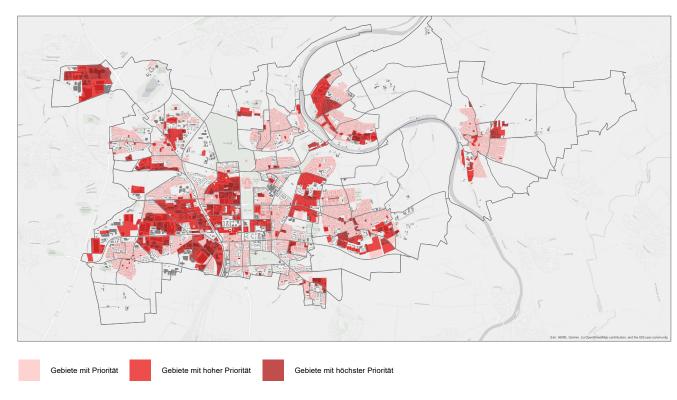
Gebiete mit hoher Wärmebelastung unter starkem Klimawandelszenario (= ungünstige und sehr ungünstige Wirkungsräume RCP 8.5)

hohe Priorität:

Gebiete mit Priorität + gesellschaftliche Vulnerabilität Gebiete mit Priorität + soziale Infrastruktur Gebiete mit Priorität + Orte des täglichen Bedarfs Gebiete mit Priorität + Orte der Arbeit subjektive Wahrnehmung von Hitze laut Beteiligung

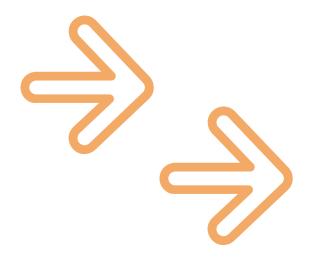
Abb. 16: Prioritäre Handlungsräume zur Hitzeanpassung (Tag- und Nachtsituation) auf Grundlage gesellschaftlicher Vulnerabilität und Bereiche mit besonderer Aufenthalts- und Sozialfunktion

Quelle: eigene Darstellung





Herausforderungen Vulnerabilitätsanalysen



Das Potenzial zur Nutzung von Vulnerabilität als Schlüsselaspekt in der Stadtentwicklung ist bei Weitem noch nicht ausgeschöpft. Es fehlt zudem an der Einbindung des Konzepts in andere Fachbereiche, z. B. in die Bauleitplanung, die Strategien zur Klimaanpassung, die Sozialund Gesundheitsplanung.

Vulnerabilität wird zumeist über die Komponenten Empfindlichkeit bzw. Sensitivität und Bewältigungs- und/oder Anpassungskapazität bestimmt. In Bezug auf Hitzestress liegt der Fokus bei Empfindlichkeit bzw. Sensitivität auf der menschlichen Gesundheit bzw. dem menschlichen Wohlbefinden. Mortalitätsund Morbiditätsstudien geben hier Hinweise zu den Auswirkungen des Hitzestresses für die Allgemeinbevölkerung sowie für empfindliche Risikogruppen (Schillo et al. 2018; SRU 2023; RKI 2023; UBA 2022). Im häuslichen Umfeld wird das Risiko noch verstärkt, wenn besonders verwundbare Gruppen allein leben (Singlehaushalte) und Hilfestellung benötigen. Als weiterer Faktor gilt die Bewältigungs- und/ oder Anpassungskapazität.

Während die Bewältigung in erster Linie auf den direkten Umgang mit Hitze abzielt, werden unter Anpassung eher mittel- bis langfristige Maßnahmen gefasst, um Stadtbevölkerung und Stadträume an eine steigende thermische Belastung anzupassen. Dazu zählen im Grunde alle Maßnahmen, die auf eine Reduzierung der thermischen Belastung abzielen oder durch eine Veränderung des (individuellen) Verhaltens negative Auswirkungen der thermischen Belastung vermindern. Dies

bedeutet beispielsweise eine verbesserte Erreichbarkeit kühler Orte; dazu zählen unter anderem verschattete Grünflächen. Die Verhaltensänderung während einer Hitzewelle kann sich beispielsweise auf Trinkgewohnheiten oder den Tagesablauf beziehen (Stadt Reutlingen 2020: 7). Ansätze zur individuellen Anpassung an Hitzestress sind dabei durch stadtplanerische Maßnahmen zu flankieren, wie beispielsweise das Schaffen neuer grüner und blauer Räume.

Die Exposition kann über die Modellierungen des Stadtklimas abgebildet werden (s. Kap. 3.1). Wie es bereits im Kontext der stadtklimatischen Modellierungen angeklungen ist, stellt Vulnerabilität einen Schlüsselfaktor zur Bewertung des Handlungsbedarfs im Rahmen der Stadtplanung dar. Nur über die Identifikation vulnerabler Bevölkerungsgruppen sowie vulnerable Siedlungs- und Infrastrukturen lassen sich die Risiko-Hotspots von Hitzestress angemessen identifizieren. Allerdings zeigte eine Umfrage im Rahmen des ZURES-Projekts, dass Vulnerabilitätskonzepte auf kommunaler Ebene bislang wenig Eingang in die Stadtentwicklung und Stadtplanung gefunden haben.



Online-Umfrage ZURES II

Die Online-Umfrage zur Berücksichtigung von Vulnerabilität im Kontext der räumlichen Planung wurde von Anfang Oktober bis Mitte Dezember 2021 durchgeführt. Es wurden alle deutschen Städte mit mindestens 50.000 Einwohnerinnen und Einwohnern (191 Städte) angeschrieben. Die Befragung wurde an mehrere Zuständigkeitsbereiche innerhalb der Stadtverwaltungen geschickt, so an Stadtentwicklung, Stadtplanung, Klimaschutz sowie Freiraum- und Grünflächenplanung. Der bei knapp 730 versendeten Mails vergleichsweise geringe Rücklauf der Antworten (96 Antworten) und die Kommentierungen via E-Mail oder Telefon lassen darauf schließen, dass die Thematik als zu komplex empfunden wurde, nicht im jeweiligen Kompetenzbereich lag oder aber für die Beantwortung der Fragen unterschiedliche Verwaltungsstellen konsultiert werden mussten.

43 % der Antworten zeigen, dass vulnerable Gruppen bei der Betrachtung der Auswirkungen thermischer Belastung Berücksichtigung finden; die Mehrzahl der Befragten antwortete jedoch mit "Nein", "Weiß nicht" oder gab zu dieser Frage keine Antwort (s. Abb. 17). Hinsichtlich der Frage, ob auf spezifische Aspekte von Vulnerabilität eingegangen wird, antworteten 27 % der Befragten, dass die Empfindlichkeit spezifischer Bevölkerungsgruppen gegenüber thermischer Belastung berücksichtigt wird. Zusätzlich wurde von 23 % der Antwortenden die Stärke der Exposition als ein weiterer spezifischer Aspekt genannt (s. Abb. 18). Als häufigster Indikator wird das Alter der Bevölkerung herangezogen: Dabei wird differenziert zwischen Kinder bis 6 Jahre, über 65-Jährigen und über 75-/80-Jährigen (s. Abb. 19). Alle anderen Indikatoren finden bisher kaum Eingang. Aus den Zusatzantworten geht hervor, dass in vielen Städten Vulnerabilitätsindikatoren noch nicht definiert worden

Abb. 17: Werden bei der Betrachtung der Auswirkungen thermischer Belastung vulnerable Gruppen berücksichtigt? (n = 96)

Quelle: eigene Darstellung

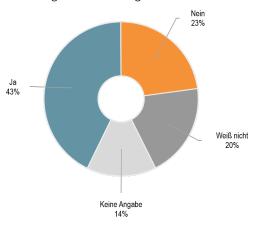
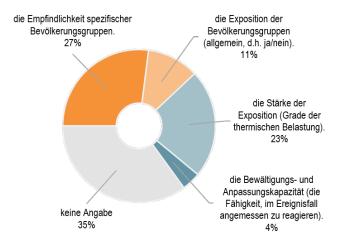


Abb. 18: Wird bei vulnerablen Bevölkerungsgruppen auf spezifische Aspekte der Vulnerabilität eingegangen? So bspw. bei der thermischen Belastung auf ... (n = 96)

Quelle: eigene Darstellung



sind, dies aber zukünftig vorgesehen ist. Auch in Bezug auf die räumliche Darstellung der Indikatoren zeigt sich, dass diese, wenn überhaupt, am ehesten auf Ebene der Gesamtstadt erfolgt (s. Abb. 20).

Die Ergebnisse der Online-Befragung legen insgesamt nahe, dass das komplexe Konzept der Vulnerabilität bislang wenig Eingang in die Planungspraxis gefunden hat.

Abb. 19: Welche Indikatoren werden zur Abbildung der Vulnerabilität der Bevölkerung gegenüber thermischer Belastung genutzt? (n = 96)

Quelle: eigene Darstellung

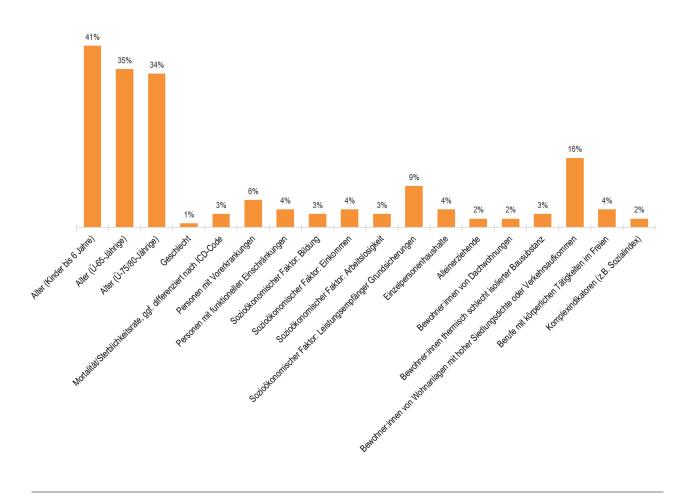
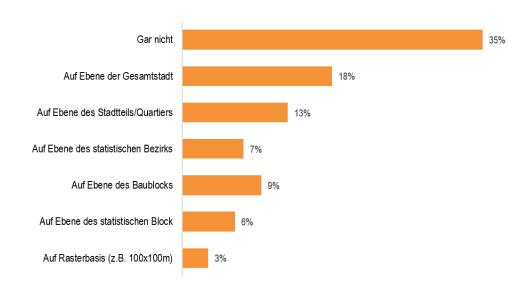


Abb. 20: Wie bilden Sie die Situation vulnerabler Gruppen kartographisch ab? (n = 96)

Quelle: eigene Darstellung





Wo finden Vulnerabilitätskonzepte und -indikatoren bereits Anwendung?

Auf Grundlage einer intensiven Literaturrecherche wurden sowohl für die Untersuchung von Ansätzen im Sozialmonitoring als auch zur Untersuchung von Ansätzen in der räumlichen Planung Fallstudienstädte untersucht.

Ansätze im Sozialmonitoring

Bei den ausgewählten Ansätzen des Sozialmonitorings bzw. von Sozialraumanalysen stand die Frage im Vordergrund, ob diese für Vulnerabilitätsanalysen im Kontext von Hitzestress nutzbar sind. Dabei wurde untersucht. inwieweit diese Ansätze bereits das Potenzial hätten, eine integrierte Bewertung von Auswirkungen des Klimawandels zu ermöglichen und inwieweit die zeitliche Dynamik bzw. Zukunftsszenarien eine Rolle spielen. Die Analyse von acht Sozialmonitoring-Konzepten (Berlin, Bremen, Düsseldorf, Hamburg, Mainz, München, Heidelberg, Frankfurt am Main) ergab, dass die klimatischen Bedingungen und im Speziellen Hitzestress nur in einem Konzept Erwähnung finden. In Bezug auf die Indikatoren werden überwiegend nur die aktuellen Zustände abgebildet und allenfalls dynamische Indizes verwendet, um vergangene Entwicklungsmuster aufzuzeigen. In der gegenwärtigen Form können sozio-räumliche Analysen daher nur in begrenztem Umfang zur Analyse der Auswirkungen des Klimawandels beitragen. Grundsätzlich besteht hier jedoch ein hohes Potenzial einer stärkeren Verknüpfung zwischen Sozialmonitoring-, Umweltgerechtigkeits- und Analysen zur Auswirkung des Klimawandels.

Ansätze in der räumlichen Planung

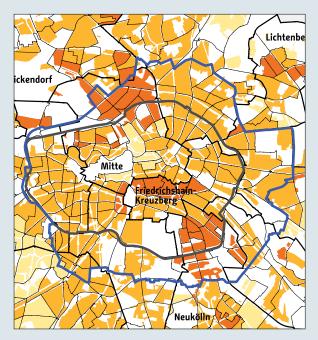
Um den Einsatz von Vulnerabilitätskonzepten und -indikatoren in der räumlichen Planung beispielhaft zu untersuchen, wurden

Dokumente aus neun Fallstudienstädten betrachtet: Berlin, Erfurt, Freiburg im Breisgau, Kassel, Leipzig, Mannheim, Osnabrück, Reutlingen, Wiesbaden und Worms. Es handelt sich dabei um Konzepte, Studien und Planwerke, die sich teilweise explizit dem Thema Vulnerabilität widmen, in erster Linie aber aus den Bereichen Klimaanpassung, Freiraumplanung und Umweltgerechtigkeit stammen (s. Abb. 21). Diese Konzepte und Planwerke unterscheiden sich inhaltlich im Hinblick auf die Zielstellungen; die Operationalisierung der jeweiligen Konzepte lässt sich dennoch in Bezug auf die Anwendung von Indikatoren gut vergleichen. Für die vertiefte Analyse der Fallstudien wurden zudem Interviews mit Vertreterinnen und Vertretern der Fallstudienstädte durchgeführt.

