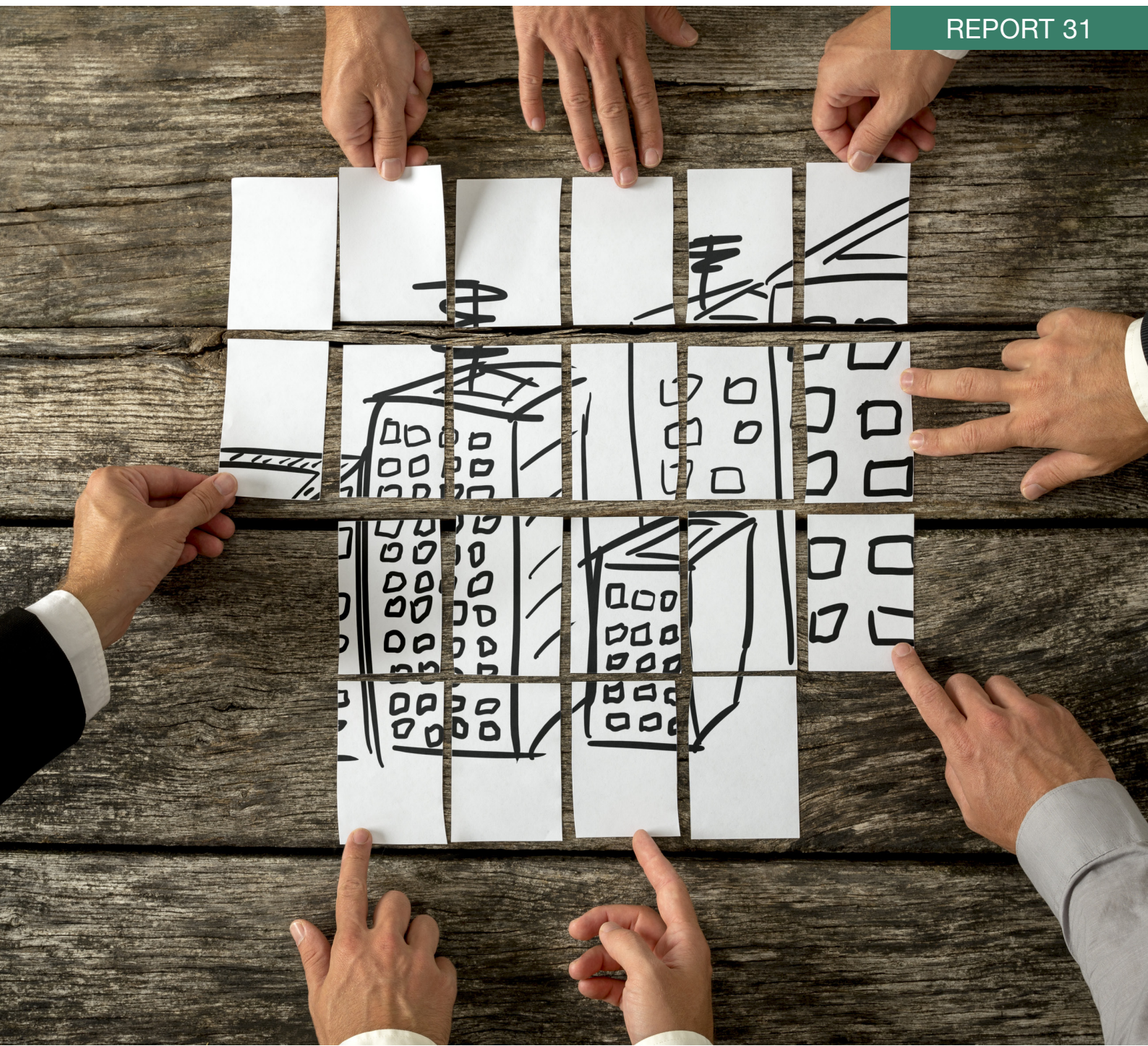




Anpassung an die Folgen des Klimawandels in der Stadtplanung und Stadtentwicklung

Der GERICS-Stadtbaukasten

REPORT 31



Titelbild: © Fotolia / Gajus

Zitierhinweis: Bender, S., Brune, M., Cortekar, J., Groth, M. & Remke, T. (2017): Anpassung an die Folgen des Klimawandels in der Stadtplanung und Stadtentwicklung – Der GERICS- Stadtbaukasten. – Report 31, Climate Service Center Germany, Hamburg

Erscheinungsdatum: Oktober 2017

Dieser Report ist auch online unter www.climate-service-center.de erhältlich

Anpassung an die Folgen des Klimawandels in der Stadtplanung und Stadtentwicklung

Der GERICS-Stadtbaukasten

Autoren: Steffen Bender, Miriam Brune, Jörg Cortekar,
Markus Groth, Thomas Remke

Oktober 2017

Inhaltsverzeichnis

0. Vorwort	4
1. Einleitung	6
2. Anpassung an die Folgen des Klimawandels im urbanen Raum	9
2.1. Häufig verwendete Elemente in Anpassungsstrategien	9
2.2. Häufig verwendete Vorgehensweisen der Klimaanpassung	10
3. Der GERICS-Stadtbaukasten	12
3.1. Die Idee: Ein nutzerspezifischer und flexibler Ansatz	12
3.2. Die Grundkonfiguration des Stadtbaukastens	14
3.3. Modulgruppe „Spezifische Klimainformation“	16
3.3.1. Input für Modulgruppe „Klimaangepasste Stadtentwicklung“	17
3.3.2. Input für Modulgruppe „Thermisches Wohlbefinden und Wohnumfeld“	22
3.4. Modulgruppe „Kommunikation“	28
3.4.1. Modul „Multifunktionales transdisziplinäres Kommunikations-Tool“	28
3.4.2. Modul „Individuelle, integrative und multisektorale Wissenssynthesen“	29
3.4.3. Modul „Erstellung eines Klimawandel-Leitbildes“	29
3.4.4. Modul „Bewertung der politischen Durchsetzbarkeit von Maßnahmen“	31
3.5. Modulgruppe „Klimaangepasste Stadtentwicklung“	33
3.5.1. Modul „Stadtplanerische Klimaberatung“	33
3.5.2. Modul „Klimawandeltaugliche Kompensationsmaßnahmen“	35
3.5.3. Modul „Vulnerabilitätsindex von Stadtteilen“	36
3.5.4. Modul „Prüfung von Maßnahmen in Bezug auf die Klimaresilienz“	38
3.6. Modulgruppe „Wasser in der Stadt“	39
3.6.1. Modul „Temporäre Retentionsräume und Notwasserwege“	39
3.6.2. Modul „Schutzkampagnen vor Überflutungen“	41
3.6.3. Modul „Klimawandeltaugliche Wasserrechte“	43
3.7. Modulgruppe „Urbanes Grün“	44
3.7.1. Modul „Klimasichere Stadtbäume“	45
3.7.2. Modul „Multifunktionaler Mehrwert von Dach- und Fassadenbegrünung“	46
3.8. Modulgruppe „Ökonomie und Finanzierung“	48
3.8.1. Modul „Finanzierungskonzepte für Anpassungsmaßnahmen“	48
3.8.2. Modul „Kosten-Nutzen-Analyse von Anpassungsmaßnahmen“	49
3.9. Modulgruppe „Kritische Infrastruktur“	50
3.10. Modulgruppe „Weiterentwicklung von Klimaschutzkonzepten“	53
3.11. Modulgruppe „Thermisches Wohlbefinden und Wohnumfeld“	55
3.12. Modulgruppe „Monitoring und Qualitätskontrolle“	59
3.13. Modulgruppe „Schnittstelle zum Unternehmensbaukasten“	60
4. Der GERICS-Stadtbaukasten in der Praxis	61
5. Fazit	64
6. Literatur	66
Anhang	72

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Strategische Ansätze und politische Leitlinien für die Anpassung	9
Abb. 2	Der Einsatz einer universellen Lösung und ihre Folgen.....	13
Abb. 3	Grundkonfiguration des Stadtbaukastens	15
Abb. 4	Beispiel der Flächengewichtung bei der Verwendung von neun Gitterboxen	20
Abb. 5	Vergleich Beobachtungsdaten mit REMO Klimasimulationsergebnissen	25
Abb. 6	Korrektur des Tagesverlaufs der Temperatur in 2 m Höhe für die Simulation der Situation „extrem heißer Sommertag 2050“	27
Abb. 7	Struktur des Vulnerabilitätsindex.....	37
Abb. 8	Konfiguration der Modulgruppe „Wasser in der Stadt“	39
Abb. 9	Beispiel eines Kaskadeneffekts ausgehend von einem Stromausfall.	52
Abb. 10	Gegenüberstellung von Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen.....	54
Abb. 11	ENVI-met-Modell des Quartiers heute (links) und Modellgebiet mit vorgeschlagenen Anpassungsmaßnahmen (rechts).....	57
Abb. 12	ENVI-met-Darstellungen der Änderungen bei der absoluten Oberflächentemperatur mit und ohne Anpassungsmaßnahmen.	57
Abb. 13	Einbindung von Modulen des GERICS-Stadtbaukastens in bestehende administrative Prozesse	62
Abb. 14	Die Schnittstellenfunktion des GERICS-Stadtbaukastens	63

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Ausgesuchte Variablen und Indizes für die Modulgruppe „Klimaangepasste Stadtentwicklung“	18
Tab. 2	Überblick der verwendeten globalen und regionalen Klimamodelle	20
Tab. 3	Ausgesuchte Variablen und Indizes für die Modulgruppe „Thermisches Wohlbefinden und Wohnumfeld“	23
Tab. 4	Modellaufbau (Simulationsdatum 15.07.)	58
Tab. 5	Übersicht der berechneten Indizes für die Modulgruppe „Klimaangepasste Stadtentwicklung“ für die modellierten historischen Daten sowie Zukunftsszenario RCP 2.6.....	72
Tab. 6	Übersicht der berechneten Indizes für die Modulgruppe „Klimaangepasste Stadtentwicklung“, für die Zukunftsszenarien RCP4.5 und RCP 8.5.	73
Tab. 7	Übersicht der berechneten Indizes für die Modulgruppe „Thermisches Wohlbefinden und Wohnumfeld“.....	74

Boxverzeichnis

Box 1 Alleinstellungsmerkmale des Stadtbaulastens	18
Box 2 Die Repräsentativen Konzentrationspfade (RCP)	19
Box 3 Beispiel für den Ergebnisvergleich: einzelne Klimaprojektion und Klimaprojektions- ensemble	22
Box 4 Adjustierung der Parameter für das Fallbeispiel Kiel.....	26

0. Vorwort

Der Klimawandel und die fortschreitende Urbanisierung sind eng miteinander verknüpft. Bereits heute sind Städte für den Großteil des weltweiten Energieverbrauchs und der damit verbundenen CO₂-Emissionen verantwortlich. Somit weisen Städte ein großes Klimaschutzpotential, insbesondere bei Gebäuden und der Nutzung von Transportsystemen auf. Auf der anderen Seite besitzen Städte durch die hohe Konzentration wirtschaftlicher Wertschöpfung, Menschen und Infrastruktur eine hohe Vulnerabilität in Bezug auf die Folgen des Klimawandels, denen sie sich schon heute aber auch in Zukunft regionsspezifisch in verstärktem Maße stellen müssen.

Auch wenn die Notwendigkeit der Anpassung an die Folgen des Klimawandels schon seit längerem bekannt ist und viele Städte bereits Anpassungsstrategien in Auftrag gegeben haben, so beginnt die eigentliche Arbeit erst danach – bei der Planung und Umsetzung von Maßnahmen, da nur sie wirklich einen Beitrag zur Anpassung leisten. Häufig genannte Hürden sind hierbei das Fehlen finanzieller und personeller Ressourcen. Aber auch die Konkurrenz zu anderen Handlungsfeldern, die als dringlicher bewertet werden, ist ein häufiges Ausschlusskriterium. Erschwerend kommt hinzu, dass die erfolgreiche Anpassung an die Folgen des Klimawandels ein weitreichendes Systemverständnis erfordert, wobei insbesondere verschiedenste Wechselwirkungen – zwischen klimatischen und nicht-klimatischen Treibern, zwischen unterschiedlichen Sektoren oder zwischen der Stadt und dem benachbarten Umland – berücksichtigt werden müssen. Eine immer komplexer werdende Infrastruktur sowie die zunehmende Vernetzung einzelner Komponenten sorgen für weitere Herausforderungen.

Aufbauend auf den Erfahrungen mit Praxispartnern hat sich gezeigt, dass als Grundlage für die Ausgestaltung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen ein Ansatz benötigt wird, der erstens die gesamte Bandbreite urbaner Handlungsfelder adressiert, zweitens über die Flexibilität verfügt, um einen maßgeschneiderten, individuellen Einsatz zu ermöglichen und drittens verschiedene Detaillierungsebenen aufweist, um unabhängig vom bestehenden Vorwissen, Planungstand oder den vorhandenen lokalen Informationen einsetzbar zu sein.

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden verfolgt der GERICS-Stadtbaukasten einen modularen Aufbau. Der Baukasten besteht aus verschiedenen inhaltlichen Modulen, aus denen die jeweils relevanten Komponenten gewählt und frei kombiniert werden können. Dabei können die Module sowohl von der Kommune und ihren Experten (wie Stadtplaner, Wasser- und Energieversorger), externen Partnern und Auftragnehmern (wie GERICS, Ingenieur- und Planungsbüros) aber auch in allen erdenklichen Kooperationen bearbeitet werden. Das Konzept bietet darüber hinaus die Möglichkeiten, den Stadtbaukasten um neue Module zu erweitern – einschließlich

bedarfsgerechter Neuentwicklung – sowie bestehende Module durch Feinjustierung an örtliche Gegebenheiten anzupassen. Durch die Kombination regionaler Klimainformationen mit anderen sektor-spezifischen Informationen können in Kooperation mit Entscheidungsträgern der Städte „klimawandeltaugliche“ Handlungsoptionen erarbeitet werden.

Der nachfolgende Report stellt den GERICS-Stadtbaukasten ausgehend von der Idee über die Grundkonfiguration bis hin zur Beschreibung einzelner Module vor.

Dank

Vielen Dank an Irene Fischer-Bruns, Uwe Kehlenbeck, Thomas Raub, Peer Seipold und Kevin Sieck für den internen Review und ihre zahlreichen Anmerkungen, die substantiell zur Verbesserung des Inhalts beigetragen haben.

1. Einleitung

Das menschliche Handeln übt einen entscheidenden Einfluss auf die Veränderungen des globalen Klimas aus. Von großer Bedeutung sind in diesem Kontext Städte, da sie mittlerweile der Lebensraum von über 50% der Weltbevölkerung sind, wobei bis zum Jahr 2050 ein Anstieg auf fast 70% zu erwarten ist (United Nations 2014). Als eine Folge davon wird ein Großteil der weltweit emittierten Treibhausgase dort ausgestoßen. Zudem sind Städte als Lebensraum und als Zentren wirtschaftlicher Wertschöpfung besonders verwundbar gegenüber den Folgen des Klimawandels, was diese Ballungsräume vor neue Herausforderungen stellt (GERICS / KfW 2015, IPCC 2014).

So waren beispielsweise – mit dem Jahr 2015 – nun bereits 23 der insgesamt 25 Jahre seit 1991 wärmer als das Mittel der Referenzperiode 1961-1990 (DWD 2016a). Seit Beginn der Aufzeichnungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) im Jahre 1881 hat sich die durchschnittliche Temperatur in Deutschland um $+1,3^{\circ}\text{C}$ erhöht (Stand 2014). Hierbei traten die bisher größten monatlichen Veränderungen ($+2,0^{\circ}\text{C}$) in Rheinland-Pfalz, dem Saarland (jeweils Januar und März) sowie Bayern (Januar) auf. Die geringsten Änderungen ($+0,2^{\circ}\text{C}$) sind für Schleswig-Holstein (Juni) verzeichnet (DWD 2015). Das Jahr 2014 war mit einer Mitteltemperatur von $+10,3^{\circ}\text{C}$ das bisher wärmste Jahr in Deutschland seit Beginn der regelmäßigen Temperaturmessungen. Die Temperaturabweichung ist dabei gleichmäßig über die gesamte Fläche Deutschlands verteilt, was 2014 für alle Bundesländer zum bisher wärmsten Jahr gemacht hat (DWD 2016b). Auch bei den Niederschlägen sind Veränderungen zu erkennen. Seit 1881 haben sich ihre Gebietsmittelwerte deutschlandweit um $+10,4\%$ erhöht (von $-2,3\%$ in Sachsen bis $+16,2\%$ in Schleswig-Holstein). Während im Sommer die Niederschläge deutschlandweit im Mittel leicht rückläufig sind ($-0,6\%$), haben sie in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Bayern zugenommen (DWD 2015). Im Winter sind dagegen deutschlandweit ansteigende Trends zwischen $+15,3\%$ in Sachsen bis $+31,2\%$ in Baden-Württemberg (bei einem Mittel von $+26,3\%$) erkennbar.

Es ist auch zukünftig in Deutschland mit weiteren Klimaveränderungen zu rechnen – Anstieg der mittleren Temperatur, Niederschlagszunahme im Winter, erhöhtes Potential für schwere Gewitter und Hagel (Brasseur et al. 2017). Die Ergebnisse regionaler Klimaprojektionen basierend auf den EURO-CORDEX-Daten (Coordinated Downscaling Experiment – European Domain, <http://www.euro-cordex.net/>) zeigen für die Periode 2071-2100 (verglichen mit 1971-2000) einen robusten und signifikanten Anstieg der mittleren jährlichen Temperatur (Jacob et al. 2014). Auch wenn sich für die mittleren jährlichen Niederschlagssummen unter Annahme des Szenarios RCP 8.5 für weite Teile Deutschlands ebenfalls ein signifikanter und robuster Anstieg zeigt, so lassen sich daraus direkt keine Aussagen für den lokalen Wasserhaushalt herleiten, da dafür eine feinere räumliche und zeitliche Skala

benötigt wird. Auch in Bezug auf die Zunahme von Anzahl und Intensität von Starkregenereignissen sind keine robusten Aussagen für räumliche Auflösungen unterhalb der Landkreisebene möglich.

Die Folgen des Klimawandels treffen praktisch alle Lebensbereiche. Besonders betroffen sind die Wasserwirtschaft (Wasserqualität, Wasserverfügbarkeit, urbane Überflutungen), die Energieversorgung (Schäden an der Infrastruktur, Potential erneuerbarer Energien), der Naturschutz und die biologische Vielfalt (Veränderung der Verbreitungsareale, Nutzungskonflikte), die menschliche Gesundheit (Zunahme thermischer Belastung, Zuwanderung und Ausbreitung wärmeliebender Krankheitserreger und -überträger, Begünstigung heimischer Krankheitsüberträger wie Zecken, häufigeres Auftreten von Allergien, erhöhtes Hautkrebsrisiko) (Climate Service Center 2.0 2014), sowie der Tourismus (Zunahme von Extremwetterereignissen, mehr Sommertage). Neben den Maßnahmen zur Begrenzung des Klimawandels durch Klimaschutzmaßnahmen kommt auch den Anstrengungen zur Anpassung an die mit dem Klimawandel verbundenen Folgen eine verstärkte Bedeutung zu. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass der Klimawandel nicht nur Risiken, sondern auch Chancen mit sich bringen kann (Groth et al. 2015, REGKLAM-Konsortium 2013, Hoffmann et al. 2011).

Während in den letzten Jahren verstärkt Klimaschutzmaßnahmen für Städte im Vordergrund standen, wie etwa Förderungen von kommunalen Stellen für das Klimaschutzmanagement, so verdeutlicht die globale Klimaentwicklung jedoch die Notwendigkeit, darüber hinaus auch Klimaanpassungsstrategien zu entwickeln und entsprechende Maßnahmen umzusetzen. Dies zeigt sich beispielsweise auch in der Revision der Richtlinie 2014/52/EU zur Änderung der Richtlinie 2011/92/EU über die Umweltverträglichkeitsprüfung, in der als eine wichtige Änderung die Herausforderung Klimawandel (Artikel 3 Abs. 1 lit. c) in Verbindung mit Anhang IV Nr. 4. und 5 f) implementiert wurde.

Bisher wird die Anpassung an den Klimawandel jedoch nur selten als Handlungsoption thematisiert, was häufig auch daran liegt, dass zwischen Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen nicht differenziert wird (Groth & Nuzum 2016). In Diskussionen von Anpassungsstrategien mit Kommunen wird häufig darauf hingewiesen, dass Klimaschutz schon länger auf der jeweiligen Agenda steht, wie beispielsweise die Umsetzung energieeffizienter Baumaßnahmen oder die Erstellung von CO₂-Bilanzen. Obwohl die Notwendigkeit der Anpassung nicht mehr ausgeblendet werden kann, bestimmt vielerorts der Klimaschutzgedanke die angestrebte Vorgehensweise. Da Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen jedoch nicht immer Synergien aufweisen und unter Umständen gegenläufige Effekte auslösen können, ist es umso wichtiger, die Klimaanpassungskomponenten zu stärken.

Schon heute werden viele Maßnahmen zur Klimaanpassung umgesetzt, wenn auch zumeist aus anderen Motiven, beispielsweise bei der Gebäudedämmung oder der Begrünung zur Verbesserung des Wohnumfeldes. Es soll jedoch nicht der Eindruck entstehen, dass Klimaschutzmaßnahmen nicht mehr notwendig seien. Vielmehr müssen Klimaschutz und Klimaanpassung gemeinsam betrieben werden.

Aktuell überwiegen drei verschiedene Vorgehensweisen, wie sich Städte an die Folgen des Klimawandels anpassen:

- 1) Fokussierung der Klimaanpassungsstrategie auf ausgewählte Klimafolgen (z. B. extreme Regenereignisse),
- 2) Erstellung von Klimaanpassungskonzepten, die überwiegend aus einer Sammlung theoretisch möglicher Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen beziehungsweise Handlungsanweisungen bestehen,
- 3) Entwicklung von integrierten Klimaschutz- und Klimaanpassungskonzepten.

Die gewählte Form wird dabei stark vom vorhandenen Ausmaß des Informiertseins, vom bestehenden Anpassungsdruck, von der Ressourcenverfügbarkeit (sowohl personell als auch finanziell) und den zur Verfügung stehenden Daten und Informationen gesteuert. Als Herangehensweise zu empfehlen ist jedoch eine Kombination aus allen drei Ansätzen. Das Vorgehen muss integrativ sein, das Vorwissen sowie den Planungsstand der Stadt berücksichtigen und alle wichtigen Wechselwirkungen im komplexen System Stadt betrachten. Dies schließt Interaktionen (wie zwischen klimatischen und nicht-klimatischen Treibern), Domino- sowie Kaskadeneffekte (Stufenfolge von Ereignissen) zwischen unterschiedlichen Sektoren und Handlungsfeldern aber auch kumulative Effekte verschiedener Klimafolgen mit ein. Die getroffenen Maßnahmen müssen zudem auch bei sich verändernden Klimabedingungen Bestand haben, also klimawandeltauglich („climate change compatible“) sein.

Hinsichtlich der möglichen zukünftigen Herausforderungen muss unbedingt bedacht werden, dass sowohl die Erstellung einer Anpassungsstrategie als auch die Implementierung von Maßnahmen und deren Integration in kommunale Planungsabläufe zeitaufwendige Prozesse sind. In Anbetracht des langen Zeitraums, der von der Erstellung einer Strategie bis zur Umsetzung vor Ort veranschlagt werden muss, ist es daher besonders wichtig, sich schon jetzt mit den Folgen des Klimawandels auseinander zu setzen, um die Anfälligkeit von Mensch, Umwelt und Infrastrukturen frühzeitig verringern zu können.

2. Anpassung an die Folgen des Klimawandels im urbanen Raum

2.1. Häufig verwendete Elemente in Anpassungsstrategien

Um eine Anpassungsstrategie zielgerichtet entwickeln zu können, ist es hilfreich, Leitziele zu definieren (Kriszio 2014b). Diese können aus bestehenden Leitbildern, wie etwa einem Klimaschutzleitbild, oder lokalen Strategiepapieren, wie einer Nachhaltigkeitsstrategie abgeleitet werden. Am Beispiel von Helsinki sind exemplarisch die wichtigsten strategischen Ansätze aufgezeigt, die als Basis für ein Leitbild dienen (Abb.1). Hierbei werden die Bedeutung von Klimaschutz und Anpassung hervorgehoben und die Themenfelder Prozesssteuerung, die primären Handlungsfelder sowie die Berücksichtigung funktionaler Risiken behandelt.

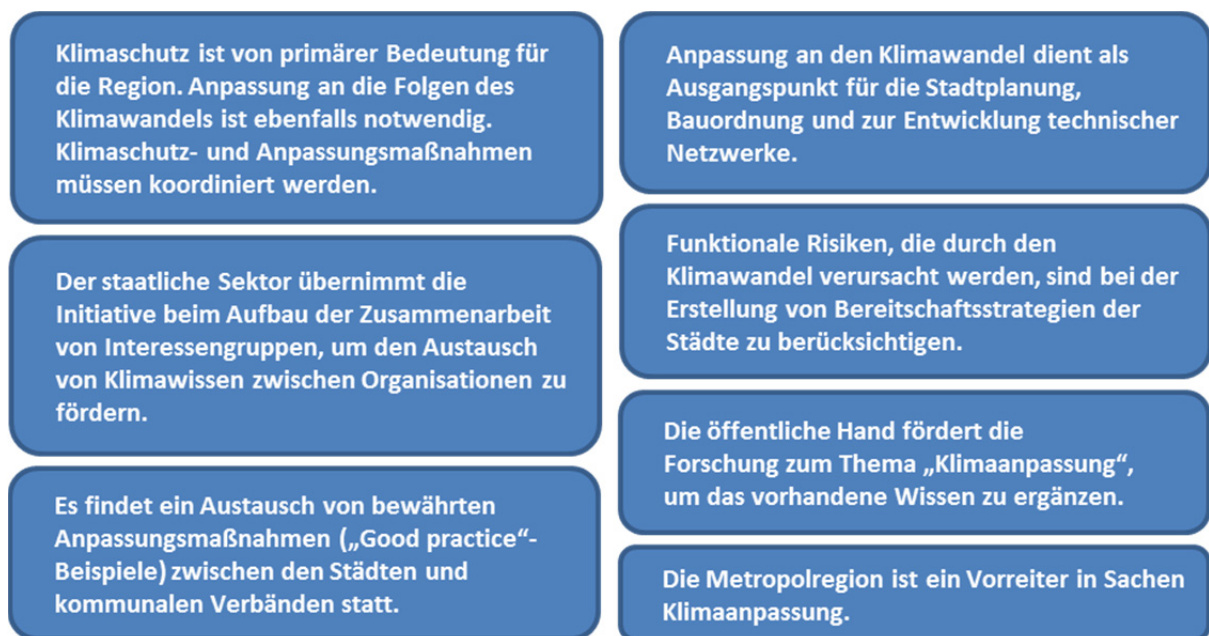


Abb. 1 Beispiel aus Helsinki: Strategische Ansätze und politische Leitlinien für die Anpassung an den Klimawandel (HSY 2012)

Als zentrale Handlungsfelder von Städten werden zumeist die folgenden benannt: Gesundheit und soziale Dienstleistungen (Bedarfe in Notfallsituationen), Gebäude und städtische Umwelt, Landnutzung einschließlich Ökosystemdienstleistungen und Biodiversität, Verkehr und technische Netzwerke, Wasser und Abfall sowie Öffentlichkeitsarbeit (beispielsweise Kriszio 2014a, Certic GmbH 2013, Hanebeck et al. 2013, Landeshauptstadt Stuttgart 2012, Steinrücke 2012). Fast überall liegen die Schwerpunkte bei den Auswirkungen steigender Temperaturen – insbesondere der zunehmende Hitzestress und die Steigerung des Hitzeinsel-Effektes – sowie in der Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen einschließlich der Auswirkungen urbaner Überflutungen auf die städtische Infrastruktur. Mit

Gefährdungs-, Vulnerabilitäts- und Planungshinweiskarten werden im Hinblick auf lokale Ereignisse theoretische Eckpunkte der Anpassungsstrategie gesetzt, woraus sich auch örtliche Handlungsprioritäten ableiten lassen. Dabei sollte jedoch nie außer Acht gelassen werden, dass es vom theoretischen Ansatz bis zur Implementierung einer Maßnahme ein weiter, zeitintensiver Weg ist, da sowohl gesetzliche Rahmenbedingungen als auch die frühzeitige Einbindung von Stakeholdern beachtet werden müssen. Somit kann nicht nur lokales Wissen in die Prozesse einfließen, sondern auch die Akzeptanz von Maßnahmen erhöht sowie frühzeitig dafür gesorgt werden, dass im Konsens getroffene Entscheidungen auf breite Zustimmung stoßen und im Prozess der Umsetzung keine weiteren Hindernisse zu erwarten sind.

Bei der Erstellung fast aller Anpassungsstrategien bzw. -konzepte bilden stadtklimatische Betrachtungen und projizierte regionale Klimaveränderungen zur Identifikation möglicher Folgen des Klimawandels den Startpunkt. Dabei basieren die meisten Ansätze jedoch auf einer sehr geringen Anzahl von Klimaprojektionen (meistens im unteren einstelligen Bereich). Damit ist es aus wissenschaftlicher Sicht jedoch nicht möglich, robuste oder signifikante Aussage zu treffen (vgl. Pfeifer et al. 2015 und Jacob et al. 2014). Deswegen sollte immer darauf geachtet werden, dass die verwendeten Klimainformationen und die daraus abgeleiteten Schlüsse den wissenschaftlichen Ansprüchen genügen. Zur Planung von Anpassungsmaßnahmen um im Rahmen des Risikomanagements wird dringend darauf hingewiesen, dass bei der Nutzung von Klimaprojektionen eine möglichst große Schar von Modellsimulationen zu verwenden. Einzelne Projektionen sind nicht repräsentativ und die daraus ableitbaren Trends können irreführend sein (Bender & Jacob 2016).

2.2. Häufig verwendete Vorgehensweisen der Klimaanpassung

Eine oft praktizierte Vorgehensweise ist die Erstellung von Risiko-, Vulnerabilitäts- oder Hot-Spot-Karten (vgl. Kuttler et al. 2012, ThINK 2012, BKR Aachen et al. 2014), die gefährdete Bereiche ausweisen, eine Priorisierung von Schwerpunkträumen ermöglichen oder bei der klimagerechten Standortsuche für kritische Infrastruktur (Pump- und Hebewerke, Anlagen der Energieversorgung und -verteilung) verwendet werden. Die benutzte Methodik ist dabei nicht standardisiert, weist aber ähnliche Vorgehensweisen auf.

Zur Abschätzung der Hitzebelastung werden beispielsweise folgende Größen verwendet: i) Art der Bebauung, ii) Versiegelungsgrad sowie iii) Lage und Größe von Durchlüftungsbahnen. Zur Abgrenzung und Klassifikation der Anfälligkeitsstufen werden darüber hinaus die Einwohnerdichte und der Anteil der Bewohner mit über 65 Lebensjahren berücksichtigt (vgl. Riegel et al. 2013, Kuttler et al. 2012). Bei der Beurteilung der Auswirkungen von Starkniederschlägen sind dagegen die Topographie, die geographische Lage von Engpässen (wie Unterführungen, Tunnel,

Wasserdurchlässe oder Bachverrohrungen), vorhandene Entwässerungsschwachstellen sowie Notwasserwege und deren Lage zu Retentionsräumen von Bedeutung.

Zur Minderung der Auswirkungen von Klimafolgen gibt es generelle Lösungsansätze, bei denen jedoch immer die lokalen Standortbedingungen sowie die Beziehungen zur Umgebung berücksichtigt werden müssen, um einen Erfolg zu gewährleisten und um eine Über- bzw. Unterschätzung der möglichen Folgen zu vermeiden. Eine kurzfristige Maßnahme auf Gebäudeebene bei Hitzebelastung ist die Installation von Dach- und Fassadenbegrünungen. Veränderungen bei der Gebäudeausrichtung, Verschattung der Hauswand, Wärmedämmung und der Einsatz geeigneter Baumaterialien zählen zu den mittelfristigen Maßnahmen. Als langfristige Maßnahmen bei möglichen urbanen Überflutungen werden generell folgende Vorgehensweisen vorgeschlagen (z.B. BUE 2016, Landeshauptstadt Stuttgart 2012): Entsiegelung von Flächen zur Verbesserung der Versickerung, Zwischenspeichern von Niederschlagswasser in Rückhaltebecken und Sammelmulden sowie die gezielte Planung von Notwasserwegen.

Um die Effizienz und Zielerreichung der Anpassungsmaßnahmen überwachen und bei Bedarf optimieren zu können, sind eine Qualitätssicherung der initiierten Prozesse sowie Planung und Durchführung geeigneter Monitoringmaßnahmen erforderlich. Diese Schritte werden von den meisten wissenschaftlichen Projekten jedoch nicht abgedeckt, da die Projektlaufzeiten in der Regel zu kurz sind und die Projekte zumeist vor der Implementierung von Maßnahmen enden.