Untersuchte Planwerke

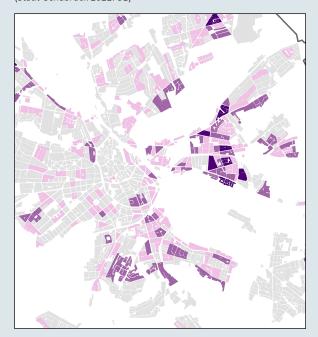
- Berlin: Basisbericht Umweltgerechtigkeit.
 Grundlagen für die sozialräumliche
 Umweltpolitik
- **Erfurt:** Klimagerechtes Flächenmanagement der Landeshauptstadt Erfurt
- Freiburg im Breisgau: Klimaanpassungskonzept für das Handlungsfeld "Hitze"
- **Kassel:** Umweltgerechtigkeit. Umsetzung einer integrierten Strategie zu Umweltgerechtigkeit
- Leipzig: Masterplan Grün der Stadt Leipzig
- Mannheim: Konzept "Anpassung an den Klimawandel in Mannheim"
- Osnabrück: Freiraumkonzept für die Stadt Osnabrück
- **Reutlingen:** Vulnerabilitätsanalyse "Hitzestress und menschliche Gesundheit"
- Wiesbaden: Modellbasierte Analyse des Stadtklimas als Grundlage für die Klimaanpassung
- Worms: "Worms handelt. Konzept zur Anpassung an den Klimawandel"

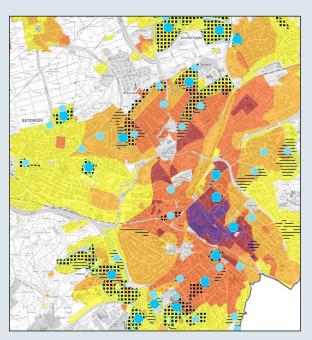
Abb. 21: Auszüge aus (a) dem Basisbericht Umweltgerechtigkeit Berlin, (b) der Vulnerabilitätsanalyse Reutlingen, (c) dem Freiraumentwicklungskonzept Osnabrück sowie (d) dem Klimaanpassungskonzept Freiburg i. Br.



(a) Das Monitoring Soziale Stadtentwicklung von Berlin liefert Aussagen zur Veränderung der sozialstrukturellen und sozialräumlichen Entwicklung in den 447 Planungsräumen. Es stützt sich auf vier Index-Indikatoren (Arbeitslosigkeit, Langzeitarbeitslosigkeit, Transferbezug und Kinderarmut), die zur Bildung von Indexwerten herangezogen werden, um soziale Ungleichheit zu beschreiben. (Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin 2019: 169)

(c) Im Freiraumentwicklungskonzept Osnabrück wurde über die Auswertung sozialräumlicher Daten die Bedeutung von Grünflächen für sozial benachteiligte oder mobilitätseingeschränkte Bevölkerungsgruppen eingeschätzt und darüber eine Priorisierung von Maßnahmen zur Qualifizierung der Freiraumausstattung in den Quartieren vorgenommen. Dargestellt sind die Siedlungsbereiche mit hohen Anteilen dieser spezifischen Bevölkerungsgruppen. (Stadt Osnabrück 2022: 51)





(b) In der Verwundbarkeitsanalyse für die Stadt Reutlingen dienen die exponierte Bevölkerung und besonders verwundbaren Gruppen als wichtige Sensitivitätsindikatoren. Dazu gehören u.a. die Anzahl der über 75-Jährigen je Baublock (Punkt- bzw. Streifenraster) und die Anzahl der Singlehaushalte der über 65-Jährigen je Baubblock (blaue Punkte). (Stadt Reutlingen 2020: 13)

(d) Im Klimaanpassungskonzept Handlungsfeld Hitze der Stadt Freiburg im Breisgau wird in der Vulnerabilitätsanalyse die heutige und künftige Hitzebelastung in der Nacht mit den Sensitivitätsindikatoren "Bevölkerungsdichte", "unter 6-Jährige", "über 75-Jährige", "über 75-Jährige in 30 Jahren" und "sensible Nutzung" überlagert. (Stadt Freiburg i. Br., Stadtplanungsamt 2019: 31; ©berchtoldkrass space&options)



Da Vulnerabilität unterschiedlich definiert wird, orientiert sich die Auswertung der Fallstudienstädte nicht an den Begrifflichkeiten der jeweiligen Dokumente (oftmals findet der Begriff Vulnerabilität keine explizite Erwähnung), sondern an Definitionen aus der einschlägigen Literatur (u. a. Birkmann et al. 2013). Berücksichtigt wurden somit in erster Linie die Vulnerabilitätskomponenten Sensitivität bzw. Empfindlichkeit, Bewältigungskapazität (unmittelbare Belastungsreduktion) und die mittel- bzw. langfristig wirksame Anpassungskapazität. Ein Fokus lag dabei auf den gewählten Indikatoren sowie deren zeitlicher Einordnung (Ist-Zustand und Zukunftsszenario).

Die Auswertung der Dokumente zeigt, dass die thermische Belastung in Städten zunehmend thematisiert und die Exposition räumlich differenziert dargestellt wird. Darüber hinaus finden zumindest einzelne Aspekte von Vulnerabilität Eingang in die Konzepte und Strategien. Die Faktoren Sensitivität, Bewältigungskapazität und Anpassungskapazität werden jedoch sehr unterschiedlich aufgefasst und operationalisiert. Obwohl die Konzepte durchaus komplexe Zusammenhänge adressieren, werden bei der Operationalisierung meist einfache Methodiken gewählt. Leider liegt in der Regel keine detaillierte Beschreibung der Methodik vor.

In erster Linie wird die Sensitivität exponierter Bevölkerungsgruppen, seltener die Bewältigungs- und nur in Einzelfällen die Anpassungskapazität betrachtet (s. Abb. 22). Obwohl Klimamodellierungen häufig nicht nur für den Ist-Zustand, sondern auch für Szenarien der Zukunft vorliegen, werden die Aspekte zu Vulnerabilität meist im Ist-Zustand analysiert (s. Abb. 22). Szenarien zu empfindlichen oder sozial benachteiligten Bevölkerungsgruppen gelingen aufgrund der verfügbaren Daten i. d. R. nur für die Bevölkerungsentwicklung (Dichte) insgesamt bzw. für ältere Menschen, da diese im Alter weniger häufig umziehen.

Abgesehen von der Gesamtbevölkerung finden meist besonders empfindliche oder unterstützungsbedürftige Bevölkerungsgruppen Berücksichtigung (s. Abb. 23). Indikatoren zur sozialen Lage der Bevölkerung werden in ihrer

KS

RT

EF

FR

KS

ΜΔ

os

RT

WI

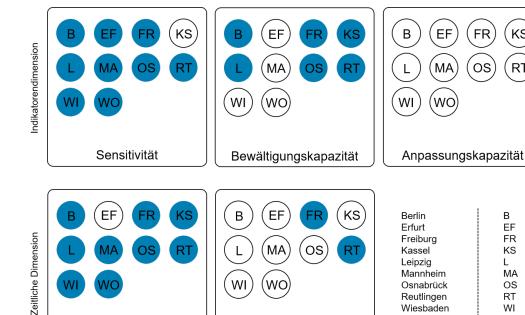
WO

Worms

Abb. 22: Erfasste und verarbeitete Komponenten sowie zeitliche Dimension

Quelle: eigene Darstellung

Ist-Zustand



36 **ZURES**

Szenario

Relevanz unterschiedlich bewertet. Der in der Literatur beschriebene Zusammenhang von sozialer Ungleichheit und gesundheitlicher Vulnerabilität wird im Sinne empfindlicher Bevölkerungsgruppen gegenüber der thermischen Belastung aufgefasst. Zudem werden sozial schwächere Bevölkerungsgruppen als unterstützungsbedürftig angesehen, um etwa Maßnahmen gegen Hitzebelastung zu finanzieren (eingeschränkte Bewältigungskapazität). Teilweise wird unterschieden, ob sich die Unterstützungsbedürftigkeit auf die akute Belastungssituation bezieht oder auf generelle Belastungen. So werden etwa wohnungslose Menschen als bei Hitzewellen akut unterstützungsbedürftig angesehen - Menschen mit geringem Einkommen wie etwa Empfängerinnen und Empfänger von Mindestsicherungsleistungen dagegen nicht.

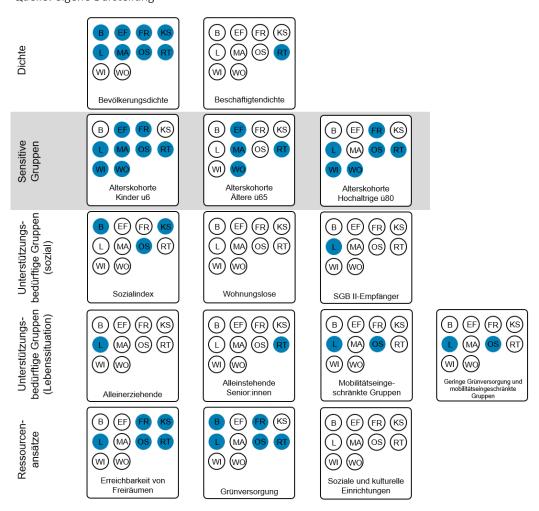
Während die Empfindlichkeit häufig über Indikatoren (empfindliche oder unterstützungsbedürftige Bevölkerung sowie soziale Einrichtungen) operationalisiert wird, gilt dies nur vereinzelt für die Erfassung der Bewältigungsoder Anpassungskapazität (z. B. Erreichbarkeit von Grünräumen oder von sozialen Einrichtungen für unterstützungsbedürftige, sozial benachteiligte Gruppen).

Die Auswahl der Indikatoren ist zudem abhängig von der Zielstellung der Analysen, die durchaus sehr unterschiedlich ausfallen können. Hierbei geht es z. B. darum,

- Grundlagen zu schaffen, um Vulnerabilität oder Umweltgerechtigkeit abzubilden,
- Maßnahmen für die weitere städtebauliche und freiraumbezogene Entwicklung zu erarbeiten,

Abb. 23: Betrachtete und räumlich verortete Indikatoren (Gruppen)

Quelle: eigene Darstellung



- Maßnahmen für verhaltensbezogene Änderungen zum Schutz der Bevölkerung auf individueller Basis oder für soziale Einrichtungen zu entwickeln,
- mit den Ergebnissen bzw. mit den Instrumenten die eigenen oder aber ämterübergreifenden Handlungsebenen, u. a. die Stadtplanung, die Freiraumplanung oder die Bereiche Gesundheit und Soziales, zu adressieren.

Schwellenwerte zur Bewertung der Empfindlichkeit oder Betroffenheit werden häufig literaturbasiert begründet, da für die Hitzebelastung bislang keine rechtlichen Normen existieren. Akteursbasierte Vereinbarungen mit Politik, Stadtverwaltung und Zivilgesellschaft zu Zielen, Bewertungen und Schwellenwerten sind deshalb wichtig für die Akzeptanz der Ergebnisse.



Auswahl von Kernindikatoren für die sozialökologische und Vulnerabilitätsanalyse

Auf Basis der Rechercheergebnisse wurden im Rahmen zweier kommunaler Workshops mit den ZURES-Partnerstädten Bonn und Ludwigsburg jeweils für die Städte relevante Faktoren erarbeitet, die zu Hitzestress führen können. Diese wurden genutzt, um Schlussfolgerungen für die Entwicklung eines geeigneten Sets an Kernindikatoren für das ZURES-Projekt zu ziehen und so die Vulnerabilität der Bevölkerung gegenüber Hitzestress abzubilden.

Nicht nur klimabedingter Hitzestress, sondern auch sozioökonomische Faktoren nehmen eine wichtige Rolle für die Verletzlichkeit des Einzelnen und der Gesellschaft ein. In städtischer sozialräumlicher Perspektive definieren sozioökonomische Faktoren wie Bevölkerungsstruktur, gefährdete Bevölkerungsgruppen, wirtschaftliche Segregation und Umweltgerechtigkeit den Grad der möglichen Auswirkungen von Hitzestress. Aus mehr als 50 sozioökonomischen Faktoren, die zur (menschlichen) Hitzebelastung beitragen können, konzentriert sich das ZURES-Projekt auf fünf Kernindikatoren:

- 1. Bevölkerungsdichte,
- 2. Versorgung mit Grün- und Erholungsflächen,
- 3. Menschen unter 6 Jahren (U6),
- 4. Menschen über 65 Jahre und älter (Ü65),
- 5. Armut.