3. Der GERICS-Stadtbaukasten

3.1. Die Idee: Ein nutzerspezifischer und flexibler Ansatz

Städte besitzen durch ihre exponierte Lage und die hohe Konzentration von wirtschaftlicher Wertschöpfung, Menschen und Infrastruktur eine hohe Vulnerabilität in Bezug auf die Folgen des Klimawandels (Bender et al. 2016). Deshalb ist es notwendig, sich frühzeitig auf den Klimawandel und seine Folgen einzustellen. Allerdings stehen viele notwendige Maßnahmen im Konflikt mit anderen Zukunftsfragen wie zum Beispiel Bildung, Kultur, wirtschaftliche Entwicklung oder demographischer Wandel. Generell sind folgende Fragen zu beantworten:

- Wie funktionstüchtig und ressourcenschonend sind Städte und Kommunen unter den veränderten Klimabedingungen in der Zukunft?
- Welche Chancen und Herausforderungen ergeben sich durch den Klimawandel für Städte und Kommunen?

Schon heute ist es möglich, die zukünftige Lebensqualität der Stadt sowie die Aufrechterhaltung der urbanen Infrastruktur vorausschauend durch Planungs- und Gestaltungsprozesse positiv zu beeinflussen, indem projizierte Klimaveränderungen mitberücksichtigt werden. Auch wenn wichtige Stellschrauben, wie der Erhalt und Ausbau von Grün- und Wasserflächen beziehungsweise die Verwendung klimawandeltauglicher Baumaterialien bereits lange bekannt sind, gibt es zwischen den theoretischen Lösungsansätzen und der praktischen Umsetzung immer noch große Gräben, die es zu überbrücken gilt. Diese Problematik spiegelt sich am besten im Fall von Forschungsprojekten wider, da diese zum überwiegenden Teil dann enden, wenn die erarbeiteten Maßnahmen und Strategien in die Praxis umgesetzt werden müssten. Darüber hinaus zeigen die Praxisbeispiele, dass die Anpassung an die Folgen des Klimawandels stets individuell erfolgen muss, da keine Universalmethode („One-size-fits-all“) existiert, die überall erfolgreich angewendet werden kann (Cortekar et al. 2016). Durch die unterschiedlichen umwelt-, sozial- und klimarelevanten Rahmenbedingungen, die administrativen Strukturen sowie sektorspezifischen, lokalen Bedarfe und Vulnerabilitäten müssen Anpassungskonzepte und -maßnahmen maßgeschneidert werden, um eine Unterdimensionierung (Maßnahmen erzielen nicht den gewünschten Erfolg und müssen aufwendig nachgebessert werden) oder eine Überdimensionierung (schlechtes Nutzen-Kosten-Verhältnis) zu vermeiden (Abb.2). Somit ist für die Entwicklung geeigneter Anpassungsstrategien und -maßnahmen eine flexible Vorgehensweise notwendig. Aus dieser Motivation heraus wurde der „GERICS-Stadtbaukasten“ am Climate Service Center Germany (GERICS) entwickelt, um Entscheidungsträger von Städten und Gemeinden individuell bei ihren Entscheidungen in Bezug auf lokale und regionale Anpassungsmaßnahmen zu unterstützen.

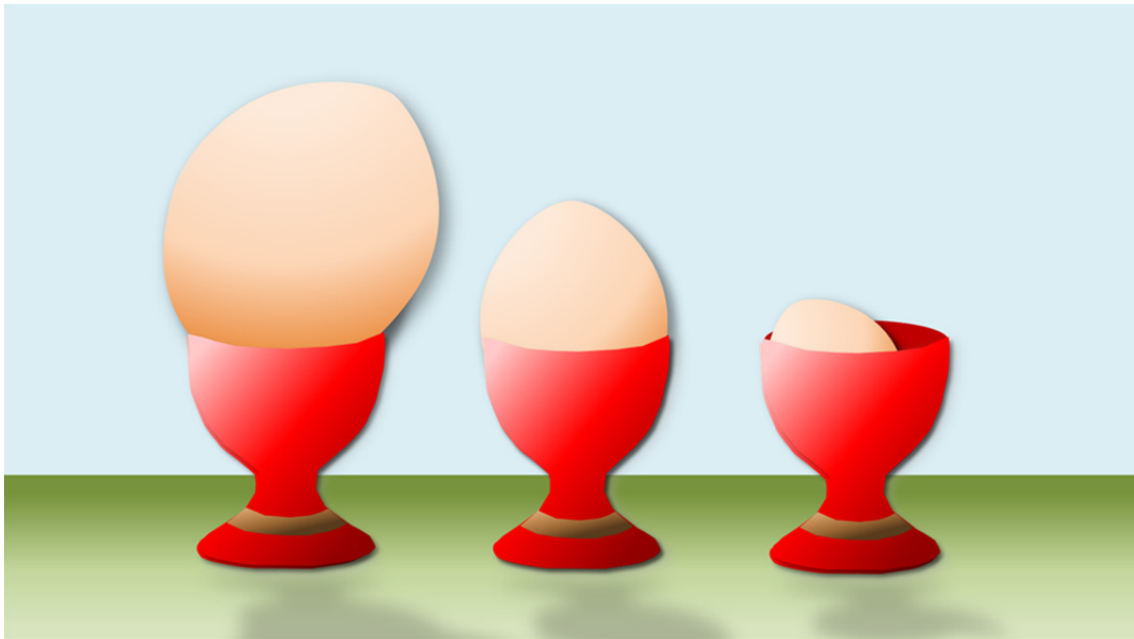


Abb. 2 Der Einsatz einer universellen Lösung und ihre Folgen

Der Stadtbaukasten ermöglicht einen individuellen Überblick über zukünftige Herausforderungen und Chancen für alle wichtigen Sektoren im urbanen Raum. Er umfasst die Stadtplanung, Wasser- und Grünflächenbewirtschaftung, sozio-ökonomische Aspekte und kritische Infrastrukturelemente, aber auch deren Wechselwirkungen untereinander. Die Grundidee bei der Entwicklung dieses neuartigen prototypischen Vorgehens war es, eine zunächst begrenzte Anzahl von Modulgruppen zu entwickeln, welche ein breites Spektrum möglicher Folgen des Klimawandels für den urbanen Raum und die am häufigsten genannten Handlungsfelder und Bedarfe (u.a. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin 2011, BMVBS 2010) abdeckt und somit einen ersten Rahmen liefert.

Dadurch sollten drei Ziele adressiert werden:

- 1) Den thematischen Einstieg für kommunale Entscheidungsträger in die Problematik „Städte im Klimawandel“ ermöglichen – sowohl mit theoretischem als auch praxisrelevantem Bezug für die wichtigsten Handlungsfelder,
- 2) deren Sensibilisierung bezogen auf die Themen „Folgen des Klimawandels“ und „Anpassung und Klimaschutz“ zu erreichen und
- 3) den Mehrwert gemeinsam erarbeiteter und in der Praxis umsetzbarer Strategien und Maßnahmen und deren Vorteil gegenüber „One-size-fits-all“-Ansätzen beziehungsweise dem Transfer von Best-Practices aufzuzeigen.

Der Einsatz des GERICS-Stadtbaukastens basiert auf nutzerorientierten und kommunikationsbasierten Anwendungen. In Abhängigkeit von Wissenstand, Daten-

verfügbarkeit und Komplexität der zu beantwortenden Fragestellungen werden vorhandene Module individualisiert und auf die lokalen Bedingungen angepasst beziehungsweise um neue Module erweitert. In beide Schritte werden verantwortliche Entscheidungsträger, Experten und Praxisakteure vor Ort einbezogen, um lokales Wissen einfließen zu lassen. Als Datengrundlage werden die neuesten wissenschaftlich fundierten regionalen und lokalen Klimainformationen herangezogen. Die Nutzung beziehungsweise Umsetzung der Module kann sowohl durch die Kommune und ihre Experten aber auch durch externe Partner und Auftraggeber sowie in allen erdenklichen Konstellationen erfolgen.

Box 1 Alleinstellungsmerkmale des Stadtbaukastens

- Verwendung von regionalen Klimainformationen, die auf Robustheit und Signifikanz getestet wurden, unter Einbeziehung der Ergebnisbandbreiten.
- Integrative Charakterisierung des jeweiligen Standorts unter Berücksichtigung aller relevanten Wechselwirkungen, einschließlich Domino- und Kaskadeneffekte.
- Individuelle Bearbeitung geäußerter Bedarfe durch maßgeschneiderte Lösungsansätze einschließlich der Erweiterbarkeit des Modulinventars.
- Übertragbarkeit der Module auf andere Standorte.
- Transfer wissenschaftlicher Antworten in praxisrelevante Lösungsansätze.
- Co-Development, Co-Design und Co-Evaluation der Beratungsleistungen in direkter Zusammenarbeit mit Akteuren vor Ort, um die Methodik den verfügbaren Informationen und Ressourcen anpassen zu können.
- Wissenschaftliche Begleitung entlang der gesamten Prozesskette ausgehend von der Bereitstellung der Klimadaten und Aufbereitung zu Klimainformationen über die Vorbereitung zur Implementierung der Maßnahme bis hin zur Betrachtung von Folgekosten durch Wartungs- und Pflegearbeiten.

3.2. Die Grundkonfiguration des Stadtbaukastens

Der Stadtbaukasten bietet in der Grundkonfiguration (Abb.3) elf prototypische Modulgruppen (PMg), die die wichtigsten Handlungsfelder einer Stadt widerspiegeln, die von den Folgen des Klimawandels betroffen sein können.

Innerhalb der Modulgruppen befinden sich jeweils ein oder mehrere prototypische Module (PM) (siehe nachfolgend die detaillierten Beschreibungen der Modulgruppen), die sich mit einzelnen Fragestellungen beschäftigen. Die gewählten Ansätze umfassen sowohl Eigenentwicklungen als auch mit anderen Partnern aus den GERICS-Netzwerken entwickelte Verfahren sowie leicht modifizierte gängige Vorgehensweisen aus den jeweiligen Handlungsfeldern. Gemeinsam ist allen

Ansätzen, dass die Implementierung von Anpassungskomponenten enthalten ist und dass die Bearbeitung auf Basis belastbarer regionaler Klimainformationen erfolgt.

Je nach lokaler Fragestellung werden in enger Abstimmung mit den Städten und Gemeinden, in denen der Stadtbaukasten eingesetzt wird, diejenigen Module bedarfsorientiert ausgesucht, welche die im Vorfeld erarbeiteten Fragestellungen und Bedarfe am besten beantworten beziehungsweise abdecken können. Somit setzt sich der jeweils individualisierte Stadtbaukasten aus einem bis zu einer unbegrenzten Anzahl von Modulen zusammen, wobei einzelne Modulgruppen oder Module über Schnittstellen miteinander verzahnt sind. Sollte für einen geäußerten Bedarf noch kein erarbeiteter Lösungsrahmen vorliegen, so können bestehende Module in Zusammenarbeit mit der Stadt und anderen Partnern weiterentwickelt oder neu entworfen werden.

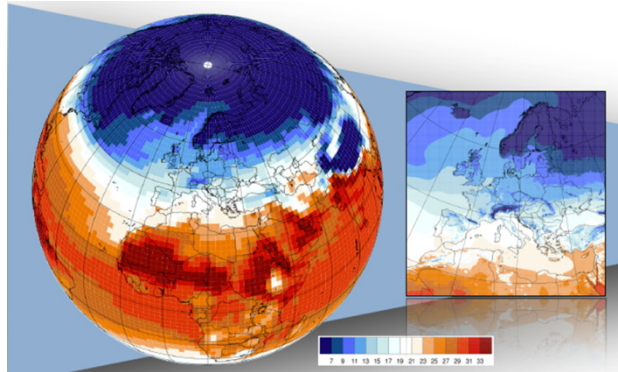


Abb. 3 Grundkonfiguration des Stadtbaukastens

Das Ziel jedes einzelnen Moduls ist es, auf der Basis regionaler Klimainformationen, bedarfsorientierte Klimaschutz-Produkte zu entwickeln, die Städte und Kommunen bei der Anpassung an die Folgen des Klimawandels unterstützen. Dabei werden während des gesamten Prozesses der gemeinsamen prototypischen Produktentwicklung (Co-Development, Co-Design und Co-Evaluation) mit Praxisakteuren ebenfalls Barrieren der Machbarkeit sowie zugehörige Zielkonflikte herausgearbeitet und mögliche Lösungsansätze aufgezeigt. Somit helfen die Ergebnisse dabei, potentielle Maßnahmen abzuwägen, um letztendlich die für die Stadt bestmögliche Option zu finden. Darüber hinaus können die Ergebnisse die Entwicklung einer Anpassungsstrategie sowie die Maßnahmenplanung und -umsetzung vorgelagerter Prozessschritte unterstützen.

Die Modulergebnisse verstehen sich dabei als Vorschläge, die zusammen mit den damit verbundenen Vor- und Nachteilen wertneutral präsentiert werden. Die letzte Entscheidung, welche Maßnahmen durchgeführt werden oder nicht, wird schließlich in den Städten und Kommunen selbst getroffen.

3.3. Modulgruppe „Spezifische Klimainformation“



Für Studien, die sich mit den Folgen des Klimawandels auf regionaler oder lokaler Ebene – beispielsweise für einen urbanen Raum – beschäftigen, sind räumlich hochaufgelöste Klimainformationen notwendig, die auf Robustheit und Signifikanz getestet sein müssen. Zwar stellt das Arbeiten mit Ergebnisbandbreiten und Ensembles von Klimaprojektionen viele Kommunen und von Ihnen beauftragte Ingenieurbüros immer noch vor Schwierigkeiten. Dennoch darf die Nutzung von Klimainformationen nicht dadurch vereinfacht werden, dass nur einzelne Klimaprojektionen Verwendung finden, um beispielsweise einen Temperaturtrend oder die Eingangsgrößen für Wirkmodelle („Impact-Modelle“) zu ermitteln. Denn durch die Beschränkung auf einzelne Projektionen werden nur einige Möglichkeiten zukünftiger Klimaverläufe dargestellt, wobei diese nicht zwangsläufig statistisch repräsentativ sein müssen (Bender & Jacob 2016). Um Aussagen über die Qualität beziehungsweise Repräsentativität der Ergebnisse machen zu können, ist es in der Klimaforschung gängige Praxis mit Ensembles von Klimaprojektionen zu arbeiten (vgl. Jacob et al. 2014, Pfeifer et al. 2015). Durch die Verwendung der Bandbreite aller zur Verfügung stehenden für die Zukunft projizierten möglichen Klimaänderungen lassen sich Eintrittswahrscheinlichkeiten ableiten.

Nach den Richtlinien für die Leitautoren des 5. IPCC Assessment Reports ist der Bereich einer Änderung als „likely“ (wahrscheinlich) einzustufen, wenn 66% aller projizierten Änderungen in diesem Bereich liegen. Umfasst der Bereich 90% der Änderungen, so wird von „very likely“ (sehr wahrscheinlich) gesprochen (Mastrandrea et al. 2010).

In der praktischen Umsetzung ist jedoch nicht immer möglich (aufgrund der verfügbaren Datengrundlage) beziehungsweise erwünscht (aus Kosten-Nutzen-Abwägungen), den bestmöglichen wissenschaftlichen Ansatz anzuwenden. Deshalb

sind nachfolgend verschiedene Vorgehensweisen aufgeführt, die sich in ihrem Detaillierungsgrad und der Güte der Ergebnisse voneinander unterscheiden. In allen Fällen muss darauf geachtet werden, die Ergebnisse abschließend so zu präsentieren, dass die Grenzen der Ergebnisaussagen klar ersichtlich sind. Darüber hinaus besteht immer die Möglichkeit Ergebnisse nach einer gewissen Zeit zu aktualisieren, wenn zum Beispiel neue regionale Klimainformationen vorliegen (vgl. Bender et al. 2017a).

3.3.1. Input für Modulgruppe „Klimaangepasste Stadtentwicklung“

Für die Modulgruppe „Klimaangepasste Stadtentwicklung“ wurden die Module „Klimawandeltaugliche Kompensationsmaßnahmen“ und „Stadtplanerische Klimaberatung“ entwickelt. Als Grundlage dienen Klimainformationen, um mögliche Klimaänderungen beurteilen zu können. Hierbei handelt es sich um ausgesuchte Variablen und Klimaindizes mit Bezug zu Temperatur und Niederschlag (Tab.1).

Als regionale Klimainformationen für einen bestimmten Standort werden die Messdaten der nächstgelegenen Messstation (beispielsweise des Deutschen Wetterdienstes) verwendet, sowie simulierten Zeitreihen (sowohl des vergangenen Klimas als auch Projektionen für das künftige Klima) derjenigen Simulationsgitterbox¹, die sich nahe einer Messstation befindet und das mittlere Klima eines Gebiets von etwa 12,5 km mal 12,5 km repräsentiert.

Ansatz: einzelne Klimaprojektionen mit einer Modellgitterbox

Diese Variante sollte nur gewählt werden, wenn kein Ensemble regionaler Klimaprojektionen für das ausgewählte Untersuchungsgebiet frei verfügbar ist. Die Simulation des historischen Klimas (1950-2005) und die Projektionen des zukünftigen Klimas (2005-2100) werden beispielsweise mit dem regionalen Klimamodell REMO (Jacob & Podzun 1997) berechnet, welches mit dem Globalmodell MPI-ESM angetrieben wird. Die räumliche Auflösung beträgt 0,11° (~12,5 km), die zeitliche Auflösung eine Stunde.

¹ Ein numerisches Klimamodell besteht aus einem 3-dimensionalen Gitter, das den Globus umspannt. Für jeden Gitterpunkt wird eine Vielzahl von Klimaparametern (z.B. Temperatur, Druck und Niederschlag) berechnet (siehe z.B. <http://www.klimanavigator.de/dossier/dossiers/011976/index.php>, Stand 04/2017)

Tab. 1 Ausgesuchte Variablen und Indizes für die Modulgruppe "Klimaangepasste Stadtentwicklung"

Variable/Index	Definition
Variable der REMO-Simulation	
Langjähriges Mittel der Temperatur sowie langjähriger saisonaler Mittelwert für Winter (DJF), Frühling (MAM), Sommer (JJA) und Herbst (SON)	in 2 m Höhe (Meteorologisches Jahr)
Taupunkttemperatur	in 2 m Höhe
Langjähriges Mittel der Niederschlagssumme sowie langjähriger saisonaler Mittelwert (DJF, MAM, JJA, SON)	Gesamtniederschlag (Summe aus konvektivem und stratiformem Niederschlag)
Langjähriges Mittel der Windstärke	in 10 m
Langjähriges Mittel der Windrichtung	in 10 m Höhe
Abgeleitete Indizes auf Basis von Variablen der REMO-Simulation	
Anzahl der Sommertage bzw. sommerliche Tage	Gesamtzahl der Tage mit einem Tagesmaximum von $\geq 25^{\circ}\text{C}$ (in 2 m Höhe)
Anzahl der Hitzetage	Gesamtzahl der Tage mit einem Tagesmaximum von $\geq 30^{\circ}\text{C}$ (in 2 m Höhe)
Anzahl der Starkregenereignisse	Gesamtzahl der Tage mit Niederschlagssumme $\geq 25,0$ mm
Anzahl der Trockenperioden	Periode mit mehr als 5 aufeinanderfolgenden Tagen mit Niederschlagssumme < 1 mm
Länge der Trockenperiode	Maximale Länge der Periode mit mehr als 5 aufeinanderfolgenden Tagen mit Niederschlagssumme < 1 mm
Mittlere Länge der Vegetationsperiode	Länge in Tagen zwischen dem ersten Auftreten von sechs oder mehr aufeinander folgenden Tagen mit einer Tagesmitteltemperatur von $> 5^{\circ}\text{C}$ und dem ersten Auftreten von 6 oder mehr aufeinander folgenden Tagen mit einer Tagesmitteltemperatur $< 5^{\circ}\text{C}$ innerhalb eines Kalenderjahres
Mittlerer Beginn der Vegetationsperiode	Mittel aller Termine mit erstem Auftreten von mindestens 6 aufeinanderfolgenden Tagen mit einer Tagesmitteltemperatur $> 5^{\circ}\text{C}$ (i.e. Beginn der Vegetationsperiode)

Validierung der Ergebnisse

Die Nutzung einer einzelnen Modellgitterbox für die Berechnung der Klimaparameter ist mit Unsicherheiten verbunden. Selbst wenn hochaufgelöste regionale Klimamodelle verwendet werden, sind der Auflösung (hier etwa $12,5 \times 12,5$ km) beispielsweise aufgrund der limitierten Rechenkapazität Grenzen gesetzt. Die Ergebnisse

jeder Gitterbox repräsentieren jeweils das flächengemittelte Klima innerhalb der Box. Da jede Modellgitterbox unterschiedliche Wasser- und Landoberflächenanteile enthält, kann bei sehr heterogener Beschaffenheit der Landoberflächen (beispielsweise bei einem Küstenstandort mit sowohl Wasser- als auch Landoberflächenanteil) das Ergebnis möglicherweise weniger repräsentativ für lokale Verhältnisse sein. Um dies zu testen, findet eine Validierung statt, wobei jedes einzelne Simulationsergebnis mit den Werten der nächsten Klimastation verglichen wird.

Ansatz: Klimamodellensemble mit neun Modellgitterboxen

Die Simulation des historischen Klimas (1950-2005) und die Projektionen des zukünftigen Klimas (2005-2100) basieren auf den regionalen Klimaprojektionen der EURO-CORDEX-Initiative (<http://www.euro-cordex.net>), die durch „Dynamisches Downscaling“ erzeugt wurden (Jacob et al. 2014). Hierbei wird eine größere Anzahl Klimaprojektionen – zum Zeitpunkt der Bearbeitung 34 – analysiert, aufgeteilt in vier Projektionen basierend auf Szenario RCP2.6, sowie jeweils 15 Projektionen basierend auf Szenario RCP4.5 beziehungsweise RCP8.5 (vgl. Box 2). Das Ensemble beinhaltet Simulationen von sechs unterschiedlichen regionalen Klimamodellen (RCM), die von acht verschiedenen globalen Klimamodellen (GCM) beziehungsweise GCM-Realisierungen angetrieben werden (Tab 2). Die in der „einfachen“ Variante genutzten REMO-Simulationen sind Bestandteil des EURO-CORDEX-Ensembles.

Box 2 Die „Repräsentativen Konzentrationspfade“ (RCP)

Die globalen sozio-ökonomischen Szenarien RCP (sogenannte "Repräsentative Konzentrationspfade") wurden für den 5. Sachstandsbericht des IPCC ausgewählt und berücksichtigen unter anderem die Bevölkerungszunahme, das Bruttosozialprodukt und den Energieverbrauch. RCP2.6 schließt sehr ambitionierte Maßnahmen zur Verringerung von Treibhausgasemissionen ein, führt zum Strahlungsantrieb von ca. 3 W pro m² um 2040 und geht dann zum Ende des 21. Jhdt. auf einen Wert von 2.6 W pro m² zurück. Mit RCP8.5 wird ein kontinuierlicher Anstieg der Treibhausgasemissionen beschrieben, der zum Ende des 21. Jhdt. einen Strahlungsantrieb von 8.5 W pro m² erreicht. RCP4.5 bewegt sich im mittleren Bereich.

(siehe z.B. <http://www.klimanavigator.de/dossier/artikel/012038/index.php> und <http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/RCP-Szenarien>, Stand: 04/2017)

Tab. 2 Überblick der verwendeten globalen und regionalen Klimamodelle sowie deren Realisierungen

Niedriges Emissionsszenario (RCP 2.6)		Moderates Emissionsszenario (RCP 4.5)		Hohes Emissionsszenario (RCP 8.5)	
Name des RCM	Name und Realisierung des antreibenden GCM	Name des RCM	Name und Realisierung des antreibenden GCM	Name des RCM	Name und Realisierung des antreibenden GCM
REMO	MPI-ESM; r1	REMO	MPI-ESM; r1	REMO	MPI-ESM; r1
REMO	MPI-ESM; r2	REMO	MPI-ESM; r2	REMO	MPI-ESM; r2
-	-	CCLM4.8	MPI-ESM; r1	CCLM4.8	MPI-ESM; r1
-	-	RCA4	MPI-ESM; r1	RCA4	MPI-ESM; r1
-	-	CCLM4.8	CNRM-CM5; r1	CCLM4.8	CNRM-CM5; r1
-	-	RCA4	CNRM-CM5; r1	RCA4	CNRM-CM5; r1
-	-	CCLM4.8	EC-EARTH; r12	CCLM4.8	EC-EARTH; r12
RCA4	EC-EARTH; r12	RCA4	EC-EARTH; r12	RCA4	EC-EARTH; r12
RACMO2.2	EC-EARTH; r1	RACMO2.2	EC-EARTH; r1	RACMO2.2	EC-EARTH; r1
-	-	HIRHAM5	EC-EARTH; r3	HIRHAM5	EC-EARTH; r3
-	-	WRF3.3.1	IPSL-CM5A; r1	WRF3.3.1	IPSL-CM5A; r1
-	-	RCA4	IPSL-CM5A; r1	RCA4	IPSL-CM5A; r1
-	-	CCLM4.8	HadGEM2; r1	CCLM4.8	HadGEM2; r1
-	-	RACMO2.2	HadGEM2; r1	RACMO2.2	HadGEM2; r1
-	-	RCA4	HadGEM2; r1	RCA4	HadGEM2; r1

Um die repräsentative Aussagekraft der simulierten Ergebnisse zu erhöhen, kann eine größere Anzahl an Gitterboxen verwendet werden (hier 3 x 3) (Abb. 4), mit der höchsten Wichtung im Zentrum und geringerer Wichtung an den Rändern.

	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	
	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	
	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	

Abb. 4 Beispiel der Flächengewichtung bei der Verwendung von neun Gitterboxen zur Berechnung der Klimaparameter.

Für jeden simulierten Klimaparameter wird nachfolgender Test durchgeführt:

- Validierung gegen Beobachtungsdaten: Simulationen für einen historischen Zeitraum (beispielsweise 1971-2000) werden mit lokalen Beobachtungsdaten von Klimastationen verglichen. Das Hauptkriterium ist die mittlere Abweichung der simulierten Ergebnisse von den Beobachtungsdaten.

Ansatz: Klimamodellensemble und repräsentative Modellgitterboxen

Die Simulation des historischen Klimas und die Projektionen des zukünftigen Klimas basieren auf einem Ensemble regionale Klimaprojektionen, wie beispielsweise der EURO-CORDEX-Initiative.

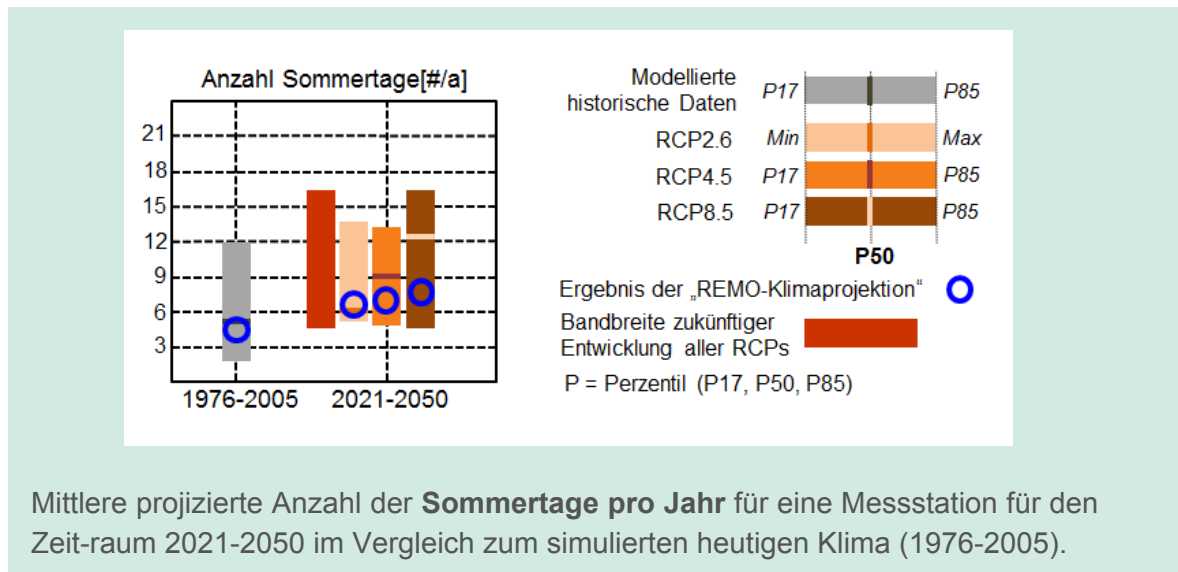
Um lokale Klimaänderungsinformationen für größere Bereiche – wie Stadtquartiere – aus Klimamodellsimulationen zu extrahieren, können die Klimaparameter für alle Simulationen aus den Gitterboxen ausgewählt werden, in denen sich ein Teil des Quartiers befindet. Basierend auf dem jeweiligen Flächenanteil pro Gitterbox wird ein gewichtetes Mittel der Klimaänderungen berechnet (GERICS 2017). Somit werden auch Umlandflächen in die Betrachtung miteinbezogen. Dies ist ein notwendiges Vorgehen, da die Informationen aus regionalen Klimamodellen nicht punktspezifisch sind, sondern immer nur als Mittel über eine größere Region gesehen werden können. Hierbei gilt es zu beachten, dass die Auswahl relevanter Gitterboxen immer fallspezifisch erfolgt. So kann es sein, dass zum Beispiel in Inland-Bereichen oder Bergregionen andere Methoden angewendet werden müssen als für Standorte an der Küste.

Für jeden simulierten Klimaparameter werden nachfolgende Test durchgeführt:

- Validierung gegen Beobachtungsdaten: Simulationen für einen historischen Zeitraum (beispielsweise 1971-2000) werden mit lokalen Beobachtungsdaten von Klimastationen sowie dem gegittert vorliegenden EOBS-Datensatz (<http://www.ecad.eu/e-obs>) verglichen. Kriterien der Validierung sind: a) die mittlere Abweichung der Datensätze, b) die Abweichung der interannuellen Variabilität – Standardabweichung der Jahreswerte über die 30-jährige Evaluierungsperiode und c) die Abweichung bei den Jahresgängen für Temperatur und Niederschlag.
- Prüfung der räumlichen Homogenität projizierter Klimaänderungen in einer größeren Region um das Untersuchungsgebiet (7 x 7 Gitterboxen): Vergleich des Signal-to-Noise-Verhältnisses (GERICS 2017).
- Prüfung der Trendrichtung projizierter Klimaänderungen: Um die Robustheit des Ensemble-Klimaänderungssignals zu bestimmen, werden sowohl die Übereinstimmung der projizierten Trends als auch die Bandbreite aller projizierten Änderungen in die Bewertung mit einbezogen.

Lessons learned

Box 3 Fallbeispiel: Ergebnisvergleich: einzelne Klimaprojektion versus Klimaprojektionsensemble



Der direkte Vergleich der Ergebnisse einer einzigen Klimaprojektion mit denen eines Ensembles aus Klimaprojektionen zeigt, dass bei der Verwendung von nur einer Klimaprojektion viele mögliche zukünftige Entwicklungen unbeachtet bleiben (Box. 3). Während die einzelne Projektion im Fallbeispiel eine leicht steigende Zunahme der Anzahl der jährlichen Sommertage zeigt, sind aus den Ensemble-Ergebnissen keine eindeutigen Trends ableitbar. In Bezug auf die Planung von Anpassungsmaßnahmen lässt ein einzelnes Ergebnis keinen Ermessensspielraum zu. Dadurch kann es zu der Situation kommen, dass die zukünftigen Verhältnisse über- bzw. unterschätzt werden. Es wird deshalb dringend empfohlen, immer ein Modellensemble zu verwenden – welches in Form des EURO-CORDEX Ensembles jetzt für Gesamteuropa vorliegt – um Aussagen über die Bandbreite der Ergebnisse treffen zu können. Darüber hinaus sollten bei der nachfolgenden Interpretation immer die zugehörigen Unsicherheiten mitkommuniziert werden.

3.3.2. Input für Modulgruppe „Thermisches Wohlbefinden und Wohnumfeld“

Zur Berechnung mikroklimatischer Verhältnisse sowie zur Ausbreitung von Luftschadstoffen im urbanen Raum kommen vielfach Stadtklimamodelle wie FITNAH (GEO-NET Umweltconsulting GmbH 2012), MUKLIMO_3 (Sievers 1990), RayMan (Matzarakis et al. 2000) oder UBIKLIM (Friedrich et al. 2001) zum Einsatz.