Die fünf Kernindikatoren lassen sich den Bereichen Stadtstruktur und soziale Verwundbarkeit zuordnen. Die Proxydaten, die für die statistische und räumliche Beschreibung der urbanen Hitzebelastung verwendet wurden, sind in Tabelle 1 beschrieben.

Clusterung von Kernindikatoren

Neben der Darstellung der räumlichen Ausprägung der einzelnen Kernindikatoren wurden in einem weiteren Schritt die sozioökonomischen Kernindikatoren in verschiedenen Kombinationen zusammengeführt (geclustert), um bestimmte Aspekte der Verwundbarkeit (Vulnerabilität) gegenüber urbanem Hitzestress abzubilden. In diesem Sinne wurden die Kernindikatoren in sieben Cluster organisiert, die sich auch hier wieder in zwei Hauptkomponenten gruppieren lassen: urbane Struktur und Aspekte der sozialen Verwundbarkeit (s. Tab. 2).

Tab. 1: Sozioökonomische Kernindikatoren

Quelle: eigene Darstellung

Bereich	Kernindikatoren	Proxy-Daten	Erläuterung
Städtische Struktur	Bevölkerungsdichte	Anzahl der Einwohnerinnen und Einwohner in Bezug auf die Fläche (Personen/ha Fläche oder ha Wohnsied- lungsbereich)	Die Stärke des Hitzestresses korreliert in Verbindung mit dem urbanen Hitzeinsel-Effekt mit der Bevölkerungsdichte (Zander et al. 2018), insbesondere bei Nacht und windstiller Wetterlage (Wolters & Brandsma 2011)
	Versorgung von Wohnge- bieten mit öffentlichem Grün und Erholungs- flächen	Verhältnis der Entfernung der Siedlungs- flächen zu einem öffentlichen Grün- und Erholungsgebiet, das größer als 0,5 ha ist und sich in einem Radius von 300 m befindet	Verfügbarkeit und Zugänglichkeit von Grün- anlagen und Erholungsgebieten in der Nähe, um Hitzestress zu lindern und einen besseren Gesundheitszustand zu fördern
Soziale Verwundbarkeit	Empfindliche Altersgrup- pen: unter 6-Jährige	Verhältnis der Anzahl von Menschen unter 6 Jahren zur Gesamtbevölkerung (in %)	Empfindlicher gesundheitlicher/physischer Zustand und relativ geringe Selbsthilfemöglichkeit bei der Bewältigung von Hitzestress
	Empfindliche Altersgrup- pen: 65-Jährige und älter	Verhältnis der Menschen im Alter 65 Jahre und älter zur Gesamtbevölkerung (in %)	Relativ empfindliche/schlechte Gesundheit/kör- perliche Verfassung, geringe Mobilität und gerin- gere Selbsthilfemöglichkeit bei der Bewältigung von Hitzestress (in vielen Fällen ist während einer Hitzewelle ärztliche Hilfe erforderlich)
	Armut	Anzahl der SGB-II-Empfängerinnen und Empfänger pro 1.000 Erwerbsfähige	Relativ geringe finanzielle Leistungsfähigkeit und/ oder verbunden mit einem schlechten Gesund- heitszustand bei der Bewältigung von Hitzestress

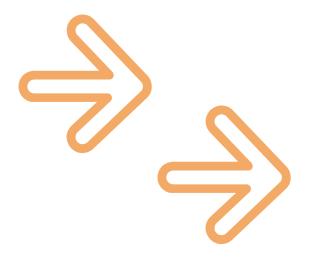
Tab. 2: Beschreibung der Cluster

Quelle: eigene Darstellung

Cluster	Beschreibung Indikatorenkombination				
Städtische Struktur					
Hohe Dichte mit begrenzter Versorgung der Siedlungsgebiete mit Grün- und Erholungsflächen	Bevölkerungsdichte in Siedlungsgebieten + Versorgung der Siedlungs gebiete mit Grün- und Erholungsflächen				
Hohe Dichte mit hohen Anteilen vulnerabler Altersgruppen	Vulnerable Altersgruppen (U6 und Ü65) + Bevölkerungsdichte in Siedlungsgebieten (hohe Bevölkerungsdichte als Voraussetzung)				
Hohe Dichte und hoher Anteil älterer Bevölkerung	Ältere Menschen + Bevölkerungsdichte im Wohngebiet (hohe Bevölkerungsdichte als Voraussetzung)				
Hohe Dichte und Bevölkerungsgruppen mit begrenzter finanzieller Leistungsfähigkeit	Bevölkerungsdichte in einem Wohngebiet + SGB-II-Empfängerinnen und Empfänger je 1.000 Erwerbsfähige (hohe Bevölkerungsdichte als Voraussetzung)				
Soziale Verwundbarkeit					
Begrenzte finanzielle Leistungsfähigkeit und ein zusätzlich hoher Anteil an vulnerablen Altersgruppen	Vulnerable Altersgruppen (U6 und Ü65) + SGB-II-Empfängerinnen und Empfänger je 1.000 Erwerbsfähige (hoher Anteil SGB-II-Empfängerinnen und Empfänger als Voraussetzung)				
Begrenzte finanzielle Leistungsfähigkeit und zusätzlich hoher Anteil an älterer Bevölkerung	Ältere Menschen + SGB-II-Empfängerinnen und Empfänger je 1.000 Erwerbsfähige (hoher Anteil SGB-II-Empfängerinnen und Empfänger als Voraussetzung)				
Begrenzte finanzielle Leistungsfähigkeit mit begrenzter Versorgung von Siedlungsgebieten mit Grün- und Erholungsflächen	Versorgung von Siedlungsgebieten mit Grün- und Erholungsflächen + SGB-II-Empfängerinnen und Empfänger pro 1.000 Erwerbsfähige (ho- her Anteil SGB-II-Empfängerinnen und Empfänger als Voraussetzung)				



An welchen Anpassungszielen orientieren wir uns?



"Alle Menschen wohnen, leben, arbeiten und bewegen sich im Jahr 2035 möglichst ohne Hitzestress in Ludwigsburg, das heißt ohne durch Hitze ausgelöste körperliche und mentale Beeinträchtigungen oder den Lebensalltag einschränkende Verhaltensanpassungen." (Vorbereitende Zielformulierung für das Stadtentwicklungskonzept der Stadt Ludwigsburg)

Leitbilder sind eine normative gesamtheitliche Vorstellung von Stadtentwicklung. Sie bleiben oft unscharf und offen für neue Bedeutungen, sind dadurch aber auch nicht bindend. Dennoch bieten sie Anknüpfungspunkte zur Integration von Belangen, die mit Hitze in Verbindung stehen. Durch den Entwicklungsprozess sind Leitbilder vor allem hilfreich, um verschiedene Belange unter einem Dach zu vereinen, also ein gemeinsames "Motto" für ganzheitliche Stadtentwicklung zu finden. Sie müssen jedoch klar als Abgrenzung zu konkreten Stadtentwicklungsplanungen verstanden werden. Übergeordnete Leitbilder können anschließend über Zielentwicklungsprozesse umsetzungs- und maßnahmenorientiert in konkrete Ziele übersetzt werden.

Relevanz von Leitbildern zu Hitzestress

Bislang gibt es keine standardisierten stadtklimatischen Vorgaben, wie z. B. zur Luftreinhaltung oder zu Lärm. Aus diesem Grund ist es wichtig, die Reduzierung der Hitzebelastung in eigenen, konkreten Zielen und Maßnahmen zu fassen, um das Thema in die Planungsprozesse auf Ebene der Gesamtstadt bzw. der Stadtteile und -quartiere zu verankern. Leitbilder können dabei ein erster Schritt zur Sensibilisierung und Fokussierung auf ent-

sprechende Ziele sein. Sie dienen auch einer Priorisierung von Zielen sowie als Grundlage für politische Prozesse und Entscheidungsfindungen.

Eine Online-Befragung im ZURES-I-Projekt von 42 deutschen Städten im Jahr 2018 hat gezeigt, dass einige Städte bereits wichtige Schritte zur Formulierung von Leitbildern hinsichtlich der Klimawandelanpassung – inklusive der Reduzierung der Hitzebelastung – eingeleitet haben. Die Hitzesommer der vergangenen Jahre haben dem Thema deutlich Nachdruck verliehen. Im Jahr 2021 wurde eine weitere Online-Umfrage (ZURES II) durchgeführt, für welche jeweils alle deutschen Städte mit einer Bevölkerungszahl über 50.000 Einwohnerinnen und Einwohner angeschrieben wurden. Der Fokus der Befragung lag auf Leitbildern zur Klimaanpassung. Die Fragestellungen gliederten sich in sechs Themenbereiche: Rahmenbedingungen, politischer Entstehungsprozess, Zuständigkeiten, generelle Leitbilder, strategische Ziele und operative Ziele.

Die Ergebnisse der Online-Befragung, einer Dokumentenanalyse sowie der Fachworkshops im ZURES-Projekt machen dabei deutlich, dass sowohl die Bedarfe mit Blick auf Leitbilder und

Ziele als auch die Entstehungsprozesse von Leitbildern in den Städten sehr unterschiedlich sind. So gibt es Städte, die sich einem externen Prozess mit intensiver Beteiligung der Stadtbevölkerung und der Beteiligung von Expertinnen und Experten stellen, während andere Städte das Leitbild vornehmlich über interne Arbeitsprozesse entwickeln. Dabei spielen Erfahrungen zu prozeduralen Fragen der Leitbildfindung eine wesentliche Rolle.

Leitbilder

- Leitbilder dienen der Förderung und Integration von Zielen zur Klimaanpassung und zur Reduktion von Hitzestress in der Stadtentwicklung und -planung.
- Politisch legitimierte Leitbilder bedeuten eine Selbstverpflichtung und Rückendeckung für konkretere Strategien, Planungen und Vorhaben.
- Leitbilder setzen einen Orientierungsrahmen für strategische und operative Zielsetzungen in der Klimaanpassung.
- Leitbilder können helfen, Ziele klarer und fokussierter zu formulieren.
- Leitbilder führen zu einer besseren Passung mit Förderinstrumenten.
- Die meist partizipative Erarbeitung dient einem breiten Verständnis und der Akzeptanz des Themas Hitzestress.

Partizipative Erarbeitung hitzebezogener Klimaanpassungsziele für die Stadt Ludwigsburg

Vergleichbar zur Leitbildentwicklung ist auch der Weg zur Zielentwicklung ein normativer Aushandlungsprozess, bei dem – aufgrund des Querschnittcharakters – alle Disziplinen und Akteure einer Stadtgesellschaft zu beteiligen sind. Die Zieldefinition dient dem Zusammenbringen verschiedener Interessen, Bedürfnisse, Handlungslogiken sowie von Planungsgegenständen und -instrumenten und sollte sich auch an diesen orientieren. Ziele bieten somit einen Rahmen für die Konkretisierung von Strategien und Maßnahmen und helfen bei der Integration hitzeangepasster Maßnahmen in Planungsprozesse. Eigens der Hitzeanpassung gewidmete Ziele dienen der Sensibilisierung aller Akteure und der verstärkten Gewichtung des Planungsbelangs in Planungsprozessen.

Abbildung 24 beschreibt den partizipativen Prozess der Zielentwicklung, wie er im Rahmen des ZURES-II-Projekts erprobt und angewendet wurde. Darin sind mehrere Test- und Überarbeitungsschleifen und interdisziplinäre Beteiligungsformate verankert, um die Synthese der Anforderung verschiedener Disziplinen zu ermöglichen. Den gemeinsamen Diskussionen lagen dabei mehrere richtungsweisende Fragestellungen zugrunde (s. Abb. 25).

Abb. 24: Partizipativer Zielentwicklungsprozess

Quelle: eigene Darstellung



Abb. 25: Ausgewählte Ansätze zur Entwicklung und Formulierung der Hitzeanpassungsziele



ZURES 43

Wie müssen Ziele formuliert sein?

Der Fokus lag auf dem Schutzgut Mensch und hier vor allem dem Schutz der menschlichen Gesundheit. Darauf basieren die Grundlagen, die zur Zielentwicklung herangezogen wurden. Die Grundlagen können vielfältig sein. Bestenfalls umfassen sie – wie in ZURES II – die Erkenntnisse aus relevanten Bestandsanalysen und wissenschaftlicher Literatur, Best-Practice-Beispielen aus anderen Kommunen, bestehende regional-/kommunalpolitische Zielsetzungen sowie weltweit anerkannte Ziele (z.B. UN-Nachhaltigkeitsziele).

Des Weiteren ist es wichtig, die Funktionen einer Stadt – vor allem auch hier wieder mit dem Fokus auf den Menschen – in den Blick zu nehmen und darüber zu definieren, in welchen Bereichen Möglichkeiten der Anpassung bestehen, um den Menschen in seinem städtischen Umfeld zu befähigen,

- 1. Hitzestress zu bewältigen,
- 2. sich längerfristig anzupassen und
- 3. aus den vergangenen Erfahrungen zu lernen.