Zur Identifizierung sogenannter Hotspots hinsichtlich der Folgen des Klimawandels für eine Stadtregion wird exemplarisch das dreidimensionale, nicht-stationäre Strömungs-Energiebilanzmodell ENVI-met (Bruse 2007, Bruse & Fleer 1998) eingesetzt. Das mikroskalige Modell ermöglicht die numerische Betrachtung urbaner Strukturen als gesamtheitlichen Wirkungskomplex unter besonderer Berücksichtigung der

kleinskaligen Umweltgestaltung wie Straßenbegrünung, Gebäudestrukturen oder verschiedenen Versiegelungsmaterialien. Mit seiner Hilfe kann gezeigt werden, ob sich durch ein Set von überschaubaren Anpassungsmaßnahmen das zukünftige Mikroklima in einer ausgewählten Stadtstruktur positiv beeinflussen lässt.

Bei der Betrachtung von Anpassungsmaßnahmen können sowohl praxisbezogene als auch theoretische Ansätze betrachtet werden, wobei im letztgenannten Fall, die Ansätze frei von der finalen Beurteilung sind, ob sie an den jeweiligen Orten auch durchgeführt werden können (Bruse 2014).

Die Randbedingungen für das Modell basieren auf den Ergebnissen regionaler Klimasimulationen – im folgenden Fallbeispiel für die drei Simulationsszenarien:

- Situation „heute“: warmer Sommertag mit ausreichend Bodenfeuchte, gegenwärtige urbane Ausprägung
- Situation 2050: heißer Sommertag innerhalb einer Hitzeperiode mit wenig Bodenfeuchte, gegenwärtige urbane Ausprägung
- Situation 2050: heißer Sommertag innerhalb einer Hitzeperiode mit wenig Bodenfeuchte (analog zu vorherigem Punkt), urbane Umgestaltung zur klimatischen Anpassung.

Die Projektionen für das historische (1950-2005) und zukünftige (2005-2100) Klima werden exemplarisch mit dem regionalen Klimamodell REMO (Jacob & Podzun 1997) unter Verwendung des Klimaänderungsszenarios RCP 8.5 („high emission scenario“) berechnet. Grundlage bilden die Ergebnisse der REMO-Simulationen für die EURO-CORDEX Initiative (Jacob et al. 2014), angetrieben mit dem Globalmodell MPI-ESM, mit einer räumlichen Auflösung von $0,11^\circ$ (~12,5 km) sowie einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde. Zu Validierungszwecken wird außerdem eine REMO-Simulation in gleicher Grundkonfiguration genutzt, die mit dem Reanalyse-Produkt ERA-Interim – auf Beobachtungsdaten basierte Klimaberechnungen (Dee et al. 2009) – angetrieben wird.

Als Randbedingung für die Stadtklimasimulationen werden die mittleren Tagesgänge (24-Stunden-Werte) über die Sommermonate Juni, Juli, August (JJA) für die Variablen Lufttemperatur, relative Feuchte sowie Windgeschwindigkeit und -richtung benötigt. Nach der Extraktion der Klimadaten (Luft- und Taupunkttemperatur in 2 m Höhe, Gesamtniederschlagsmenge, Windgeschwindigkeit und Windrichtungskomponenten in 10 m Höhe sowie Anzahl der Sommer- und Hitzetage) aus einer Modellbox, die sich in der Nähe einer Messstation befindet, erfolgt die Abschätzung der relativen Feuchte in 2 m Höhe (Tab. 3).

Die Ergebnisse jeder Gitterbox sind repräsentativ für das mittlere Klima über deren Grundfläche. Da die Wasser- und Landoberflächenanteile einen entscheidenden

Einfluss auf die Repräsentativität der Ergebnisse besitzen, sollte bei der genutzten Gitterbox der Wasserflächenanteil weniger als 25% betragen.

Tab. 3 Ausgesuchte Variablen und Indizes für die Modulgruppe „Thermisches Wohlbefinden und Wohnumfeld“

Variable/Index	Definition
Variablen der REMO-Simulation	
Langjähriges Mittel der Temperatur (JJA)	in 2 m Höhe (1975-2005)
Langjähriges Mittel der Taupunkttemperatur (JJA)	in 2 m Höhe (1975-2005)
Jährliches Mittel der Windgeschwindigkeit (JJA)	in 10 m Höhe (1975-2005)
Jährliches Mittel der Windrichtung (von u/v-Windkomponenten) (JJA)	in 10 m Höhe (1975-2005)
Abgeleitete Indizes auf Basis von Variablen der REMO-Simulation	
Relative Feuchte in 2 m Höhe (JJA)	keine direkte Modellausgabevariable; abgeleitet aus Luft- und Taupunkttemperatur (nach August-Roche-Magnus Approximation): $RH = 610,78 \cdot \exp(T_D \cdot 17,625 / (T_D + 273,3)) / \exp(T \cdot 17,625 / (T + 273,3)) \cdot 100\%$ Mit: RH=relative Feuchte, T=Lufttemperatur (in °C), T _D =Taupunkttemperatur (in °C), e=Dampfdruck, e _s =Sättigungsdampfdruck (1975-2005)
Anzahl der Hitzetage	Gesamtzahl der Tage mit einem Tagesmaximum von $\geq 30^\circ\text{C}$ (in 2 m Höhe) zur Validierung wurden Tage mit einem Tagesmaximum von $\geq 28^\circ\text{C}$ herangezogen (in 2 m Höhe)

Ergebnisvalidierung

Mittlerer Tagesgang

Zur Validierung der REMO Simulationsdaten werden die mittleren Tagesgänge der ausgewählten Klimaparameter über die Sommermonate (JJA) berechnet und mit den Beobachtungsdaten der DWD-Messstation verglichen (Abb. 5).

Generell wird der Tagesgang der Lufttemperatur von allen Modellrechnungen gut nachvollzogen (Abb.5–A). Die Ergebnisse des Reanalyselaufs (auf Beobachtungsdaten basierte Klimaberechnungen) (ERA-Interim) simulieren im Vergleich zu den Beobachtungsdaten erhöhte Nachttemperaturen. Dies ist vermutlich auf die geringere Auskühlung der Wasserflächenanteile in der Gitterbox zurückzuführen. Die historischen Simulationen zeigen im Vergleich zu den Stationsdaten sowie zu den ERA-Interim Daten einen konstant kühleren Tagesgang (außer während der Nachtstunden). Für die relative Luftfeuchtigkeit (Abb.5–B) zeigen alle Modellrechnungen höhere Werte als die Beobachtungsdaten, wobei jedoch der Tagesgang deutlich zu erkennen ist.

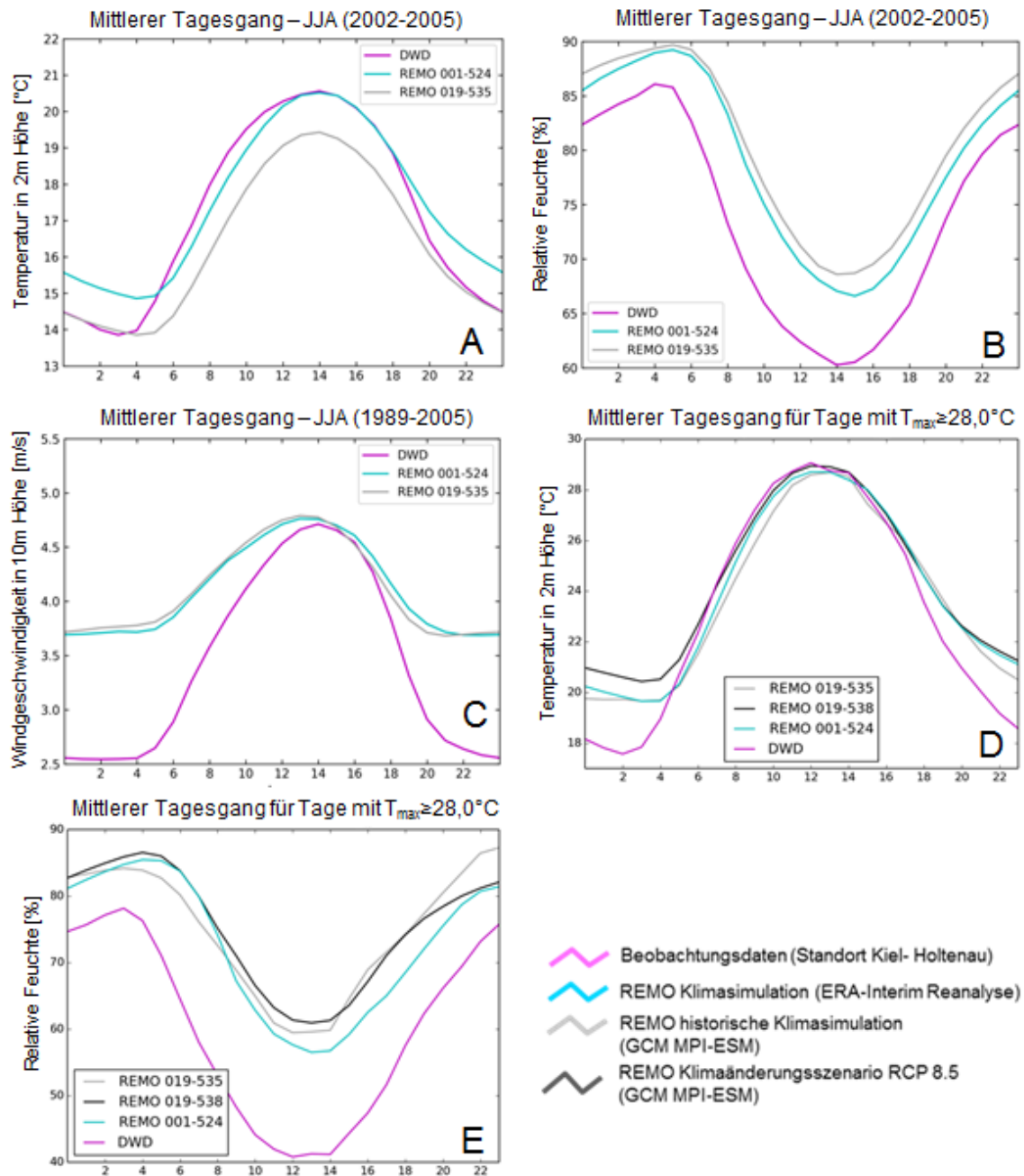


Abb. 5 Vergleich der Beobachtungsdaten mit REMO Klimasimulationsergebnissen am Beispiel der Station Kiel-Holtenau

Zur Betrachtung der Hitzetage (Tagesmaximum $\geq 30^{\circ}\text{C}$) war die Datenmenge so sehr eingeschränkt, dass für die weitere Bearbeitung die Tage mit einer Maximaltemperatur von $\geq 28^{\circ}\text{C}$ verwendet wurden (Abb. 5–D und 5–E). Während der Tagesgang der Temperatur für die Tageswerte eines warmen Tages gut wiedergegeben wird, zeigt die Simulation der Nachttemperaturen als Folge des erhöhten Feuchtegehalts zu hohe Werte. Der Tagesgang der zugehörigen relativen Feuchte

zeigt bei allen Simulationen durchgehend zu hohe Werte mit einem ausgeprägten Fehler beim simulierten Tagesminimum.

Der tägliche Verlauf der Windgeschwindigkeit (Abb. 5–C) wird annehmbar simuliert, allerdings weisen die Nachtstunden zu hohe Werte auf, was möglicherweise auf die Land-See-Zirkulation zurückzuführen ist. Beim Fallbeispiel bleibt die vorherrschende Windrichtung aus Süd bis Südwest, wegen der über Land aufgeheizten Luftmassen, während der Sommermonate dagegen unverändert.

Repräsentativer Tagesgang für einen warmen Sommertag (Situation „heute“)

Für diesen Ansatz werden alle Tagesgänge für Tage mit einer Maximaltemperatur $\geq 28^{\circ}\text{C}$ für die Jahre 1975 bis 2005 verwendet. Der Temperaturverlauf für einen repräsentativen warmen Sommertag wird aus dem Mittel der selektierten Tagesgänge konstruiert. Im Vergleich zu den Stationsdaten ist die Abkühlung im Modell nicht so stark ausgeprägt. Da das Modellgebiet einen deutlich größeren urbanen Charakter besitzt als die Umgebung der Messstation, ist davon auszugehen, dass im direkten Vergleich die nächtliche Abkühlung im Modellgebiet geringer ausfallen wird. Somit kann der Tagesgang der Modellsimulation als plausibel bewertet werden.

Box 4 Adjustierung der Parameter für das Fallbeispiel Kiel

- Die Amplitude des Tagesganges der Temperatur „extrem heißer Sommertag“ wird um bis zu 4 K erhöht.
- der Tagesgang der relativen Feuchte wird konstant verringert: um -10% (Situation „heute“) beziehungsweise um -30% (Situation „2050“).
- die mittlere Windgeschwindigkeit der Modellsimulation von 3 m/s auf 2 m/s gesenkt.
- als mittlere Windrichtung wird Süd bis Südwest gewählt.

Der Tagesgang der relativen Feuchte wird ebenfalls aus dem Mittel der Tagesgänge konstruiert. Zusätzlich erfolgt eine Adjustierung des Tagesgangs, um die Amplitude der Beobachtungen realistischer wiederzugeben.

Repräsentativer Tagesgang für einen von REMO simulierten extrem heißen Sommertag (Situation 2050)

Für diesen Ansatz wird, analog zur Vorgehensweise bei der Situation „heute“, ein mittlerer Tagesgang aus der Simulation des Zukunftsszenarios für die Jahre 2020 bis 2050 berechnet. Ausgangspunkt für die Konstruktion der Tagesgänge für das Zukunftsszenario sind die Abschätzungen der Minimal- und Maximalwerte von Temperatur und relativer Feuchte basierend auf Messwerten einer ausgesuchten Hitzeperiode. Da die Klimaprojektionen tendenziell ein häufigeres Auftreten von Sommertagen und heißen Tagen sowie einen Anstieg der mittleren Temperatur im Sommer zeigen (vgl. Anhang), wird der mittlere Tagesgang der 2 m Temperatur der Tage mit Maximaltemperatur $\geq 28\text{ °C}$ – Standort Kiel für die Jahre 1975 bis 2005 – adjustiert, um den Effekt einer stärkeren nächtlichen Abkühlung, auf Grund eines geringeren atmosphärischen Feuchtegehalts bei höherer Temperatur zu berücksichtigen (Abb. 6, rote Kurve). Zusätzlich werden Schwankungen der Nachmittags- und Abendstunden ausgeglichen (Abb. 6, blaue Kurve).

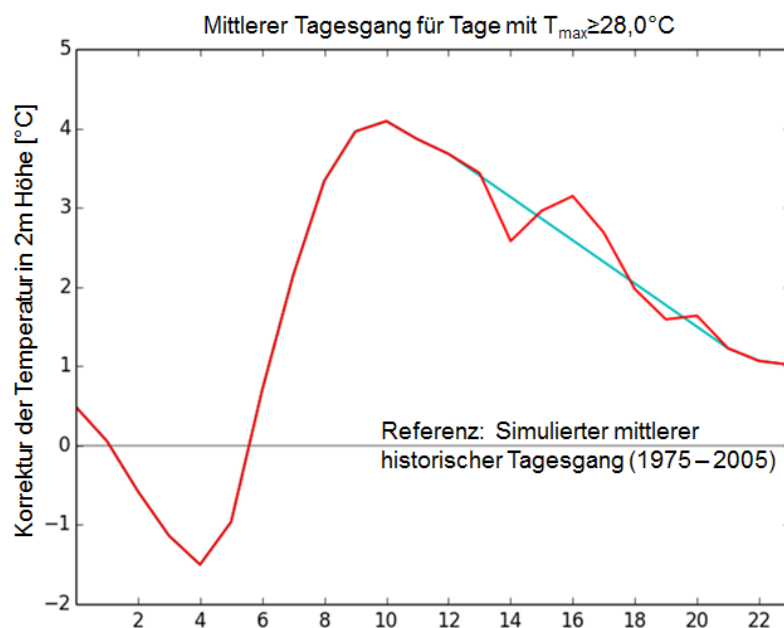


Abb. 6 Korrektur des Tagesverlaufs der Temperatur in 2 m Höhe für die Simulation der Situation „extrem heißer Sommertag 2050“

Für die relative Feuchte erfolgte eine Anpassung des simulierten Tagesganges, indem der historische Verlauf konstant um 30% gesenkt wurde, um den Effekt einer erhöhten Sättigungskapazität bei wärmeren Luftmassen wiederzugeben. Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurden die mittlere Windgeschwindigkeit und die mittlere Windrichtung im Vergleich zur Situation „heute“ nicht verändert.