Als sehr wichtig hat sich in dem Prozess die Praxisorientierung gezeigt. Ziele müssen also zum einen in einer für alle am weiteren Prozess Beteiligten verständlichen Sprache formuliert sein und sollten sich zum anderen an den kommunalen Handlungsspielräumen orientieren sowie ein geeignetes Maß an Handhabbarkeit aufweisen.

Orientiert hat sich die Zieldefinition am SMART-Modell: Ziele müssen Spezifisch, Messbar, Akzeptiert, Realistisch und Terminiert sein. Hier sind bestenfalls direkt Evaluations- und Kontrollinstrumente mitzudenken. Die Verankerung des Themas in verschiedenen Strategien und Handlungsfeldern und die Definition konkreter Ziele, z. B. Erhaltung von Kaltluftentstehungsgebieten, unterstützt eine positive Zielerreichung.

Im ZURES-II-Projekt wurde – gemeinsam mit der Stadt Ludwigsburg – beispielsweise folgendes übergeordnetes Ziel formuliert: "Alle Menschen wohnen, leben, arbeiten und bewegen sich im Jahr 2035 möglichst ohne Hitzestress in Ludwigsburg, Das heißt ohne durch Hitze ausgelöste körperliche und mentale Beeinträchtigungen oder den Lebensalltag einschränkende Verhaltensanpassungen."

Dieses wurde anschließend um konkretere Ziele ergänzt, ein klar formulierter Bedarf der Stadt Ludwigsburg. Die Zielentwicklung erfolgte dabei als partizipativer Prozess, immer in Diskussion und Validierung mit der Planungspraxis in der Stadt Ludwigsburg. Das Ergebnis ist ein gesamtstädtischer Zielkatalog zur Hitzeanpassung als Vorschlag und Ergebnis des ZURES-II-Projekts, bestehend aus dem oben genannten übergeordneten Leitsatz – analog zu einem Leitbild –, zwei strategischen Zielen, konkretisierenden operativen Zielen sowie einer Handreichung mit begrifflichen Erläuterungen (s. Abb. 25).

Bei der finalen Integration der ZURES-II-Ziele in die kommunale Planungspraxis ist eine Harmonisierung mit anderen kommunalen Stadtentwicklungszielen wichtig. Das heißt, dass eine Angleichung der Gewichtung der eigens der Hitzeanpassung gewidmeten Ziele im gewünschten Verhältnis zu anderen Stadtentwicklungszielen vorzunehmen ist sowie ein Abgleich mit bzw. eine Anknüpfung an bestehende Zielsetzungen und Strategien stattfindet. Zudem kann eine Übertragung in ein einheitliches Aufbauschema und einen gemeinsamen Sprachduktus vorgenommen werden, nicht nur um die Praxistauglichkeit zu erhöhen, sondern auch zur leichteren internen und externen Kommunikation.

Abb. 26: Raumspezifische und szenariobasierte Ziele zur Klimaresilienz auf der gesamtstädtischen Ebene

Quelle: eigene Darstellung

ZURES II

Leitsatz: Die Stadt Ludwigsburg ist im Jahr 2035 eine lebenswerte, zukunftsfähige und klimagerechte Stadt, die es allen Menschen ermöglicht, ihren Alltag mit den Klimaveränderungen selbstbestimmt und gesund zu leben.

Strategisches Ziel 1: Alle Menschen wohnen, leben, arbeiten und bewegen sich im Jahr 2035 möglichst ohne Hitzestress in Ludwigsburg, Das heißt ohne durch Hitze ausgelöste körperliche und mentale Beeinträchtigungen oder den Lebensalltag einschränkende Verhaltensanpassungen.

Operatives Ziel 1.1.: Im Jahr 2035 sind bewohnte Gebiete, häufig frequentierte und zentrale Straßen, Wege und Plätze keiner erhöhten Hitzebelastung ausgesetzt.

Operatives Ziel 1.2.: Öffentliche Grün- und Freiflächen mit einer hohen Aufenthaltsqualität auch an heißen Tagen sind für alle Menschen fußläufig und barrierearm in maximal 300 m erreichbar.

Operatives Ziel 1.3.: Die Klimafunktion aller Kaltluftleitbahnen und Kaltluftentstehungsgebiete bleibt erhalten, auch im Falle einer baulichen Entwicklung.

Operatives Ziel 1.4.: Ab dem Jahr 2035 sind alle Stadtteile bedarfsgerecht mit sozialen Infrastruktureinrichtungen und Wohnungen mit Sozialbindung versorgt. Neubauten sind ab sofort und bestehende Bauten ab dem Jahr 2035 baulich/technisch an Hitze angepasst und liegen prioritär in Gebieten mit der geringsten Hitzbelastung.

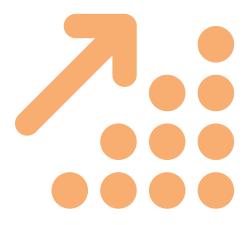
Strategisches Ziel 2: Ab dem Jahr 2027 sind alle Menschen und Institutionen in Ludwigsburg über die Risiken durch Hitze informiert und werden dabei unterstützt, sich an Hitzestress anzupassen.

Operatives Ziel 2.1.: Ab dem Jahr 2027 wird die Stadtbevölkerung zielgruppengerecht vor unmittelbar anstehenden Hitzewellen gewarnt und über Möglichkeiten zum Eigenschutz und zur Eigenvorsorge informiert.

Operatives Ziel 2.2.: Die Entscheiungsstragenden in relevanten Bereichen wie Politik, Verwaltung, Bildung, Betreuung, Gesundheit und Arbeit sind im Jahr 2027 über die Risiken durch Hitze für ihren Zuständigkeitsbereich informiert und kennen Maßnahmen, die zur Abmilderung ergriffen werden können.



Welche Maßnahmen reduzieren die Hitzebelastung in der Stadt?



In ZURES I wurde die Wirksamkeit stadtklimatischer Anpassungsmaßnahmen in Teilräumen der Städte Bonn und Ludwigsburg modelliert. Dank der höheren Auflösung und einer Weiterentwicklung des Modells konnten bei der Stadtklimaanalyse Ludwigsburg in ZURES II weitere Anpassungsmaßnahmen untersucht und dabei eine gesamtstädtische Betrachtung vorgenommen werden.

Im Rahmen der Stadtklimaanalyse Ludwigsburg wurden die Effekte von Anpassungsmaßnahmen in zwei verschiedenen Stufen modelliert: als "zurückhaltendes" Szenario (Stufe I) und als "ambitioniertes" Szenario (Stufe II) (s. Tab. 3). Dabei wurde räumlich dahingehend unterschieden, dass für die Ludwigsburger Innenstadt und Oststadt konkret verortbare Maßnahmen in enger Abstimmung mit der Stadtverwaltung entwickelt wurden, während für das übrige Stadtgebiet Maßnahmen anhand bestimmter Vorgaben in zufälliger Art auf die der Modellierung zugrundeliegenden Landnutzung verteilt wurden. So wurden beispielsweise in Gebieten mit hoher Handlungspriorität mehr Maßnahmen umgesetzt. Im ambitionierten Szenario wurde zudem die Annahme getroffen, dass die städtebaulichen Entwicklungsflächen und Baulücken aus stadtklimatischer Sicht optimiert werden. Das heißt, dass den stadtklimatischen Anforderungen Rechnung getragen wird, beispielsweise durch eine ausreichende Begrünung der Freiflächen und Baukörper. Auf dieser Basis können Effekte von Anpassungsmaßnahmen auf die gesamte Stadt, auf die Quartiere oder auf komplette Straßenzüge ermittelt werden. Zudem sind exemplarische Aussagen zu den Auswirkung verschiedener Maßnahmenkombinationen auf die Hitzebelastung im räumlichen Umfeld möglich.

Stadtklimatische Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen

Die Wirksamkeit der Anpassungsmaßnahmen lässt sich aus der Änderung der thermischen Belastung auf gesamtstädtischer Ebene in den Szenarien gegenüber der Ausgangssituation ableiten. Generell zeigt sich eine kühlende Wirkung durch die Maßnahmen, wobei der Effekt am Tag stärker ausgeprägt ist als in der Nacht. In Quartieren, in denen viele Maßnahmen umgesetzt wurden, betrug die mittlere Abkühlung im ambitionierten Szenario mehr als 0,3 °C in der Nacht (Lufttemperatur) und über 1,1 °C am Tag (PET), was verdeutlicht, dass durch den Einsatz weitreichender Anpassungsmaßnahmen spürbare Effekte auf die Hitzebelastung erreicht werden können.

Im Folgenden werden die wichtigsten Wirkungen der stadtklimatischen Anpassungsmaßnahmen anhand beispielhafter Ausschnitte im Ludwigsburger Stadtgebiet interpretiert (s. Abb. 27). Dabei wird deutlich, dass zur Reduktion der thermischen Belastung am Tag ein breites Set von Maßnahmen zur Hitzevorsorge zur Verfügung steht. Insbesondere Bäume zeigen sich sehr wirksam, da sie sowohl Verschattung bieten als auch für Verdunstungskühlung sorgen. Die Effekte hängen wesentlich von der Größe des Baums bzw. der Baumkrone ab. Zudem kann eine Verdunstung in vollem Maße nur bei gesunden und mit ausreichend Wasser versorgten Bäumen eintreten.

Nicht jeder Standort in einer Stadt eignet sich für Bäume. Einschränkungen sind z. B. Leitun-

Tab. 3: In den Maßnahmen-Szenarien Stufe I und Stufe II umgesetzte Anpassungsmaßnahmen im gesamten Ludwigsburger Stadtgebiet (flächenhafte bzw. anzahlbezogene Betrachtung der Modell-Eingangsdaten)

Quelle: eigene Darstellung

Anpassungsmaßnahmen	Stufe I (zurückhaltend)	Stufe II (ambitioniert)
Entsiegelung	5,1 ha	18,7 ha
Bäume (Anzahl)	ca. 1.200	ca. 4.000
Dachbegrünung (Anzahl Gebäude)	420	740
Fassadenbegrünung (Anzahl Gebäude)	170	510
Straßen mit hellerem Belag	8,1 ha	8,6 ha
Sonnensegel	0,1 ha	0,2 ha
Zerstäuber, Fontänen, etc.	0,1 ha	0,1 ha

gen im Boden, Nutzung von Plätzen für Märkte oder Zufahrten für die Feuerwehr. Hier sind Alternativen gefragt. So können **Sonnensegel** oder andere konstruktive Elemente für eine lokale Verschattung sorgen; sie haben darüber hinaus den Vorteil, dass sie temporär (saisonal oder nur an heißen Tagen) genutzt werden können.

Wasserspiele wie Zerstäuber, Fontänen und Brunnen sind ebenfalls temporär einsetzbar; sie sorgen über die Verdunstung für eine Kühlung an heißen Tagen. Ihr Effekt wird durch die solare Einstrahlung, Temperatur, Windgeschwindigkeit und Windrichtung sowie die Intensität bzw. Höhe der Wasserspiele gesteuert, ist im unmittelbaren Nahbereich am stärksten und nimmt mit steigender Entfernung rasch ab.

Die Begrünung von Gebäuden ist eine weitere Maßnahme zur Reduktion der Wärmebelastung am Tag. Sie bietet zusätzlich Vorteile für das Innenraumklima (sowie Synergien zur Starkregenvorsorge, Biodiversität und Lärmminderung), doch werden in dieser Untersuchung die Effekte auf den Außenraum in den Blick genommen. Dabei erweist sich eine **Fassadenbegrünung** wirksamer in Bezug auf die Reduzierung der Wärmebelastung im bo-

dennahen Bereich als eine Dachbegrünung. Insbesondere im direkten Nahbereich der Gebäude wirkt eine Begrünung der Fassaden kühlend. Bei einer großflächigen Umsetzung zeigt sich auch im Umfeld der Gebäude eine leichte Kühlwirkung. Zwangsläufig ist die Wirkung einer Dachbegrünung auf den bodennahen Bereich bei niedrigen Gebäuden stärker als bei hohen Gebäuden. Ihre hauptsächliche Wirkung entfaltet sie auf Dachniveau (geringere Oberflächentemperatur auf dem Dach, Kühlwirkung auf das nahe Gebäudeumfeld). In der Nacht erzielen die genannten Maßnahmen eine nur geringe bis keine Wirkung auf das Temperaturniveau (unterhalb der Baumkrone ist sogar eine leichte Temperaturzunahme möglich).

Die **Entsiegelung** von Flächen ist dagegen eine sehr effektive Maßnahme zur Reduktion der nächtlichen Überwärmung. Im Bereich der Entsiegelungen ist eine deutliche Abnahme der Lufttemperatur zu verzeichnen und bei großflächiger Umsetzung kann die Maßnahme selbst im Umfeld zu einer leichten Kühlwirkung führen. Die Wirkung einer Entsiegelung am Tag ist differenzierter zu sehen. Mit ausreichend Wasser versorgte Flächen können über die Verdunstung und eine geringere Oberflächentemperatur die Wärmebelastung

am Tag senken. Bei intensiver Einstrahlung wird die Wärmebelastung wesentlich über die Verschattung gesteuert, sodass der Effekt einer Entsiegelung gering ausfällt.

Die stadtklimatische Wirkung eines helleren Straßenbelags bzw. der Oberfläche von Plätzen ist komplex. Durch den helleren Belag wird mehr Strahlung reflektiert (höhere Albedo), sodass sich die Straße weniger aufheizt und in der Nacht weniger Wärme abgibt (leichte Kühlwirkung). Am Tag steigt die Wärmebelastung dagegen leicht an, da die erhöhte (Rück-)Strahlung die Wirkung geringerer Oberflächentemperaturen in der Regel übersteigt, wobei der Effekt je nach Größe und Ausrichtung der Maßnahmenfläche varieren kann.

Die aus der Literatur bekannte Schlussfolgerung wird durch die vorgenommenen Modellrechnungen bestätigt: Durch die Kombination verschiedener Maßnahmen kann die stärkste Kühlwirkung erreicht werden, was in Abbildung 28 anhand von zwei beispielhaften Plätzen in Ludwigsburg und in Abbildung 29 in einem größeren Quartier veranschaulicht

wird. Insbesondere bei einer großflächigen Umsetzung von Entsiegelungen sowie Begrünungs- und Verschattungsmaßnahmen ist sowohl am Tag als auch in der Nacht eine deutliche Kühlwirkung möglich. Die Beispiele zeigen, dass sich mindestens lokal die Folgen des Klimawandels mildern, ausgleichen oder sogar überkompensieren lassen. Gerade in der Nacht und bei Eintritt des Szenarios "Starker Klimawandel" wird es jedoch weiterhin Bereiche mit einer hohen thermischen Belastung geben. Daraus folgt die stadtklimatische Empfehlung, zur Anpassung an den Klimawandel umfangreiche Maßnahmen vorzunehmen, die um weitere Maßnahmen zur Reduktion der Hitzebelastung, die nicht in den Modellrechnungen berücksichtigt werden konnten, ergänzt werden. Hierzu zählen u. a. die Verbesserung des Innenraumklimas, verschattete Sitzgelegenheiten, die Bereitstellung von Trinkwasser oder die Warnung bei und Verhaltenshinweise in Hitzeperioden. Zudem besteht hinsichtlich der Wirkung einiger Maßnahmen (hellerer Straßenbelag) und der Umsetzung im Modell (z. B. Gebäudebegrünung) weiterer Forschungsbedarf.





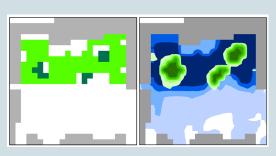
Abb. 27: Stadtklimatische Wirkung einzelner Anpassungsmaßnahmen in Ludwigsburg mit beispielhaften Ausschnitten

Quelle: eigene Darstellung



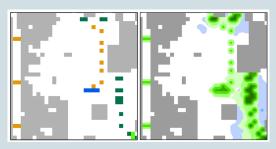
Gebäudebegrünung

- Am Tag Kühlwirkung direkt am Gebäude (Fassadenbegrünung mit stärkerem Effekt (bis ca. 6 °C PET))
- Wirkung von Dachgrün bei niedrigen Gebäuden stärker (bis ca. 4 °C PET)
- Bei großflächiger Umsetzung geringe Kühlwirkung im Umfeld der Gebäude (ca. 1 2 °C PET; Reichweite bis ca. 50 m)
- Nachts sehr geringer Effekt



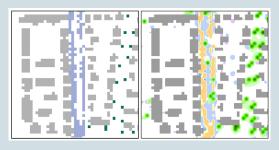
Entsiegelung

- Sehr wirksam in der Nacht (bis zu 4 °C Abkühlung am Ort der Maßnahme)
- Im Nahumfeld leichte Abkühlung (0,1 0,5 °C; max. Reichweite ca. 60 m)
- Am Tag geringer Effekt



Verschattung und Wasserspiele

- Am Tag Verschattung insbesondere durch Bäume (Abkühlung bis > 10 °C PET) und Sonnensegel (bis ca. 5 °C PET) lokal sehr wirksam
- Wasserspiele senken ebenfalls die Hitzebelastung am Tag (lokal bis ca. 7 °C)
- Nachts einzig bei Bäumen ein Effekt (leichte Temperaturzunahme unter dem Kronendach möglich)



→ Hellerer Straßenbelag

- Nächtliche Überwärmung im Straßenraum sinkt leicht (Abkühlung ca. 0,1 °C bis 0,6 °C infolge höherer Reflexion)
- Am Tag tendenziell leicht höhere Wärmebelastung (bis 2 °C PET infolge erhöhter Rückstrahlung)
- Effekte können je nach Größe und Ausrichtung der Fläche variieren

Abb. 28: Stadtklimatische Wirkung kombinierter Anpassungsmaßnahmen in Ludwigsburg mit beispielhaften Ausschnitten

Quelle: eigene Darstellung



Legende zu Abb. 28 und 29

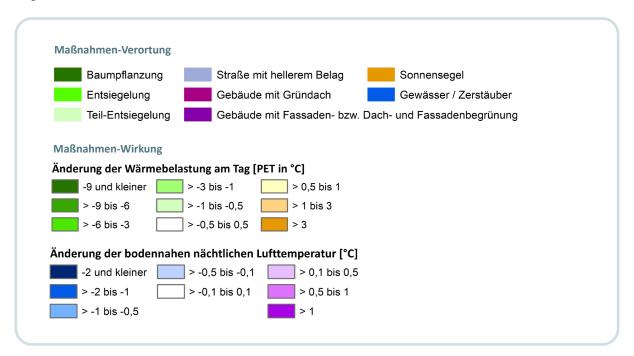
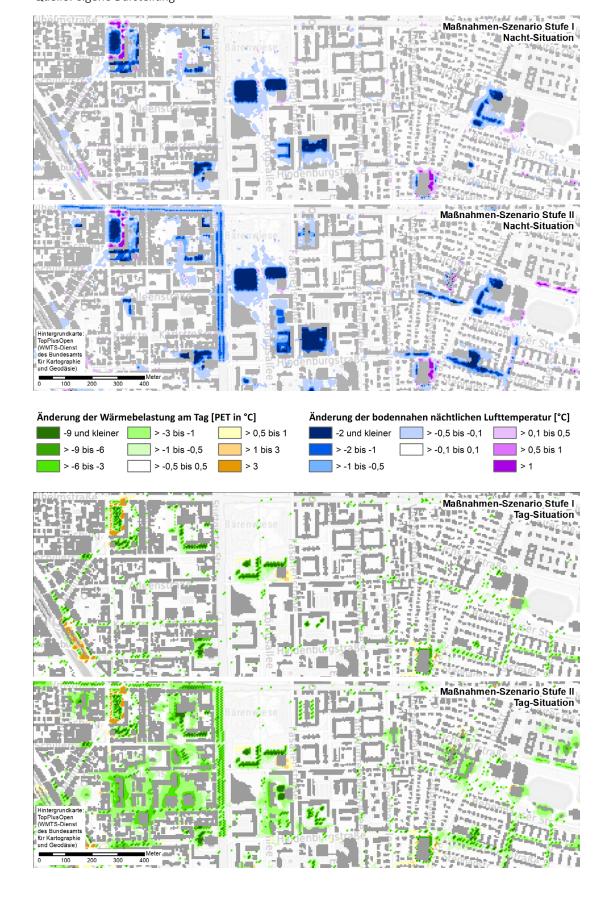


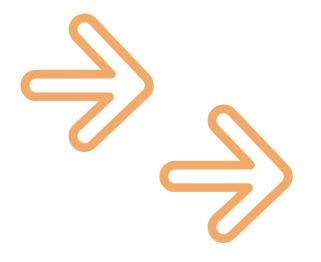
Abb. 29: Stadtklimatische Wirkung kombinierter Anpassungsmaßnahmen für die Maßnahmenszenarien (Stufe I + II) sowie für die Tag- und die Nachtsituation in einem Teilraum in Ludwigsburg Quelle: eigene Darstellung







Welche Planungsinstrumente stehen uns zur Verfügung?



"Die Bauleitpläne [...] sollen dazu beitragen, eine menschenwürdige Umwelt zu sichern, die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen und zu entwickeln sowie den Klimaschutz und die Klimaanpassung, insbesondere auch in der Stadtentwicklung, zu fördern [...]." (§ 1 Abs. 5 Satz 2 BauGB)

Für die Steuerung der städtebaulichen Entwicklung kommen vielfältige formelle und informelle Instrumente der städtebaulichen Entwicklung auf gesamtstädtischer wie teilräumlicher Ebene zum Einsatz. Vor dem Hintergrund des Klimawandels muss es zukünftig viel stärker als bisher darum gehen, die Vulnerabilität von Stadt- und Infrastrukturen sowie von Stadtgesellschaft in den planerischen Strategien zur Stadtentwicklung zu berücksichtigen

Die formellen und informellen Instrumente der Stadtentwicklung

Welche Instrumente zur Verfügung stehen und wie die in ZURES entwickelten Werkzeuge und Methoden zu einer Qualifizierung dieser Instrumente beitragen können, war eine zentrale Fragestellung im Forschungsprojekt. Die Anwendung einzelner ZURES-Tools wurde in den Modellstädten Ludwigsburg und Bonn erprobt. Diese kamen in Ludwigsburg beispielsweise bei der Entwicklung von gesamtstädtischer Zielvorstellungen zur Anpassung an den Hitzestress sowie bei der Erarbeitung von Maßnahmen auf gesamtstädtischer Ebene und für die Ludwigsburger Stadtteile Innenstadt und Ost zum Einsatz.

Klima- und Vulnerabilitätsanalysen und -szenarien sowie die daraus abgeleiteten integrierten Planungshinweiskarten können für alle Planungsschritte auf den unterschiedlichen Planungsebenen wertvolle Hinweise und Entscheidungsgrundlagen für die Ausgestaltung der Planung und die Priorisierung von Maßnahmen liefern (s. Abb. 30).

Klimaanpassung als kommunale Pflichtaufgabe in der Bauleitplanung

Mit der Novelle des BauGB im Jahr 2011 wurde den Themen Klimaschutz und Klimaanpassung ein höherer Stellenwert in den formellen Planwerken beigemessen. So wurde Klimaanpassung zur Pflichtaufgabe in der Bauleitplanung. Auch bei Sanierungs- und Stadtumbaumaßnahmen erhielten Klimabelange durch die Klimaschutzklausel im § 1 BauGB ein deutlich größeres Gewicht in der planungsrechtlichen Abwägung. Gemäß § 1 Abs. 6 BauGB müssen bei der Aufstellung der Bauleitpläne insbesondere auch die Auswirkungen auf das Klima und die umweltbezogenen Auswirkungen auf den Menschen und seine Gesundheit sowie die Bevölkerung insgesamt berücksichtigt werden. Die für alle Bauleitpläne geforderte Umweltprüfung muss gemäß Anlage 1 Nr. 2 b) ee) BauGB eine Betrachtung der Risiken für die menschliche Gesundheit beinhalten. Damit wird an dieser Stelle eine Vulnerabilitätsperspektive eingefordert (Greiving 2019a).

Abb. 30: Kommunale Planungsinstrumente zur Steuerung einer hitzeangepassten Stadtentwicklung und im Rahmen der ZURES-Projekte entwickelte und erprobte Tools

Quelle: eigene Darstellung

Gesamtstadt

Teilgebiet/Quartier

Formelle Planung

Informelle Planung

Hochaufgelöste Stadtklimaanalyse

ZURES-Tools

Flächennutzungsplan

Stadtentwicklungskonzept
Sonstige städtebauliche
Konzepte

Indikatorengestützte Vulnerabilitätsanalyse

Landschaftsplan

Umweltprüfung

Sektorale Fachkonzepte, z. B. Freiraumentwicklungskonzept, Klimaanpassungskonzept, Hitzeaktionsplan

> Partizipative Szenariomethoder

Partizipative

Bebauungsplan (qualifiziert/vorhaben-

bezogen/einfach

Städtebauliche Rahmenpläne Hotspotanalysen

Grünordnungsplan

Integrierte Entwicklungskonzepte für Sanierungs-, Stadtumbau- und soziale Stadtgebiete

Integrative Planungshinweiskarte Ist-Zustand

Umweltprüfung

Teilräumliche Fachplanungen Integrative Planungshinweiskarte

Sonstige Satzungen

Vorhabenbezogene Entwicklungsplanungen/ Städtebauliche Verträge

Wettbewerbe

Bebauungskonzepte

Stadtklimatologische Modellierung von Maßnahmeneffekten

Stadtklimatologische Modellierung von kumulativen Effekten

bei Bauvorhaben

Freiflächengestaltungspläne

Baugesuche

Entwurfsplanungen

56

Neben der Beschreibung des aktuellen Umweltzustands (Basisszenario) ist bei der Umweltprüfung auch der "evolving baseline trend", also der durch den Klimawandel veränderte Basiszustand, zu berücksichtigen. Zudem muss der Umweltbericht eine Beschreibung der Auswirkungen des Projekts auf das Klima (z. B. Art und Ausmaß der Treibhausgasemissionen) und der Anfälligkeit des Projekts in Bezug auf den Klimawandel enthalten.