Repräsentativer Tagesgang für einen von REMO simulierten extrem heißen Sommertag (Situation 2050 plus Anpassungsmaßnahmen)

Dieses Szenario basiert auf der Situation 2050 und enthält verschiedene theoretische Anpassungsmaßnahmen, wie die Neupflanzung von Bäumen, die Öffnung von Hinterhöfen oder das Hinzufügen von Wasserelementen. Die Ergebnisse dienen als Grundlage für die Entwicklung praktischer Anpassungsmaßnahmen, zur Identifikation der Hot-Spots im betrachteten Quartier und als Hilfsmittel zur Kommunikation von Handlungsbedarfen.

3.4. Modulgruppe „Kommunikation“



Wie die Praxiserfahrung von GERICS durch viele Workshops und Bedarfsabfragen gezeigt hat (Cortekar et al. 2016, Groth & Nuzum 2016) sind innerhalb der Prozesskette von der Planung einer Anpassungsstrategie bis zur Umsetzung und dem Monitoring von Maßnahmen viele kleine Teilschritte notwendig, die immer wieder wichtige Kommunikationselemente beinhalten, ohne die der Gesamtprozess gebremst oder letztendlich aufgehalten wird (Weyrich 2016). Dies macht die Modulgruppe „Kommunikation“ zu einem zentralen Element des Stadtbaukastens.

3.4.1. Modul „Multifunktionales transdisziplinäres Kommunikations-Tool“

Da es die Grundidee des GERICS-Stadtbaukastens ist, zusammen mit Gemeinden und Städten den Praxisbedarf zu ermitteln und daraus in Co-Produktion maßgeschneiderte, prototypische Produkte zu entwickeln, kommen bei allen Arbeiten innerhalb des Stadtbaukastens eines oder mehrere der folgenden Werkzeuge zum Einsatz: Bedarfsabfragen, Beteiligungsverfahren, Workshops, Aufbau und/oder Reaktivierung von Netzwerken, Moderation, Erstellung von themenbezogenem Informationsmaterial oder Öffentlichkeitsarbeit. Die Basis für den Einsatz des Stadtbaukastens sind a) der integrative Ansatz unter Beteiligung aller relevanten Akteure sowie b) die Nutzung von Synergien zwischen Anpassung an die Folgen des Klimawandels und Klimaschutz.

3.4.2. Modul „Individuelle, integrative und multisektorale Wissenssynthesen“

Den Ausgangspunkt für die meisten Aktivitäten im Rahmen des Stadtbaukastens bilden Wissenssynthesen, die einen ersten integrativen Überblick über den derzeitigen Wissensstand einschließlich offener Fragen zu einem jeweiligen orts-, raum- oder sektorspezifischen Themenkomplex liefern. Diese können auch zur stadtspezifischen Beratung genutzt werden, indem bereits identifizierte Fragestellungen und Lösungsansätze (Good-practice) aus anderen Städten vorgestellt werden, um theoretisch mögliche Vorgehensweisen zu diskutieren. Die daraus abgeleiteten Erkenntnisse dienen als erste Grundlage für die individuelle Anpassung beziehungsweise Neuentwicklung prototypischer Module.

Bisher erstellte Syntheseberichte befassten sich mit:

- einer Sammlung bestehender Zielformulierungen und Entwicklungskonzepte auf Stadtebene (Kriszio 2014b)
- einer Übersicht zur Anpassung deutscher Städte an den Klimawandel (Kriszio 2014a)
- einer Dokumentation des aktuellen Forschungsstandes, „Lessons learned“ und „Best-practice-Beispielen zu Anpassungsmaßnahmen aus dem Ostseeraum“ (Meyer-Nehls 2014)
- einem aktuellen Überblick über Forschungsprojekte, die sich mit den Folgen des Klimawandels für terrestrische Wassersysteme beschäftigen (Meyer-Nehls 2012)
- einer Dokumentation des Informations- und Unterstützungsbedarfs von Kommunen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels (Groth & Nuzum 2016)

3.4.3. Modul „Erstellung eines Klimawandel-Leitbildes“

Leitbilder bilden den Handlungsrahmen für die Stadtentwicklung, wobei Zielvorstellungen und Handlungsprinzipien formuliert werden, ohne jedoch Endzustände vorzugeben. Sie stellen eine wichtige Entscheidungsgrundlage für die Auswahl von Handlungsoptionen dar und ermöglichen eine fachliche und politische Verständigung zwischen Stadt- und Raumplanung, Administration, Wirtschaft und der Bevölkerung. Sie sind ebenfalls ein wichtiges Mittel, um die Themen Anpassung und Klimaschutz zusammen mit anderen Aspekten wie dem demographischen Wandel oder Migration in eine integrierte Stadtentwicklung einzubinden. Darüber hinaus sind sie ein wichtiges Monitoringinstrument zur Bewertung der Umsetzung von Konzepten und Maßnahmen.

Bereits heute gibt es eine große Auswahl von Leitbildern mit dem Fokus auf Stadtmarketing, der Funktionalität von Quartieren, dem Aufbau von Infrastrukturnetzen, dem Ressourcenumsatz oder dem gesellschaftlichen Wertekanon. Bezogen auf diese Themen werden häufig folgende Konzepte diskutiert: die Nachhaltige Stadt (Sustainable City), Cleantech City, Klimaneutrale Stadt, Grüne Stadt (Green City), Ökostadt (Eco City) oder die Smart City (Damm 2015, Science for Environment Policy 2015, TSB 2015, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt 2014, Lindfield & Steinberg 2012). Demgegenüber steht das Konzept der klimaresilienten Stadt, in welcher der Fokus auf der Robustheit gegenüber Störungen und der Redundanz von Systemen liegt. Viele Städte besitzen auch mehr als ein Leitbild, die parallel verfolgt werden.

Eine Gegenüberstellung der unterschiedlichen Konzepte zeigt, dass Planungselemente in Bezug auf Klimaschutz und Klimaanpassung unterschiedlich zu bewerten sind. So ist beispielsweise die kompakte Stadt ein guter Ansatz für den Klimaschutz, da Wege und damit verbunden Treibhausgasemissionen verringert werden sowie CO₂-Senken im Umland bestehen bleiben. Allerdings erhöht sich dadurch auch das Risiko einer Verstärkung des Hitzeinseleffektes, insbesondere im Hinblick auf die durch Klimamodelle projizierte Zunahme der mittleren Temperatur sowie der Anzahl, Länge und Intensität von Hitzeperioden.

Mit der Erstellung eines „Klimawandels-Leitbildes“ soll der Umgang mit dem Klimawandel und seinen Folgen als gesellschaftliche Herausforderung in der strategischen Ausrichtung der Stadt berücksichtigt werden. Das Ziel ist es dabei, Ideen für die Formulierung einer Anpassungsstrategie auf Basis bestehender Konzepte zu geben, so dass eine breite Tragfähigkeit für gemeinsames Handeln gegeben ist. Somit sind die Folgen des Klimawandels sowie alle bereits bestehenden Entwicklungskonzepte, Strategien und Programme auf städtischer, regionaler und Landesebene zu einem gemeinsamen Zielprogramm zusammenzufassen:

Typische Hauptkategorien sind:

- 1) Eine technisch auf ein Thema fokussierte Strategie, ohne Betrachtung des Klimawandels: Beispiele dafür sind Planungs- und Steuerungskonzepte, Stadtentwicklungskonzepte (Soziale Stadt + Kinderfreundliche Stadt + Kreative Stadt + Innovative Stadt + ...), Verkehrsentwicklungspläne, Stadtmarketing, gesamttouristische Aspekte, etc.
- 2) Breit angelegte Strategien, wobei der Klimawandel häufig unter dem Fokus der Nachhaltigkeit betrachtet wird. Chancen und Risiken finden dagegen keine Beachtung: Beispiele dafür sind Nachhaltigkeitsstrategien auf Bundeslandebene, Stadtentwicklungsprogramme (Nachhaltigkeit + wirtschafts- und strukturpolitische Ziele), etc.

- 3) Strategien, die sich explizit mit dem Klimawandel beschäftigen: Beispiele dafür sind ein Positionspapier zur Anpassung an den Klimawandel, regionale Rahmenpläne unter anderem mit Fokus auf Extremwetterlagen und Erwärmung, etc.

Die Verzahnung der drei Kategorien erfolgt zumeist auf Basis umfangreicher Einzelinterviews, aus denen alternative Leitbild-Vorschläge abgeleitet werden. Die Ergebnisse dienen als Grundlage für die Diskussion in Workshops, wobei die Szenario-Technik zum Einsatz kommen kann, die sich zur Veranschaulichung möglicher künftiger Entwicklungen unter verschiedenen Rahmenbedingungen eignet (Kriszio 2014a). Anknüpfend an die Problemanalyse werden Konsequenzen aus den entwickelten Szenarien gezogen und Handlungs- beziehungsweise Gestaltungsstrategien sowie jeweils kurze Prioritätenlisten erarbeitet. Als weitere Vorgehensweise kann durch die Anwendung konkreter Bürgerbeteiligungsverfahren über die Ergebnisse abgestimmt werden, um schrittweise eine konsensual getragene Entscheidung über die Ausrichtung einer Anpassungsstrategie zu fällen. Generell sind die Ergebnisse am erfolgversprechendsten, wenn sowohl die Vorteile für die Stadt als auch für das Umland herausgearbeitet werden.

Lessons learned

Die Verzahnung bereits bestehender Leitbilder mit Aspekten der Anpassung an die Folgen des Klimawandels ist in der Theorie ein hilfreicher Ansatz, um bestehende Zielvorstellungen und Handlungsprinzipien zu nutzen und diese um eine weitere Komponente zu ergänzen. In der Praxis findet diese Vorgehensweise aber nicht immer großen Anklang. Dies ist häufig damit begründet, dass es bereits mehrere Leitbilder gibt, deren Zielvorstellungen bereits einige Konflikte beinhalten. Aus diesem Grund ist der Anreiz gering, eine weitere Komponente einzufügen, die das Gesamtgefüge noch komplizierter und möglicherweise auch konfliktbeladener macht.

3.4.4. Modul „Bewertung der politischen Durchsetzbarkeit von Maßnahmen“

Auf dem Weg von der Auswahl zur Umsetzung von Maßnahmen sind in der Regel unterschiedliche Widerstände aus Öffentlichkeit, Politik und Wirtschaft zu erwarten, die es frühzeitig zu erkennen, zu bewerten und zu bewältigen gilt (Weyrich 2016). Durch das frühzeitige Erkennen möglicher Widerstände, auch auf der strategischen Ebene, können diese bei den Planungsprozessen direkt mitberücksichtigt werden, um die Implementierung zu unterstützen.

Mit der politischen Durchsetzbarkeit von Maßnahmen ist ganz allgemein die Akzeptanz eines Instrumenteneinsatzes im politischen Entscheidungsprozess gemeint. So kann eine Anpassungsmaßnahme, auch wenn sie sich theoretisch durch hohe ökologische Treffsicherheit und ökonomische Effizienz auszeichnet, nur dann zur Problemlösung beitragen, wenn sie letztendlich politisch auch durchsetzbar ist.

Als ihre wichtigsten Einflussgrößen gelten einerseits die gesellschaftlichen Interessengruppen und andererseits die Interessenlagen der verschiedenen politischen Parteien und Gebietskörperschaften.

Im Rahmen dieses Moduls kann bei der Diskussion potenzieller Maßnahmen eine Überprüfung dahingehend stattfinden, wie unterschiedliche Interessengruppen auf bestimmte Instrumentarien reagieren und in welcher Form sie im politischen Prozess Einfluss nehmen können. Darüber hinaus können Belange der Praktikabilität sowie der mit einem Instrumenteneinsatz verbundene administrative Aufwand betrachtet werden. Hierbei kann eine polit-ökonomische Herangehensweise Anwendung finden, bei der sowohl reale als auch erwartete Widerstände gegen bestimmte Maßnahmen durch Öffentlichkeit, Politik und Wirtschaft betrachtet werden. Diese Bewertung ist somit von hoher Relevanz für die Umsetzung einer effizienten und treffsicheren Anpassungsmaßnahme.

Im Verlauf der Analyse ist es das Ziel, mögliche Synergien und Konflikte der jeweils betrachteten Anpassungsmaßnahme mit anderen Aktivitäten (beispielsweise Maßnahmen zum Klima- oder Naturschutz) aufzuzeigen. Dabei ist die Prämisse für die Auswahl von Anpassungsmaßnahmen, Konflikte zu vermindern beziehungsweise zu vermeiden und Synergien zu nutzen. Durch die Bewertung der politischen Durchsetzbarkeit werden Potenziale und Grenzen ihrer politischen Gestaltbarkeit identifiziert und Lösungen erarbeitet, die dazu beitragen, dass letztlich auch der Weg von der Priorisierung einer Maßnahme bis hin zu ihrer praktischen Umsetzung erfolgreich beschritten werden kann.

3.5. Modulgruppe „Klimaangepasste Stadtentwicklung“



Der Fokus dieser Modulgruppe liegt auf den zurzeit verwendeten Verwaltungsverfahren. Ziel der prototypischen Module ist es, bestehende Planungsabläufe um eine Klimaanpassungskomponente zu ergänzen. Dies beinhaltet unter anderem die Prüfung des Vorhabens auf deren Vulnerabilität gegen ausgesuchte Folgen des Klimawandels oder das Aufzeigen zukünftiger Hot Spots.

3.5.1. Modul „Stadtplanerische Klimaberatung“

Die Anpassungserfordernisse von Städten bestehen sowohl im Hinblick auf die Stadtentwicklung als auch auf Naturräume sowie die mit Naturräumen gekoppelten Infrastrukturen und Wirtschaftszweige. In Bezug auf den Meeresspiegelanstieg besitzt beispielsweise die mögliche Gefährdung von Feucht- und Niederungsgebieten sowie von Regionen mit einem hohen Schadenspotenzial eine hervorgehobene Bedeutung. Generell stellen die Folgen des Klimawandels neue Herausforderungen für die zukünftige Stadtentwicklung dar. Auch im Hinblick auf neue Leitbilder wie Smart City oder die Nachhaltige Stadt ist es wichtig, Klimafolgen mitzudenken, um klimawandeltaugliche Strukturen zu schaffen.

Konkret setzt dieses Modul an den zur Verfügung stehenden Planungsinstrumenten an, die vor dem Hintergrund sich verändernder klimatischer Bedingungen abgestimmt werden müssen. Dabei werden sowohl die vorbereitende (Flächennutzungspläne bzw. integrierte Landschaftsplanung), als auch die verbindliche Bauleitplanung sowie Prozesse der Stadtentwicklungsplanung (z.B. städtebaulicher Entwicklungsplan, städtebaulicher Masterplan) betrachtet.

Als mögliche Vorgehensweise kann in einem ersten Schritt eine integrierte Analyse der Flächennutzung und Siedlungsstrukturen in Bezug auf die Exposition gegenüber klimatischen Veränderungen erfolgen. Aufbauend auf einer Vulnerabilitätsanalyse werden anschließend die Planungsinstrumente der Bauleitplanung modellhaft an konkreten Beispielstandorten hinsichtlich ihrer Anpassungsmöglichkeiten an Klimaänderungen bewertet.

Die Vulnerabilität ergibt sich zum einen aus der Art und der Intensität der klimatischen Veränderungen, zum anderen aus der Sensitivität des Betrachtungsraumes unter Berücksichtigung ihrer Anpassungskapazität. In der ersten Anwendungsphase wird die Verletzlichkeit betrachtet, die sich aus dem Zusammenwirken der Bebauungsstruktur (basierend auf dem Versiegelungsgrad einschließlich kompensierender Verminderung- und Ausweichkapazitäten) und den projizierten klimatischen Veränderungen ergibt (Weber et al. 2015).

Methodischer Ansatz

In der ersten Bearbeitungsphase, der Grundlagenermittlung und Bestandsanalyse, werden alle relevanten Daten über Siedlungsstrukturen, Demografie und Naturraum der Stadt sowie Analysen der aktuellen regionalen klimatischen Verhältnisse gesammelt. In der anschließenden zweiten Phase erfolgt die Auswahl der Klimaparameter, wie Jahresmitteltemperatur, Anzahl der Sommertage, Anzahl der heißen Tage, Niederschlag (Jahresmittel, saisonale Verteilung, Tageswerte) oder die Häufigkeiten des Auftretens und die Länge von Trockenperioden. Der Parameterkatalog muss hierbei jeweils einzelfallspezifisch erarbeitet werden.

Die Auswahl der zukünftigen regionalen klimatischen Verhältnisse (Phase 3), die für die weitere Bearbeitung herangezogen werden, erfolgt im Abgleich von aktuellen und historischen Daten. Bei der Verwendung der Klimainformationen wird darauf geachtet, ein möglichst großes Ensemble der verfügbaren Klimaprojektionen zu verwenden, um möglichst die gesamte Bandbreite möglicher Änderungen der Parameter berücksichtigen zu können. In Phase 4 findet die Vulnerabilitätsanalyse der Planungsinhalte statt, wobei die Exposition gegenüber den sich verändernden klimatischen Verhältnissen betrachtet wird. Nach der Prüfung möglicher Anpassungsoptionen (Phase 5) findet die qualitative Analyse und Bewertung der Planungsinhalte unter Berücksichtigung möglicher Anpassungsoptionen statt (Phase 6).