Darüber hinaus sind gemäß Anlage 1 Nr. 2d BauGB anderweitige Planungsmöglichkeiten zu prüfen und die wesentlichen Gründe zur getroffenen Wahl darzulegen. Dabei geht es beispielsweise um die Auswahl von Potenzialflächen für eine Bebauung (FNP-Ebene) oder städtebauliche Entwurfsvarianten für einzelne Flächen (B-Planebene). Im Rahmen dieser Alternativenprüfung werden insbesondere auch die Auswirkungen auf das Stadtklima und die menschliche Gesundheit untersucht. Wird der Klimawandel in der Umweltprüfung nicht ausreichend behandelt, drohen Abwägungsfehler oder gar ein Abwägungsausfall und somit die materielle Rechtsfehlerhaftigkeit der Planung (Greiving 2019a).

Umgang mit Ungewissheit

Gerade formelle Planungen sind üblicherweise darauf ausgelegt, einen anzustrebenden, definierten Endzustand aufzuzeigen. Allerdings sind Aussagen zu künftigen Entwicklungen im Zuge des demografischen Wandels oder des Klimawandels mit Unsicherheiten verbunden. Daher ist es sinnvoll, unterschiedliche Szenarien und Bandbreiten von Simulationsergebnissen mit in die Planungserwägungen einzubeziehen. In ZURES wurde dies u.a. durch die Betrachtung von zwei Szenarien, dem schwachen und dem starken Klimawandel, sowie von unterschiedlichen Entwicklungen der gesellschaftlichen Vulnerabilität berücksichtigt. So ergeben sich größere Bandbreiten an Szenarien, was die Arbeit mit Szenariokorridoren erforderlich macht (s. Abb. 31).

Die Unsicherheiten in Bezug auf die Auswirkungen des Klimawandels auf die Städte erfordern eine anpassungsfähige und flexible Planung. Das formelle Planungsrecht wird demgegenüber eher als unflexibel eingeschätzt. Dennoch gibt es Möglichkeiten, mit Unsicherheiten in städtebaulichen Planungen umzugehen. Dazu gehören vor allem folgende strategische Ansätze (s. hierzu Hallgate 2009; BBSR 2020):



Abb. 31: Szenariokorridor für die Raumplanung

Quelle: eigene grafische Darstellung, übersetzt und vereinfacht nach Greiving 2019b

"No-regret-Strategien": Maßnahmen zur Klimaanpassung bringen einen Mehrwert für die Stadtentwicklung, auch wenn die prognostizierten Klimawandelfolgen nicht oder nicht in der erwarteten Stärke eintreten. So bedeutet die Erhöhung des Grünvolumens eine Minderung des Hitzeinseleffekts, aber grundsätzlich auch eine Verbesserung der Aufenthaltsqualität im Quartier. Die Förderung multifunktionaler Flächen hat zum Ziel, die Klimarelevanz von Freiräumen zu erhöhen – als thermische Ausgleichs- und Retentionsflächen – und zugleich ihre Funktion als Erholungsflächen, Sport- und Spielbereiche zu stärken. Die Absicherung von Planungsoptionen für Klimanapssungsmaßnahmen kann so als Win-win-Situation über multifunktionale Flächennutzungen erfolgen.

Reversible Strategien: Dies bedeutet, Festsetzungen werden in den Bauleitplänen auf Zeit getroffen. So ermöglicht § 9 Abs. 2 Nr. 1 des BauGB ein Baurecht auf Zeit. Ergänzend können auflösende Bedingungen formuliert werden, wodurch mit Eintritt eines bestimmten Umstands die bis dahin bestehende Nutzungsmöglichkeit wieder entfällt (BMVBS 2013).

Sequenzielle Strategien: Die Realisierung der Planung wird in Abhängigkeit des Eintretens bestimmter Entwicklungen zeitlich und räumlich priorisiert (über Wenn-Dann-Relationen). Damit lassen sich Entscheidungshorizonte verringern und mittelfristige Lösungen anstreben. Ein Beispiel ist die Priorisierung von im Flächennutzungsplan dargestellten, geplanten Bauflächen, sodass eine gestufte Aktivierung erfolgt, in Abhängigkeit der Entwicklung der thermischen Belastungssituation in den betreffenden (angrenzenden) Quartieren.

Kooperative Ansätze: Vielfach fehlen rechtliche Normen für Schutzziele und Schwellenwerte im Bereich der Klimaanpassung. Hier setzen informelle Planungen oder Zielvereinbarungen an, die auf Szenarien möglicher Entwicklungspfade aufbauen können. So ist die Festlegung von räumlichen Zielen und Maß-

nahmen zur Klimaanpassung über vom Stadtrat beschlossene klimarelevante Master- oder Rahmenpläne sowie Stadtentwicklungskonzepte möglich – als angemessen normierte Grundlage für die weitere klimawandelangepasste Stadtentwicklung.

Safety Margin Strategies: Maßnahmen werden mit "Sicherheitszuschlägen" versehen. Diese Strategien eignen sich insbesondere für Bereiche mit hoher aktueller thermischer Belastung wie beispielsweise die Innenstädte. Angesichts steigender Temperaturen und der Zunahme von Hitzewellen sollten Maßnahmen eher auf Szenarien eines "starken" Klimawandels ausgerichtet werden.

Die verschiedenen Strategien zeigen, dass sich die Ungewissheit in Bezug auf die Veränderungsprozesse reduzieren lässt. Dennoch lassen sich zukünftige Entwicklungen nur in "Korridorbereichen" prognostizieren. Planung muss daher lernen, mit Ungewissheiten in Planungsprozessen umzugehen und dies rechtssicher zu gewährleisten. Deshalb sollten Planungen stärker als Prozesse verstanden und über Monitoringsysteme und kooperative Rückkopplungen auf aktuelle Entwicklungen und absehbare Trends angepasst werden.

Mehrwert der in ZURES entwickelten Tools für städtische Planungen

Mit Hilfe der in ZURES entwickelten Tools (s. Abb. 30) gelingt es, planerische Strategien mit Blick auf die Vermeidung von Hitzebelastungen und Erhöhung der Resilienz der Städte und der Stadtbevölkerung zu qualifizieren. Planerische Strategien in der Stadtentwicklung wie die Alternativenprüfung von Vorhaben, die Standortsteuerung von Baugebieten sowie die allgemeine Flächenvorsorge können auf Basis hochaufgelöster Klimaanalysen, detaillierter Vulnerabilitäsanalysen sowie von Szenarien passgenauer entwickelt und eingesetzt werden. Die integrierten Planungshinweisund Hotspotkarten bieten Anhaltspunkte,

wo welche Flächennutzungen lokalisiert bzw. angepasst und multifunktional gestaltet werden können. Sie liefern zudem Begründungen dafür, welche Anforderungen an die doppelte Innenentwicklung gestellt werden, ob eine sequenzielle Realisierung von Planungen oder gar Rückbaustrategien sinnvoll eingesetzt bzw. in Erwägung gezogen werden sollten.

Die Planungsgrundlagen zeigen den Einfluss des Klimawandels und die zunehmende thermische Belastung auf das Schutzgut menschliche Gesundheit auf. Dies gilt aber auch für den Einfluss des Landnutzungswandels und der Altersentwicklung der Bevölkerung (Zunahme der Risikogruppe der über 65-Jährigen) – ganz unabhängig vom Klimawandel. In den Szenarien wird gezeigt, dass der Klimawandel einen temperaturerhöhenden Effekt auf die Gesamtstadt besitzt, das Prozessgeschehen und die Kaltluftdynamik jedoch weitgehend gleich bleiben. Der Landnutzungsund demografische Wandel führen jedoch zu großen, lokalen Temperaturerhöhungen bzw. Hitzestress. Dies zeigt, dass die Planungsstrategien mit Blick auf den Schutz der menschlichen Gesundheit überdacht werden müssen.

Im ZURES-Forschungsprojekt wurden folgende Empfehlungen ausgesprochen:

Standortsteuerung und Alternativenprüfung optimieren: Durch verbesserte Planungsgrundlagen können die Standortsuche und Alternativenprüfung bei Vorhaben und Baugebieten im Sinne einer verbesserten Risikovorsorge gegenüber den Folgen des Klimawandels optimiert werden. Dies gilt für die Ebene der gesamtstädtischen Planung (z. B. Flächennutzungsplan, Stadtentwicklungsprogramm), die Ebene der Bebauungsplanung und die jeweilige Umweltprüfung. Die in ZURES entwickelten integrierten Planungshinweiskarten für den Status quo und für unterschiedliche Szenarien liefern hierzu eine gute Grundlage, da sie eine Bewertung möglicher Standorte (auch im Vergleich) zulässt, bezüglich

- einer Verschärfung der thermischen Belastungssituation im Quartier oder der Gesamtstadt bei Realisierung,
- möglicher Risiken für das Vorhaben selbst oder auch
- der Wechselwirkungen mit benachbarten Ausgleichsräumen (Entlastung oder Belastung).

Es wird zudem empfohlen, den Status quo in Verbindung mit den Szenarien als Beurteilungsgrundlage heranzuziehen. Hierüber kann eine Zuschreibung der zukünftigen Entwicklung des Hitzestresses zu den klimatischen Veränderungen infolge des Klimawandels, des demografischen Wandels sowie des Landnutzungswandels abgeleitet werden. Diese Informationen sind darüber hinaus für die Umweltprüfungen relevant, in deren Rahmen die Auswirkungen des Klimawandels auf die Planung sowie die Auswirkungen der Planung auf den Klimawandel geprüft werden müssen.

Sequenzielle Realisierung von Bauvorhaben als Strategie verankern: Die Planungshinweiskarten und Modellierungen können als Grundlage für eine seguenzielle

können als Grundlage für eine sequenzielle Planrealisierung herangezogen werden. Ein risikovorsorgender Regelungsmechanismus zur Baulandaktivierung besteht beispielsweise darin, Innenentwicklungsvorhaben oder die Mobilisierung von Baulandreserven des Flächennutzungsplans in weniger wärmebelasteten Quartieren oder auf Freiflächen, die für die Durchlüftung weniger relevant sind, zeitlich und räumlich zu priorisieren.

Flächenvorsorge für klimarelevante Ausgleichsräume verbessern: Flächen mit positiven funktionalen Leistungen für die Kühlung und den thermischen Komfort sollten in den Bauleitplänen prioritär gesichert werden. Die Planungshinweiskarten für die nächtliche Situation zeigen die für die Durchlüftung relevanten Flächenfunktionen auf; die Karten für die Situation am Tag sowie die Hotspotkarten stellen die für den Klimakomfort relevanten Flächen dar. Anhand der

Verteilung vulnerabler Risikogruppen können Maßnahmenpriorisierungen vorgenommen werden. Die Umsetzung erfolgt auf Flächennutzungsplanebene durch die Sicherung von Kaltluftentstehungsflächen, das Freihalten von Luftleitbahnen sowie die Sicherung klimarelevanter Freiräume; auf Bebauungsplanebene steht die Sicherung, Aufwertung oder Neuanlage von Freiflächen zur Verbesserung des Klimakomforts und zur Verminderung der Erwärmung im Vordergrund.

Das besondere Städtebaurecht nutzen:
Die ZURES-Tools liefern Grundlagen und
Begründungen für den klimawandelgerechten Stadtumbau. Stadtumbaumaßnahmen
nach § 171a BauGB und städtebauliche Sanierungsmaßnahmen nach § 136 Abs. 4 Nr. 1
BauGB bieten hierfür seit der BauGB-Novellierung 2017 einen entsprechenden Rechtsrahmen. Ein Schwerpunkt liegt dabei sicherlich in den wenig durchlüfteten Innenstadtlagen, die in vielen prosperierenden Städten nachverdichtet werden. Fördermaßnahmen oder Zielvereinbarungen als kooperative Strategien zur Reduzierung der Wärmebelastung können den strategischen Ansatz stützen.

Strategien zur doppelten Innenentwicklung qualifizieren: Mit der Formulierung verbindlicher Qualitätsstandards zur Sicherung und Ausgestaltung von Freiräumen und Baustrukturen in verdichteten wärmebelasteten Bereichen oder in Bereichen mit mangelndem Klimakomfort am Tage kann eine stark belastende oder gar gefährdende Überwärmung von Quartieren vermieden werden. Integrierte und szenarienbasierte Planungshinweiskarten helfen dabei, langfristige Strategien zu entwickeln, die eine qualifizierte Inanspruchnahme von Flächen für die Innenentwicklung unter Beachtung der Wärmelast sowie ihrer Bedeutung für die Durchlüftung oder für den Klimakomfort gewährleisten.

Die Modellierung der Auswirkungen baulicher Maßnahmen der Innenverdichtung auf das Stadtklima dient einer räumlich differenzierten Einschätzung der thermischen Belastung nach Realisierung der Bebauung. Die Modellierungen von Maßnahmen zur Erhöhung des Grünvolumens geben Hinweise auf effektive Maßnahmenkombinationen im Rahmen der doppelten Innenentwicklung.

Auch die Ausgestaltung der Freiflächen und Baustrukturen kann in Abhängigkeit von der gesamtstädtischen klimatischen Funktion der Flächen erfolgen. Darüber hinaus können Tabuflächen für eine weitere Innenentwicklung identifiziert und im Flächennutzungsplan als Baubeschränkungsbereiche ausgewiesen werden.

Strategien zur Rücknahme von Siedlungsstrukturen, Bauvorhaben und für reversible Nutzung entwickeln: Planhinweise auf Basis einer Klimaanalyse und von Klimaszenarien können als Begründung für den Rückbau von Siedlungs- und Infrastrukturen, z. B. im Rahmen des Stadtumbaus, dienen (UBA 2022). Die Umsetzung von Rückbauvorhaben gestaltet sich einfacher, wenn vorhandene Nutzungen aufgegeben wurden bzw. wenn Planungsrechte für die vorhandene Nutzung an anderer Stelle vorbereitet werden, um bei einer Nutzungsaufgabe handlungsfähig zu bleiben. Auch die Vergabe von Baurechten auf Zeit nach § 9 Abs. 2 Nr. 1 BauGB lässt sich damit begründen, etwa wenn gesunde Wohnund Arbeitsverhältnisse durch schlechte bioklimatische Verhältnisse erheblich beeinträchtigt werden.

Effektstärken modellieren, um Maßnahmenplanungen zu optimieren: Abgesehen von den planerischen Strategien ist es wichtig, konkrete Maßnahmen zu erarbeiten und zu verorten. Dies betrifft sowohl Maßnahmen zur Vermeidung und Minimierung der Gefährdung und Belastung der menschlichen Gesundheit als auch zur Erhöhung der Resilienz. Klima- und Verwundbarkeitsanalysen bieten die Voraussetzungen für eine passgenaue Maßnahmenentwicklung. Über die Modellierung der Effektstärken ein-



zelner Maßnahmen wie auch unterschiedlicher Maßnahmenkombinationen lassen sich die Maßnahmen optimieren und gezielt aufeinander abstimmen. Die Modellierung von Effektstärken für Maßnahmen-Szenarien ist deshalb zielführend für eine klimawandelangepasste und resiliente Stadt.

Hitzeaktionspläne als flankierende Strategie zur Berücksichtigung besonderer Risikogruppen erarbeiten: Hitzeaktionspläne dienen der Prävention und Reduzierung von Hitzerisiken für die menschliche Gesundheit. Ihr Ziel ist es, Akteure im Gesundheitswesen und sensible Bevölkerungsgruppen über die Risiken zu informieren, Multiplikatoren zu akquirieren und das Risikomanagement vorzubereiten. Dabei geht es insbesondere um die Bewältigung konkreter Extremereignisse wie Hitzewellen. Hier kann ein Hitzeaktionsplan Hinweise zu Hitzewarnungen und deren Reichweite, zur Verteilung von Trinkwasser an öffentlichen Orten und in Verkehrsmitteln sowie zu Buddysystemen und Telefonhilfen geben. Zu den Kernaufgaben einer Hitzeaktionsplanung gehört zudem die Entwicklung langfristiger Anpassungsmaßnahmen, beispielsweise die Identifikation vulnerabler Gruppen sowie stadtplanerischer und baulicher Maßnahmen. Wichtige Aspekte sind auch das Monitoring hitzebedingter Mortalität und Morbidität. Die in ZURES erarbeiteten Planungsgrundlagen

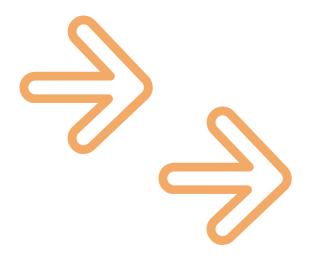
können dazu genutzt werden, um u. a. bei Hitzeaktionsplänen Stadtteile mit vulnerablen Bevölkerungsgruppen zu identifizieren und Priorisierungen bei der Verortung von Maßnahmen vorzunehmen.

Fazit

Trotz fehlender Fachnormen zur eindeutigen Beurteilung der Klimafolgewirkungen kann eine rechtssichere Gestaltung erfolgen, wenn die beste verfügbare Wissensgrundlage verwendet wird und dabei alle der plangebenden Institution zugänglichen Erkenntnisquellen ausgeschöpft werden. Die ZURES-Tools eignen sich daher in besonderer Weise zur Ausgestaltung planerischer Strategien und deren Anwendung über die kommunalen Planungsinstrumente. Eine Aufweitung der bisherigen Strategien zur Risikovorsorge in der städtebaulichen Entwicklung ist rechtlich durch Ausnutzung des aktuell zur Verfügung stehenden Instrumentariums möglich und notwendig. Es gilt hier, viel stärker als bisher die Schutzgutperspektive zu integrieren. Dies gelingt durch den Ansatz der Verwundbarkeitsanalyse, die sich mit der Empfindlichkeit und/oder der Schutzwürdigkeit der einzelnen Schutzgüter auseinandersetzt. Mit Szenarien(korridoren) lassen sich gleichzeitig Unsicherheiten bezüglich der zu erwartenden Entwicklungen bewältigen.



Was ist zu tun?



Die Erkenntnisse aus dem ZURES-Projekt sollen den Kommunen dabei helfen, die Planungspraxis in der Erstellung und Anwendung von Klima- und Vulnerabilitätsanalysen als Instrumente zur Förderung der Resilienz von Städten zu verbessern.

Klimawandel und Gesellschaftswandel zusammendenken

Für die Entwicklung von Anpassungsstrategien gegenüber Hitzerisiken werden in Kommunen, wie auch die Städtebefragung zeigte, vielfach lediglich Gefahrenkarten, z. B. Klimaanalysekarten, genutzt. Gefahrenkarten reichen jedoch nicht aus, um Lösungsansätze zu entwickeln; dies greift für einen zukunftsfähigen Umgang mit den Wirkungen des Klimawandels zu kurz. Denn neben dem fortschreitenden Klimawandel erfahren unsere Städte weitere Veränderungsprozesse, wie z. B. Alterung, Armut, Wanderung oder Urbanisierung, sodass auch Fragen zur Veränderung der räumlichen Exposition und der Verwundbarkeit von Menschen und Infrastrukturen in den Fokus von Strategien zur Klimaanpassung rücken müssen. Für passgenaue Lösungsansätze sind folglich neben den Klima- auch Verwundbarkeitsinformationen essentiell.

Die im Rahmen des ZURES-Projekts für Ludwigsburg entwickelten Verwundbarkeitsszenarien zeigten, dass neben der Innenstadt, bei der die Anpassungsnotwendigkeit primär aus thermischen Gründen gegeben ist, auch Stadtviertel in der Oststadt, bedingt durch Alterungs- und sozioökonomischer Veränderungen, einen höheren Handlungsbedarf auf-

zeigen. Die Anpassung an den Klimawandel ist demnach nicht nur eine klimatologische Fragestellung, sondern auch eng verknüpft mit den Aspekten der (sozialen) Stadtentwicklung.

Für eine Einbettung dieses integrativen Ansatzes – Klimawandel und Gesellschaftswandel zusammenzudenken – in kommunale Handlungspraxis hilft es, den Belang Klimaanpassung an bestehende Planungsprozesse und -instrumente zu knüpfen, die ebenfalls eine zukunftsgewandte und multisektorale Betrachtung vorsehen.

Das Potenzial zur Nutzung von Vulnerabilität als Schlüsselaspekt für eine resiliente Stadtentwicklung ist bei Weitem noch nicht voll ausgeschöpft. Es fehlt bisher vielfach an einem praxistauglichen Transfer zur Nutzung der Informationen in den unterschiedlichen Bereichen der Gesamtplanung, der Fachplanungen, der Klimaanpassung, der Sozialplanung oder der Gesundheitsplanung.

Im Folgenden werden die ZURES-Empfehlungen für vier Handlungsfelder zusammengefasst.

Handlungsfeld 1

Kommunale Planungsgrundlagen verbessern

Die thermische Belastung von Stadträumen und der Hitzestress der Bevölkerung variiert oftmals sehr kleinräumig. Zudem unterscheiden sich die Kompensationsmöglichkeiten der Bevölkerung – etwa der Zugang zu "Klimakomfortinseln" – in Abhängigkeit des Wohnorts. Die Modellierung der thermischen Belastung in Verbindung mit einer differenzierten Betrachtung der Klimawirkungen unter Einbeziehung sozialökologischer Indikatoren ermöglichen eine valide Analyse, Verortung und Bewertung der hitzebedingten Vulnerabilität und des Risikos.

Kommunale Planungsgrundlagen verbessern

- Räumlich hoch aufgelöste Stadtklimaanalysen durchführen, valide Klimaszenarien erarbeiten
- Daten zur sozioökonomischen Situation nutzen, sozioökonomische Szenarien erstellen
- Vulnerabilitätsanalysen in ämterübergreifender Zusammenarbeit durchführen
- Integrierte Planungshinweis- und Hotspotkarten für den Status quo und für Szenarien aus den Analyseergebnissen ableiten



Kapitel 3, 4 und 5

Handlungsfeld 2

Planerische Strategien und Instrumente qualifizieren

Ziel ist es, stadtplanerische Strategien in Bezug auf eine konsequente Vermeidung bzw. Reduzierung von Hitzebelastungen sowie eine resiliente Stadtentwicklung zu qualifizieren. Grundlage dafür sind Stadtklima- und Vulnerabilitätsanalysen sowie integrierte Planungshinweiskarten für den Status quo und für unterschiedliche Szenarien. Diese bieten Anhaltspunkte, wo welche Flächennutzungen lokalisiert bzw. angepasst und multifunktional gestaltet werden können. Sie liefern zudem Begründungen dafür, welche Anforderungen an die doppelte Innenentwicklung gestellt werden, ob eine sequenzielle Realisierung von Planungen infrage kommt oder gar Rückbaustrategien in Erwägung gezogen werden sollten.

Planerische Strategien und Instrumente qualifizieren

- Ziele zur Hitzeanpassung formulieren und Indikatoren zur Messung und Überprüfung der Ziele mitdenken
- ZURES-Tools zur Optimierung der Standortsteuerung und Alternativenprüfung nutzen
- Sequenzielle Realisierung von Bauvorhaben als Strategie verankern
- Flächenvorsorge für klimarelevante Ausgleichsräume verbessern
- Das besondere Städtebaurecht nutzen
- Strategien zur doppelten Innenentwicklung qualifizieren
- Strategien zur Rücknahme von Siedlungsstrukturen, Bauvorhaben und für reversible Nutzung entwickeln
- Effektstärken modellieren, um Maßnahmenplanungen zu optimieren
- Hitzeaktionspläne als flankierende Strategie zur Berücksichtigung besonderer Risikogruppen erarbeiten



Kapitel 6, 7 und 8

Handlungsfeld 3

Maßnahmen passgenau entwickeln

Um Maßnahmen passgenau zu entwickeln, müssen zum einen die einzelnen Faktoren auf der Gefahrenseite differenziert, z. B. bauliche Verdichtung und Erhöhung der Wärmelast, und darauf aufbauend Maßnahmen wie Verschattung und Begrünung entwickelt werden. Auf der anderen Seite sind auch für den anderen Risikopol, die Vulnerabilität, Maßnahmen zu erarbeiten und anhand sozioökonomischer Indikatoren differenziert zu verorten. Maßnahmen zur Klimaanpassung können dabei über Instrumente der Stadtentwicklung oder unmittelbar als bauliche sowie verhaltensbezogene Maßnahmen für den Schutz der Bevölkerung ausgestaltet sein. Hilfreich sind Modellierungen einzelner Maßnahmen und unterschiedlicher Maßnahmen-Szenarien, um Effektstärken und effektive Maßnahmenkombinationen für die spezifische städtebauliche Situation auswählen zu können.

(Planerische) Maßnahmen passgenau entwickeln

- Maßnahmen aus der Gefahren- und Schutzgutperspektive fachübergreifend entwickeln
- Maßnahmen und deren Effektstärke modellieren
- Effektstärken zudem für verschiedene Maßnahmen-Szenarien modellieren
- Multifunktionale Nutzungen zur Stärkung der Klimaresilienz fördern
- Durch konsequente Bauvorsorge die thermische Belastung reduzieren
- Eigenvorsorge der Stadtbevölkerung unterstützen



Kapitel 7

Handlungsfeld 4

Kommunikation und Beteiligung unterstützen

Im Rahmen des ZURES-Projekts gab es eine breite Beteiligung durch Akteure aus der Wissenschaft und Vertreterinnen und Vertretern aus der Planungspraxis. ZURES hat gezeigt, wie die Generierung von Informationen und Methoden im intensiven Austausch gelingt, um so für einzelne Kommunen und Akteurskonstellationen angepasste Strategien und Maßnahmen zu entwickeln. Dies gilt auch für die Erarbeitung von Szenarien, in deren Rahmen für eine Kommune realistische Zukünfte entworfen werden. Zudem geht es um die Präsentation und Darstellung von Ergebnissen, die verständlich und vermittelbar erfolgen soll, um anschlussfähig für Politik, Planung und Bevölkerung zu bleiben.