Lessons learned

Generell hat die Analyse übergeordneter Planungen ergeben, dass dort aktuell Aspekte der Klimaanpassung bisher nur wenig oder gar nicht berücksichtigt werden. Der größte Nutzen dieses Moduls kann erzielt werden, wenn die Bewertung möglicher Anpassungsmaßnahmen sowie deren Umsetzung bereits im Vorfeld für noch unbebaute Flächen erfolgen.

3.5.2. Modul „Klimawandeltaugliche Kompensationsmaßnahmen“

Eingriffe im Sinne des Gesetzes über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz - BNatSchG) sind beispielsweise Veränderungen der Gestalt oder Nutzung von Grundflächen oder Veränderungen des mit der belebten Bodenschicht in Verbindung stehenden Grundwasserspiegels. Sie können die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts oder das Landschaftsbild erheblich herabsetzen. Die Verursacher dieser Eingriffe sind verpflichtet, unvermeidbare Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft mit Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege auszugleichen oder zu ersetzen.

Pflanzenwachstum ist grundsätzlich abhängig von (externen) klimatischen Faktoren, wie beispielsweise Temperatur und Niederschlag. Eine Temperaturerhöhung kann insbesondere in nördlichen Breitengraden Auswirkungen auf Pflanzen und Lebewesen haben, die zu einer Beeinträchtigung der Artenvielfalt führen. Somit stehen ganze Ökosysteme vor neuen Herausforderungen und es besteht die Gefahr, dass ökologische Zielsetzungen von Kompensationsmaßnahmen verfehlt werden können.

In diesem Modul findet eine Prüfung der im Rahmen eines Planfeststellungsverfahrens ursprünglich getroffenen Aussagen vor dem Hintergrund des sich verändernden Klimas statt. Ziel ist es dabei, Kompensationsmaßnahmen und deren Funktionstüchtigkeit unter klimatisch veränderten Bedingungen zu bewerten und Möglichkeiten aufzuzeigen, wie sie ihre ursprünglich angedachte Funktion erreichen und bewahren können.

Methodischer Ansatz

Die Bearbeitung unterteilt sich in vier Schritte (Lendner & Weber 2015) und startet mit der Identifizierung der geoökologischen Ziele der Kompensationsmaßnahmen, gefolgt von Ortsbegehungen, um Entwicklungsstände der Kompensationsmaßnahmen zu kartieren. Es folgt die Auswertung aller vorhandenen regionalen Klimaprojektionen, um die Zielsetzungen der Kompensationsmaßnahmen auch unter klimatisch veränderten Bedingungen sachlich-argumentativ abwägen zu können. Darauf aufbauend kann ein Maßnahmenkatalog erarbeitet werden, der Vorschläge enthält, wie man die Erreichung der Zielumsetzungen unterstützen kann. Bei der Erarbeitung muss beachtet werden, dass die getroffenen Aussagen immer einzelfallabhängig sind, so dass jede weitere Kompensationsmaßnahme separat zu betrachten ist.

Lessons learned

Die standortspezifischen Klimainformationen sind nur bedingt aus dem vorhandenen Datenmaterial ableitbar. Kleinskalige Strukturen oder typische Standortcharakteris-

tika können räumlich nicht detailliert genug aufgelöst werden. Wie bereits in Kapitel 3.3.1 erwähnt, ist für die Bearbeitung die Verwendung eines Modellensembles als Basis für die Informationen zum künftigen Klima zwingend erforderlich, um auch Aussagen über die Bandbreite und Robustheit der Ergebnisse zu treffen zu können. Ein Vergleich zwischen den Ergebnissen einzelner Klimaprojektionen und einem Modellensemble im Anhang aufgeführt.

Die Maßnahmenvorschläge dienen mit Blick auf die Zielerreichung der Kompensationsmaßnahmen ausschließlich der ökologischen Pflege und Unterstützung der Biotope. Bei der Entwicklung der Ideen und Ansätze wurde keine ökonomische Bewertung des jeweiligen Unterfangens durchgeführt, so dass keine Aussagen zu der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Vorschläge getroffen werden können.

3.5.3. Modul „Vulnerabilitätsindex von Stadtteilen“

Um Anpassungsmaßnahmen aus Sicht von Entscheidungsträgern veranlassen zu können, ist die Identifikation von Schwachpunkten beziehungsweise eine erste Einschätzung von Vulnerabilitäten notwendig (Birkmann, 2013, Queste & Lauwe 2006). Mit Bezug auf Überflutungsereignisse wird im Rahmen des GERICS-Stadtbaukastens der Vulnerabilitätsindex von Rose & Wilke (2015) weiterentwickelt und eingesetzt. Dazu werden ausgehend von der Exposition, Anfälligkeit und Bewältigungskapazität von Bevölkerung und Unternehmen Stadtteile miteinander verglichen, um Entscheidungsträgern eine Grundlage zur Ableitung von Handlungsansätzen bereitstellen zu können. Solche Vulnerabilitätseinschätzungen sind auf Stadt- beziehungsweise Stadtteilebene nicht neu und werden bereits vielerorts durchgeführt. Allerdings sind die bisherigen Methoden sehr komplex und beruhen auf teilweise sehr umfangreichen und kostenintensiven Befragungen von Haushalten. Dagegen hat der hier verwendete Index den Vorteil, dass er aus Indikatoren abgeleitet werden kann, die auf öffentlich und unentgeltlich verfügbaren Daten beruhen.

Methodischer Ansatz

Eine entscheidende Weiterentwicklung des Ansatzes gegenüber der Arbeit von Rose Wilke (2015), ist die Anwendung einer Verhältnisrechnung zur relativen Bewertung der Stadtteile anstelle der Bildung einer einfachen Rangfolge. Ausgangspunkt ist auch hierbei der höchste Wert des Indikators in den Stadtteilen, allerdings werden die nachfolgenden Werte prozentual dazu ins Verhältnis gesetzt. Der höchste Wert entspricht somit 100% und erhält automatisch den Wert 10. Die Werte der weiteren Stadtteile beziehen sich somit immer auf den höchsten Wert, wodurch die Basisdaten insgesamt und vor allem überdurchschnittlich hohe oder geringe Einzelwerte präziser dargestellt werden. Alle weiteren prozentualen wie auch Skalenwerte beziehen sich immer auf diese beiden Referenzwerte. Als Basisdaten dienen frei verfügbare Informationen aus statistischen Berichten über die Sozial- und

Strukturdaten sowie die Angaben zur Bevölkerung und Quartalszahlen für die einzelnen Stadtteile. Für die Betrachtung der Vulnerabilität gegenüber Überflutungsereignissen wurden darüber hinaus lokale und regionalen Hochwasserschutzkarten sowie Flächennutzungskarten ausgewertet.

Konzeptionell baut sich der Vulnerabilitätsindex aus den Ebenen „Exposition“, „Anfälligkeit“ (bestehend aus „Evakuierungsfähigkeit“ und „Finanzieller Schaden“) sowie „Bewältigungskapazität“ auf (Abb.7). Mit Hilfe der „Exposition“ erfolgt die Bewertung, wie hoch in einem Stadtteil das Gefährdungspotenzial für eine Überflutung ist. Hierbei gehen zwei unterschiedlich gewichtete Indikatoren mit ein. Die Überflutungsexposition durch Hochwasser wird direkt durch den relativen Anteil der Überschwemmungsfläche im Verhältnis zur Stadtteilfläche berechnet.

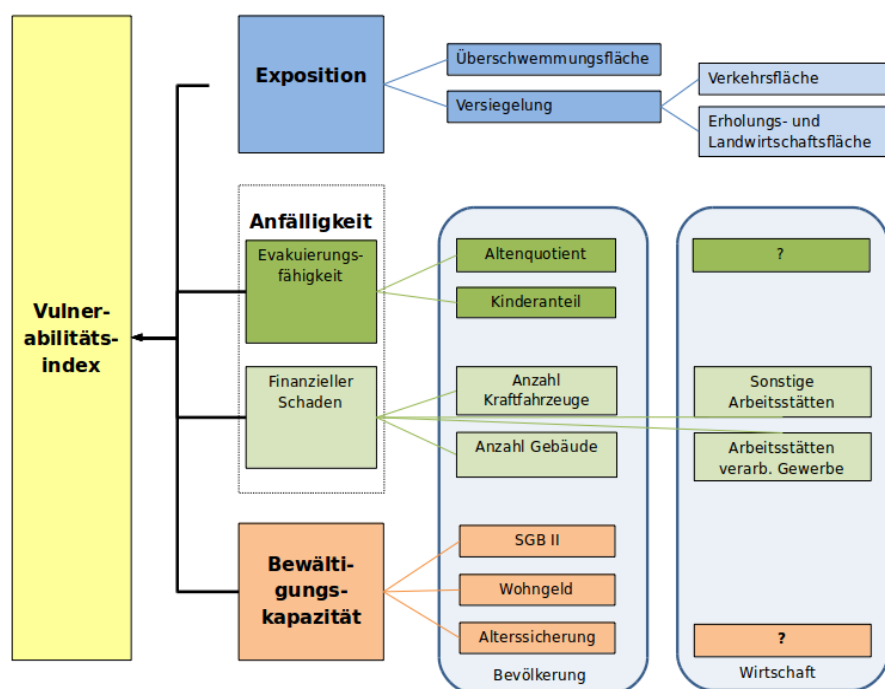


Abb. 7 Struktur des Vulnerabilitätsindex (Bürger 2015)

Die „Exposition“ für urbane Überflutungen nach Starkregenereignissen wird indirekt über den Versiegelungsgrad der Stadtteile ermittelt. Die Ebene „Anfälligkeit“ (Sensitivität) wird abweichend von Rose & Wilke (2015) über einen Gesamtindex ermittelt, der sich aus der Evakuierungsfähigkeit (Anzahl älterer Personen und Kinder) sowie dem potenziellen wirtschaftlichen Schaden von Bevölkerung (registrierte Kraftfahrzeuge und Anzahl der Wohngebäude) und Unternehmen (Abschätzung über Wirtschaftsbereiche) zusammensetzt. Dadurch wird dem Bevölkerungsschutz in Anlehnung an Brinkmann et al. (2011) eine höhere Gewichtung zugeteilt. Die Ebene „Bewältigungskapazität“ betrachtet die vorhandene Kapazität, mit der die Folgen von Hochwasserereignissen bewältigt werden können. Diese Kapazität steigt, nach Brinkmann et al. (2011), mit Zunahmen der finanziellen

Ressourcen. Als Indikatoren werden in Anlehnung an Rose & Wilke (2015) der Bezug von Leistungen nach dem Sozialgesetzbuch (SGB) II, Wohngeldbezug sowie Leistungen zur Alterssicherung beziehungsweise Erwerbsunfähigkeit verwendet. Daten, die Rückschlüsse auf die Bewältigungskapazität von Unternehmen zuließen, sind nicht verfügbar.

Lessons learned

Durch die Anwendung des Vulnerabilitätsindex mit Bezug auf Überflutungsereignisse lassen sich Informationen hinsichtlich der Vulnerabilitäten einzelner Stadtteile und deren Ursachen ableiten. Damit können Entscheidungsträger in die Lage versetzt werden, weitere und gezielte Untersuchungen zu veranlassen beziehungsweise direkte Anpassungsmaßnahmen abzuleiten. Dabei ist jedoch zu beachten, dass derzeit weder die baulichen Substanzen von Gebäuden, noch bereits bestehende technische Hochwasserschutzmaßnahmen berücksichtigt werden.

Da die Folgen des Klimawandels, je nach Region, andere Aspekte, wie Hitzeinseln oder Wassermangel, betreffen können, sind ähnliche Indikatoren auch auf diese Fragestellungen grundsätzlich anwendbar und somit eine Erweiterung des Ansatzes möglich.

3.5.4. Modul „Prüfung von Maßnahmen in Bezug auf die Klimaresilienz“

Insbesondere bei der Planung von neuen Gebäuden oder Quartieren steht vielerorts der „Smart“-Gedanke im Vordergrund – also die Vernetzung verschiedener Systeme. Dagegen bleibt die Prüfung der Klimawandeltauglichkeit jedoch häufig unberücksichtigt. Teile dieses Moduls finden sich in vielen anderen Komponenten des Stadtbaukastens, wie bei den klimaangepassten Kompensationsmaßnahmen (vgl. 3.5.2.), der Planung von Gründächern zum Regenrückhalt, die auch der Trockenheit standhalten müssen (vgl. 3.7.2) oder bei Vorsorgemaßnahmen zum Schutz vor Überflutungen bei Starkregenereignissen (vgl. 3.6.2).

Prinzipiell kann die Prüfung von Maßnahmen in Bezug auf ihre Klimaresilienz aber auch den Hauptfokus für eine Gesamtsystemanalyse bilden.

3.6. Modulgruppe „Wasser in der Stadt“



Der Fokus dieser Modulgruppe ist auf die vielfältigen, wasserrelevanten Fragen gerichtet und deckt alle Bereiche des urbanen Wasserkreislaufs ab, einschließlich der Beeinflussung von Stadtgebieten durch extreme Wetterereignisse wie Dauerregen, Starkregen oder Trockenperioden (Abb.8). Neben der Entwicklung von Schutz-konzepten für Fluss- und Grundhochwasser sowie Sturzfluten werden auch klima-wandeltaugliche wasserrechtliche Bewilligungen oder die Stärkung der Eigenvor-sorge von Grundstücksbesitzern thematisiert.

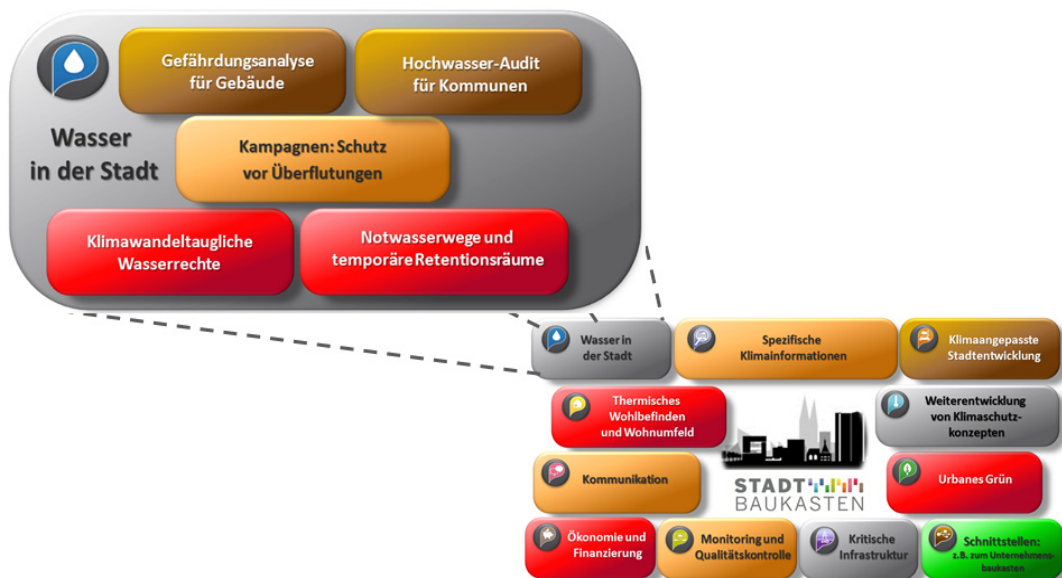


Abb. 8 Konfiguration der Modulgruppe „Wasser in der Stadt“

3.6.1. Modul „Temporäre Retentionsräume und Notwasserwege“

Starkregenereignisse stellen in Verbindung mit der steigenden Versiegelung von Stadtflächen eine nicht zu unterschätzende Herausforderung dar. Schon heute führen Starkregenereignisse zu urbanen Überflutungen mit zum Teil enormen Sachschäden, wobei nicht immer nur Bereiche in der Nähe von Fließgewässern betroffen sind. Deshalb sollten auch die möglichen Folgen von Niederschlags-

mengen, die in einem kleinen Zeitfenster auftreten, bei allen Städten und Gemeinden auf der Agenda stehen, um negative kostspielige Auswirkungen vermeiden zu können. Trotz des bereits vielfältig verfügbaren Informationsangebotes zeigt die Erfahrung, dass immer noch ein großer Bedarf für eine umfassende Beratung besteht. Da ein Ausbau der Kanalisation aus Kosten- und technischen Gründen häufig nicht zu realisieren ist, wird zunehmend ein genereller Wandel der „Entwässerungsphilosophie“ notwendig, die sich vom Sicherheitsversprechen hin zum Risikomanagement entwickelt. Dies beinhaltet unter anderem die Planung von temporären Notwasserwegen und den zugehörigen Retentionsräumen. Hierbei rücken multimodale Flächennutzungen beispielsweise von öffentlichen Parks, Plätzen oder Verkehrsflächen verstärkt in den Fokus, da dort kurzzeitig große Wassermengen zurückgehalten werden können, um sie dann kontrolliert abfließen zu lassen. Darüber hinaus sind alle Maßnahmen als sinnvoll anzusehen, die das Retentionsvolumen sowie die Infiltrationskapazität in der Stadt vergrößern. Zu nennen sind hier beispielsweise wasserdurchlässige Bürgersteige und Parkplatzflächen sowie die Bereitstellung zusätzlicher städtischer und privater Grünflächen.