Kommunikation und Beteiligung unterstützen

- Szenarien der Stadtentwicklung partizipativ auf gesamtstädtischer Ebene fachübergreifend entwickeln
- Planungshinweiskarten als Instrument zur fachübergreifenden Koordinierung von Maßnahmen nutzen
- Über ein gemeinsames Arbeiten an Hotspotkarten des städtischen Hitzestresses die Bevölkerung für das Thema sensibilisieren und in die Analyse- und Maßnahmenerarbeitung einhinden
- Leitbildentwicklung als ressorts- und fachübergreifenden Prozess verstehen
- Maßnahmen für eine hitzeresiliente Stadtentwicklung gemeinsam in die Instrumente der Stadtentwicklung einbetten
- Akteure mitnehmen den Wissenschaft-Praxis-Dialog als Format für den Austausch nutzen

Quellenverzeichnis

Baugesetzbuch (BauGB) in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 12. Juli 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 184) geändert worden ist.

Baumüller, N. (2018). Stadt im Klimawandel: Klimaanpassung in der Stadtplanung. Grundlagen, Maßnahmen und Instrumente (Dissertation). Universität Stuttgart. Zugriff: http://dx.doi.org/10.18419/opus-9821 [abgerufen am: 23.10.2023].

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (Hrsg.) (2013): Flexilibisierung der Planung für eine klimawandelgerechte Stadtentwicklung. Verfahren, Instrumente und Methoden für anpassungsflexible Raum- und Siedlungsstrukturen. BMVBS-Online-Publikation 16/2013. Zugriff: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/ministerien/bmvbs/bmvbs-online/2013/DL_ON162013.pdf?__blob=publicationFile&v=1 [abgerufen am: 24.10.2023].

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (Hrsg.) (2020). Vorsorgendes Risikomanagement in der Regionalplanung: Handlungshilfe für die Regionalplanung. Bonn. Zugriff: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2020/risikomanagement-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=2 [abgerufen am: 24.10.2023].

Birkmann, J.; Göttsche, F.; Greiving, S.; Schnittfinke, T.; Fuchs, M.; Garschagen, M.; Katzschner, A.; Büter, B.; Löbig, J.; Hartz, A.; Saad, S.; Dörrenbächer, S. & Krafft, A. (2022). Ganz schön cool hier: Wie gelingt hitzeangepasste Stadtentwicklung für alle? Gemeinsamer Schlussbericht des ZURES II-Projekts. Anwendung und Verstetigung der zukunftsorientierten Klima- und Vulnerabilitätsszenarien in ausgewählten Instrumenten und Planungsprozessen – Modellstadt Ludwigsburg.

Birkmann, J.; Sauter, H.; Sorg, L.; Laranjeira, K.; Göttsche, F.; Greiving, S.; Fleischhauer, M.; Puntub, W.; Schnittfinke, T.; Arens, S.; Hülsbusch, J.-K.; Kreisherr, F.; Garschagen, M.; Sandholz, S.; Wannewitz, M.; Büter, B.; Schneider, M.; Burmeister, C.; Hartz, A.; Saad, S.; Helbig, J.; Löffler, J.; Burkhardt, A. & Klose, C. (2019). Gemeinsamer Schlussbericht des ZURES-Projekts: Zukunftsorientierte Vulnerabilitäts- und Risikoanalyse als Instrument zur Förderung der Resilienz von Städten und urbanen Infrastrukturen (ZURES).

Birkmann, J.; Böhm, Hans, R.; Buchholz, F.; Büscher, D.; Daschkeit, A.; Ebert, S.; Fleischhauer, M.; Frommer, B.; Köhler, S.; Kufeld, W.; Lenz, S.; Overbeck, G.; Schanze, J.; Schlipf, S.; Sommerfeldt, P.; Stock, M.; Vollmer, M. & Walkenhorst, O. (2013). Glossar: Klimawandel und Raumentwicklung. 2., überarbeitete Fassung. E-Paper der ARL, Nr. 10. Hannover. Zugriff: https://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/e-paper_der_arl_nr10.pdf [abgerufen am: 19.08.2022].

Birkmann, J.; Garschagen, M. & Setiadi, N. (2014). New challenges for adaptive urban governance in highly dynamic environments: Revisiting planning systems and tools for adaptive and strategic planning. Urban Climate, 7(3), S. 115–133. Zugriff: https://doi.org/10.1016/j.uc-lim.2014.01.006 [abgerufen am: 23.10.2023].

Deutscher Städte- und Gemeindebund (DStGB) & Deutsches Institut für Urbanistik (Difu) (Hrsg.) (2022). Hitze, Trockenheit und Starkregen: Klimaresilienz in der Stadt der Zukunft. Dokumentation Nr. 166. Berlin. Zugriff: https://repository.difu.de/handle/difu/583391 [abgerufen am: 23.10.2023].

Deutscher Wetterdienst (DWD) (Hrsg.) (23.10.2023). Stadtklima: die städtische Wärmeinsel. Zugriff: https://www.dwd.de/DE/forschung/klima_umwelt/klimawirk/stadtpl/projekt_warmeinseln/projekt waermeinseln node.html [abgerufen am 23.10.2023].

Erbbaurechtsgesetz (ErbbauRG) in der im Bundesgesetzblatt Teil III, Gliederungsnummer 403-6, veröffentlichte bereinigte Fassung, das zuletzt durch Artikel 4 Absatz 7 des Gesetzes vom 1. Oktober 2013 (BGBl. I S. 3719) geändert worden ist.

FUNKE Interaktiv/GERICS (2021). So trifft der Klimawandel Ihre Gegend. Zugriff: https://interaktiv.morgenpost.de/klimawandel-hitze-starkregen-deutschland-karte/ [abgerufen am: 23.10.2023]

Greiving, S. (2019a). Urbane Hitzebelastung aus planungsrechtlicher Sicht. Vortrag bei Abschluss- und Validierungsworkshop des ZURES-Projekts am 15./16. Oktober 2019. Stuttgart.

Greiving, S. (2019b). Analyse- und Bewertungskonzepte für Risiken im Vergleich. Sprechen wir über Risiko?! Informationen zur Raumentwicklung, Heft 4/2019, S. 62-73. Franz Steiner Verlag. Zugriff: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/izr/2019/4/downloads/analyse-bewertungskonzepte-risiken.pdf [abgerufen am: 05.03.2020].

Hallegatte, S. (2009). Strategies to adapt to an uncertain climate change. Global Environmental Change, 19(2), S. 240–247. Zugriff: https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.12.003 [abgerufen am: 23.10.2023].

Hartz, A.; Saad, S.; Schaal-Lehr, C.; Manderla, B.; Langenbahn, E.; Lichtenberger, E.; Bastian, A.; Bächle, S. & Pfafferott, J. (2020). Vulnerabilitätsanalyse "Hitzestress und menschliche Gesundheit" am Beispiel der Stadt Reutlingen. Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) (Hrsg.). Karlsruhe.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Hrsg.) (2022). Sechster IPCC-Sachstandsbericht (AR6): Beitrag von Arbeitsgruppe II: Folgen, Anpassung und Verwundbarkeit. Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle. Bonn. Zugriff: https://doi.org/10.48585/rz5m-2q42 [abgerufen am: 23.10.2023].

Geschäftsstelle der Ministerkonferenz für Raumordnung im Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (MKRO) (Hrsg.) (2016). Leitbilder und Handlungsstrategien für die Raumentwicklung in Deutschland. Verabschiedet von der Ministerkonferenz für Raumordnung am 9. März 2016. Berlin. Zugriff: https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/veroeffentlichungen/raumordnung/mrko/leitbilder-und-handlungsstrategien-raumordnung.pdf?__blob=publicationFile&v=4 [abgerufen am: 23.10.2023].

Robert Koch-Institut (RKI) (Hrsg.) (2023). Auswirkungen des Klimawandels auf Infektionskrankheiten und antimikrobielle Resistenzen: Teil 1 des Sachstandsberichts Klimawandel und Gesundheit 2023. Journal of Health Monitoring 8 (S3). Berlin. Zugriff: https://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Gesundheitsberichterstattung/GBEDownloadsJ/JHealthMonit_2023_S3_Sachstandsbericht_Klimawandel_Gesundheit_Teil1.pdf?__blob=publicationFile [abgerufen am. 23.10.2023].

Sandholz, S.; Sett, D.; Greco, A.; Wannewitz, M. & Garschagen, M. (2021). Rethinking urban heat stress: Assessing risk and adaptation options across socioeconomic groups in Bonn, Germany. Urban Climate, 37, Artikel 100857. Zugriff: https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100857 [abgerufen am: 23.10.2023].

Schillo, S.; Weschenfelder, A.-K. & Wasem, J. (2018). Einfluss von Hitze auf die Leistungsinanspruchnahme als Indikator für hitzebedingte Morbidität. Gesundheitswesen, 80 (8/9), S. 775–776. Zugriff: https://doi.org/10.1055/s-0038-1667794 [abgerufen am: 23.10.2023].

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (SenStadtUm) (2015). Planungshinweiskarte Stadtklima 2015: Begleitdokument zur Online-Version. Berlin. Zugriff: https://www.berlin.de/umweltatlas/_assets/literatur/planungshinweise_stadtklimaberlin_2015.pdf [abgerufen am 23.10.2023].

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (SenStadtUm) (2016). Umweltgerechtigkeit. Zugriff: http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/i901.html [abgerufen am 11.09.2016].

Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, Abteilung Umweltpolitik, Abfallwirtschaft, Immissionsschutz (Hrsg.) (2019). Basisbericht Umweltgerechtigkeit: Grundlagen für die sozialräumliche Umweltpolitik. Berlin. Zugriff: https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:kobv:109-1-15368059 [abgerufen am: 23.10.2023].

Geschäftsstelle des Sachverständigenrates für Umweltfragen (SRU) (2023). Umwelt und Gesundheit konsequent zusammendenken. Sondergutachten Juni 2023. Berlin. Zugriff: https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2020_2024/2023_06_SG_Umwelt_und_Gesundheit_zusammendenken.pdf?__blob=publicationFile&v=10 [abgerufen am: 23.10.2023].

Stadt Freiburg im Breisgau (Hrsg.) (2019). Klimaanpassungskonzept. Ein Entwicklungskonzept für das Handlungsfeld "Hitze". Freiburg im Breisgau. Zugriff: https://www.freiburg.de/pb/1292965. html [abgerufen am. 23.10.2023].

Stadt Karlsruhe (2015a). Städtebaulicher Rahmenplan Klimaanpassung. Planwerk. Karlsruhe. Zugriff: https://www.karlsruhe.de/mobilitaet-stadtbild/stadtplanung/staedtebauliche-projekte/klimaanpassungsplan [abgerufen am. 23.10.2023].

Stadt Karlsruhe (2015b). Städtebaulicher Rahmenplan Klimaanpassung. Anpassungskomplex "Hitze". Begleitheft. Karlsruhe. Zugriff: https://www.karlsruhe.de/mobilitaet-stadtbild/stadtplanung/staedtebauliche-projekte/klimaanpassungsplan [abgerufen am. 23.10.2023].

Stadt Köln (2013). Klimawandelgerechte Metropole Köln. Zugriff: https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30050.pdf [abgerufen am 18.10.2023].

Stadt Nürnberg (2014). Stadtklimagutachten. Zugriff: https://www.nuernberg.de/imperia/md/umweltamt/dokumente/klima_energie/klimaanalyse-nuernberg_gutachten_rev01_komp_ohnekarten.pdf [abgerufen am 24.10.2023].

Stadt Osnabrück (2022). Freiraumentwicklungskonzept der Stadt Osnabrück. "Urbaner Freiraum im (Klima-)Wandel" – Strategische Freiraumentwicklung im gesamtstädtischen Kontext in der Stadt Osnabrück. Osnabrück.

Stadt Reutlingen (2020). Hitzestress und menschliche Gesundheit. Verwundbarkeitsanalyse für die Stadt Reutlingen. Kurzfassung. Reutlingen. Zugriff: https://www.reutlingen.de/ceasy/resource/?id=52047&download=1 [abgerufen am: 24.10.2023].

Stadt Zürich (2020). Fachplanung Hitzeminderung. Programm Klimaanpassung. Zürich. Zugriff: https://www.stadt-zuerich.ch/content/dam/stzh/ted/Deutsch/gsz_2/publikationen/planung-und-bau/fachplanung-hitzeminderung/FPH Bericht 2020 low.pdf [abgerufen am 18.10.2023].

Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) (2021). Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland. Kurzfassung. Dessau-Roßlau. Zugriff: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/kwra2021_teilbericht_zusammenfassung_bf_211027_0.pdf [abgerufen am: 24.10.2023].

Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) (2022). Indikator: Heiße Tage. Zugriff: https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren/indikator-heisse-tage#die-wichtigsten-fakten [abgerufen am 24.10.2023].

Winklmayr, C.; Muthers, S.; Niemann, H.; Mücke, H.-G. & an der Heiden, M. (2022). Heat-Related mortality in Germany from 1992 to 2021. Deutsches Ärzteblatt International, 119(26), S. 451–457. Zugriff: https://doi.org/10.3238/arztebl.m2022.0202 [abgerufen am: 24.10.2023].