Dieses Modul soll bei der Suche nach temporären Retentionsräumen – einschließlich zugehöriger Fließwege – helfen, Möglichkeiten der Wasserrückhaltung aufzeigen, Schwachstellen detektieren und den Dialog zwischen Wasserentsorgern und Planungsämtern fördern.

Der Schwerpunkt liegt in der Zusammenfassung und Auswertung bereits bestehender Informationen, die häufig getrennt voneinander – beispielsweise bei Feuerwehren, dem Katastrophenschutz, den Wasserentsorgern, der Unteren Wasserbehörde und dem Grünflächenamt – vorliegen. Durch eine gemeinsame Datenbank oder Plattform wäre es möglich, zukünftige Hot-Spots sowie mögliche Anpassungsmaßnahmen aufzuzeigen. Lösungsansätze könnten durch städtebauliche und architektonische Maßnahmen (z.B. Dachbegrünung, regenwassergespeiste Wasserflächen im Baubestand, naturnahe Ausgestaltung von Entwässerungsgräben, Verkehrsinselbegrünung, Entsiegelung von Flächen) aber auch durch die Doppelnutzung von Flächen in Zeiten hohen Regenwasseraufkommens erfolgen.

Methodischer Ansatz

Nach einer Standortanalyse einschließlich der Sichtung der wichtigsten Informationsquellen (historische Ereignisse: Kanalrückstau, urbane Sturzflut, Grundhochwasser, Feuerwehreinsätze, Leitungsschwachstellen, etc.), findet eine Zusammenführung der Daten beispielsweise in einem GIS-System statt. Daraus lassen sich bisherige Hot-Spots ebenso ableiten wie zugehörige potenzielle innerstädtische Fließwege. Die Informationen werden mit der Bewertung der lokalen und regionalen Folgen des Klimawandels (Fokus: Tage bzw. Perioden von Tagen mit hohem Niederschlags-

aufkommen) kombiniert, und zukünftige potenzielle Überflutungsbereiche abgeleitet. In den Folgeschritten werden nahegelegene potenzielle Retentionsräume sowie deren Aufnahmekapazität und die zugehörigen Notwasserwege identifiziert. Als Abschluss der Arbeiten werden Handlungsempfehlungen ausgesprochen, einschließlich der Ermittlung von Bedarfen für weitere Maßnahmen zur Minderung der Umweltauswirkungen.

3.6.2. Modul „Schutzkampagnen vor Überflutungen“

Starkregenereignisse sorgen wiederholt für enorme Sachschäden, sowohl bei Kommunen als auch bei privaten Eigentumsbesitzern. Dabei können alle Regionen in Deutschland gleichermaßen betroffen sein. In bebauten Gebieten führt Starkregen häufig dazu, dass das Regenwasser unkontrolliert auf Straßen, in Gräben oder über Hängen hin zu Geländetiefpunkten wie Unterführungen, Kellern oder Tiefgaragen fließt, beziehungsweise sich hinter unpassierbaren Straßendurchlässen aufstauen kann. Ort und Zeitpunkt eines Starkregenereignisses sind jedoch kaum vorherzusagen, da es sich zumeist um zeitlich und örtlich sehr begrenzte Ereignisse handelt. Beobachtungsdaten verdeutlichen, dass in den letzten Jahren bereits in vielen Stadtgebieten Deutschlands eine signifikante Erhöhung von Starkregenereignissen aufgetreten ist (Hartmann et al. 2013). Regionale Klimaprojektionen für Europa zeigen für Deutschland eine robuste und signifikante Zunahme der Ereignisse im Herbst und Winter von bis zu 25% (2071-2100 vgl. mit 1971-2000, RCP 8.5). Für das Szenario RCP4.5 sind jedoch keine Angaben zu signifikanten Veränderungen möglich (Jacob et al. 2014). Vor dem Hintergrund zukünftig zu erwartender Schäden sollten entsprechende Anpassungsmaßnahmen vorgenommen werden, wobei dies auf unterschiedlichen Ebenen erfolgen kann. So können Grundstückseigentümer und Hausbesitzer, aber auch die öffentliche Verwaltung angesprochen und für das Thema sensibilisiert werden.

Kampagnen für die Bevölkerung (Beispiel Hochwasserpass)

Gebäude und Hausrat im Eigentum von Privathaushalten sind durch Naturereignisse, unter anderem durch Hochwasser, bedroht, die zu hohen Kosten für Reparatur und Wiederaufbau beziehungsweise zur Wiederbeschaffung zerstörten Besitzes führen können. Mit dem Hochwasserpass (<http://hochwasser-pass.com/>) können sich Hausbesitzer ein Bild über ihr individuelles Überschwemmungsrisiko machen. Der Hochwasserpass enthält die wichtigsten Daten des Hauses auf einen Blick: Standort, baulicher Zustand, bereits vorhandene bauliche Vorsorge, die Schadenshistorie sowie das Gefährdungspotenzial für die Lastfälle Hochwasser, Starkregen, Kanalarückstau und Grundhochwasser. Er dient damit zum Nachweis, ob das Gebäude i) hochwassergefährdet, ii) durch Maßnahmen zum Hochwasserschutz geschützt und/oder iii) hochwasserangepasst gebaut ist.

Methodischer Ansatz

Der Hochwasserpas besteht aus vier unterschiedlichen Abstufen, die sich nach Detaillierungsgrad und Kosten wie folgt unterscheiden:

1. **Sensibilisierung und Selbstauskunft:** Mit einem Fragebogen wird die konkrete Gebäudesituation kostenfrei abgefragt.
2. **Kurzbewertung:** Nach Beantwortung der Fragen durch den Eigentümer wird eine kurze Beurteilung der Gefährdung des Gebäudes erstellt. (Diese Beurteilung ist noch nicht der Hochwasserpas.)
3. **Plausibilitätsprüfung durch Sachkundigen:** Die Selbstauskunft kann durch einen Sachkundigen geprüft werden. Dies ist besonders dann ratsam, wenn nach der automatischen Auswertung des Fragebogens eine Gefahr für das betreffende Objekt erkannt wurde oder wenn das Interesse besteht, einen Hochwasserpas für das Objekt zu erhalten. Nach der Plausibilitätsprüfung kann der Sachkundige ggf. auf bauliche Maßnahmen hinweisen.
4. **Erhalt des Hochwasserpases:** Auf Grundlage seiner Prüfung stellt ein Sachkundiger auf Wunsch des Gebäudeeigentümers den Hochwasserpas aus.

Falls sich im Umfeld des Gebäudes Umstände ergeben, die eine Neueinschätzung der Gefährdung sinnvoll erscheinen lassen, kann der Hochwasserpas erneut erworben werden. Dies kann beispielsweise dann der Fall sein, wenn das Wohngebiet durch einen Hochwasserdamm geschützt wird oder andere wasserwirtschaftliche Maßnahmen durchgeführt werden.

Kampagnen für die Gemeinden und Städte

Das Thema Hochwasserrisiko findet meist erst dann in Kommunen und Städten Beachtung, wenn ein Hochwasser erhebliche Schäden angerichtet hat. Das Hochwasseraudit („Hochwasser – wie gut sind wir vorbereitet“) der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) richtet sich an alle kommunalen Gebietskörperschaften, aber auch an Verbände mit entsprechender Verbandsaufgabe und regional abgegrenztem Verbandsgebiet. Durch das Audit kann der derzeitige Status der Hochwasservorsorge identifiziert, analysiert und gezielt verbessert werden.

Das Audit versetzt die vor Ort Verantwortlichen, aber auch die potenziell vom Hochwasser betroffenen Bürger, in die Lage, den Status der Hochwasservorsorge aus ihrer lokalen Perspektive zu prüfen, zu bewerten und daraus weiteres Handeln abzuleiten, ohne dass ein zu Schäden führendes Hochwasser dafür die Veranlassung geben muss. Auf diese Weise wird es möglich, Rahmen und Erfordernisse einer nachhaltigen Hochwasservorsorge zwischen den Beteiligten im lokalen Kontext ohne Zeitdruck zu diskutieren. Das Ziel ist es somit, Entscheidungen herbeizuführen, die von einem breiten Konsens getragen werden.

Das Audit befasst sich nicht nur mit dem Flusshochwasser, sondern auch mit dem Risiko durch lokale Starkregenereignisse mit Überflutungsfolgen (Sturzfluten), die gerade aus kommunaler Perspektive erfahrungsgemäß von ebenso großer Bedeutung für die örtliche Gefahrenabwehr sind.

Methodischer Ansatz

Eine interessierte Kommune beziehungsweise ein Verband stellt bei der DWA-Bundesgeschäftsstelle einen Antrag für ein Audit. Die DWA ernennt zwei Auditoren/innen, das heißt Fachleute aus der Praxis, die über ausgewiesene Kenntnisse in allen maßgebenden Belangen der Hochwasservorsorge verfügen. Zunächst findet zur Abstimmung des Rahmens und der Zielsetzung des Audits sowie zur fach- und sachgerechten Vorbereitung der Kommune ein Vorgespräch statt. Beim eigentlichen Audittermin vor Ort (in der Regel zwei Tage) wird der dokumentierte Status der Hochwasservorsorge für Flusshochwasser und Sturzfluten nach Merkblatt DWA-M 551 eingeordnet. Das Audit konzentriert sich auf die Bewertung lokal zu verantwortender Maßnahmen. Der technische Hochwasserschutz und die örtliche Katastrophenabwehr sind nicht Bestandteil des Audits. Das Audit-Protokoll enthält eine abschließende Bewertung mit einer „Hochwasservorsorge-Ampel“.

3.6.3. Modul „Klimawandeltaugliche Wasserrechte“

Bei der Entnahme von Oberflächenwasser oder Grundwasser sowie bei der Einleitung in Gewässer oder Grundwasserleiter ist der Vorhabensträger ab einer gewissen Menge dazu verpflichtet, eine wasserrechtliche Bewilligung beziehungsweise Erlaubnis einzuholen. Da wasserrechtliche Bewilligungen zum Teil Laufzeiten von über 20 Jahren besitzen, stellt sich in Anbetracht der projizierten Veränderungen des Wasserkreislaufs die Frage, ob solche Genehmigungsverfahren nicht durch eine Klimawandelkomponente ergänzt werden müssten. Dies würde das Unterbeziehungsweise Überschreiten von Meldestufen sowie den Nachjustierungsbedarf von wasserrechtlichen Bewilligungen minimieren. Zurzeit erfolgt das Nachjustieren in der Regel auf Basis von nach mehrjähriger Laufzeit optimierten Monitoring-Verfahren, Beweissicherungsberichten, Nachfolge-Gutachten sowie Änderungs- bzw. Anpassungsbescheiden. Durch Einführung einer Klimawandelkomponente könnte diese Prozedur deutlich vereinfacht werden. Damit könnten Personal- und Zeitressourcen eingespart und Nutzungskonflikte frühzeitig identifiziert werden.

Methodischer Ansatz

Zur Prüfung des Vorhabens auf mögliche Ansatzpunkte für Anpassungskomponenten werden die vorliegenden Unterlagen (Planzeichnungen, Karten, Gutachten, usw.) gesichtet und eine Systemanalyse durchgeführt, mit dem Ziel, alle systemrelevanten Auswirkungen des Klimawandels zu identifizieren (beispielsweise

Veränderung der innerjährlichen Grundwasserneubildung und ihre Folgen, veränderte hydrochemische Parameter, veränderte Spitzen- und Mindestbedarfe, etc.). In der nachfolgenden Phase werden die Auswirkungen des Klimawandels auf das Vorhaben sowie der Einfluss des Vorhabens auf den Klimawandel bewertet und die Wirksamkeit geplanter Maßnahmen zur Minderung der Umweltauswirkungen unter veränderten klimatischen Bedingungen abgeschätzt. Darauf aufbauend können Handlungsempfehlungen zur Minderung der Umweltauswirkungen erstellt und zusätzliche Anpassungsmaßnahmen entwickelt werden.

3.7. Modulgruppe „Urbanes Grün“



Der Begriff „urbanes Grün“ umfasst eine Vielzahl städtischer Grünkategorien, die von Parks über Straßenbäume bis hin zu Hinterhöfen oder Fassaden reicht. Diese gesamte „grüne Infrastruktur“ trägt sowohl zum ökologisch-klimatischen Ausgleich wie auch zur Naherholung und Gesundheit der Einwohner bei oder zur Schönheit der Stadt. Somit müssen alle Maßnahmen, die das urbane Grün betreffen, immer in einem größeren Kontext betrachtet werden, da sie vielfältige Auswirkungen haben, die gesamtheitlich betrachtet werden müssen. Zunehmend werden auch Straßen und Wege als Bewegungs- und Aufenthaltsraum genutzt, weshalb Straßen- und Verkehrsräume ebenfalls mit berücksichtigt werden müssen.

In Bezug auf die Anpassung an die Folgen des Klimawandels leistet urbanes Grün einen wesentlichen Beitrag. Durch Verdunstungskälte oder Beschattung trägt es zur Kühlung bei. Es mindert Düseneffekte bei Starkwinden, hält Regenwasser zurück und bietet Retentionsraum für Niederschlagswasser, das aufgrund des zeitweisen Versagens der Kanalisation oberirdisch abfließt. Vernetzte Freiraumsysteme mit kurzen attraktiven Wegen fördern die emissionsfreie Mobilität. Besonders „No-Regret-Maßnahmen“ – Maßnahmen, die so ausgelegt werden, dass sie auch unter veränderten Rahmenbedingungen keine negativen Auswirkungen haben – bieten hier ein großes Potenzial zur Anpassung, wie beispielsweise die Entsiegelung und Gestaltung eines größeren innerstädtischen Parkplatzes (MBWSV 2014).

Impulse der Freiraumentwicklung ergeben sich auch durch Initiativen der Wasserwirtschaft – wie die Anpassung der Entwässerungsinfrastruktur an die sich dezentralisierende

trale grüne Regenwasserbewirtschaftungssysteme ankoppeln lassen – oder der Stadtentwicklung. Wie die Vernetzung von grüner Infrastruktur (wie Gärten, Parks, landwirtschaftliche Flächen, Grünverbindungen, Dach- und Fassadenbegrünungen), Stadtplanung, Stadtentwicklung, Kompensationsmaßnahmen, Biodiversität, Gesundheit oder blauer Infrastruktur (wie Fließgewässer, Teiche, Seen und Überflutungsbereiche) zeigt, ist es bei vielen Fragestellungen notwendig, die multifunktionellen Aspekte in ein integriertes Konzept einzubauen. So fungiert der Straßenraum nicht mehr nur zum Transport von Waren, sondern er wird zum Aufenthaltsort, dient der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung, bietet Schatten und fördert die Biodiversität.

Die Prototypen-Module dieser Modulgruppe befassen sich mit der Bewertung der Betroffenheit von Stadtpflanzen und -bäumen durch die Folgen des Klimawandels, der Wirkung von Dach- und Fassadenbegrünungen auf das Stadtklima und den Regenwasserrückhalt. Durch die zahlreichen Überschneidungspunkte mit anderen Sektoren gibt es darüber hinaus viele weitere Möglichkeiten zur Entwicklung weiterer Klimaschutz-Produkte insbesondere bei der Synthese des aktuellen Wissensstandes in Bezug auf sektor übergreifende Interaktionen. Beispiele hierfür sind die Synergieeffekte von Dachbegrünungen und Photovoltaikanlagen oder die multifunktionale Nutzung von Parks.

3.7.1. Modul „Klimasichere Stadtbäume“

Bäume tragen elementar zur Lebensqualität in der Stadt bei. Allerdings haben Straßen- beziehungsweise Parkbäume mit erschwerten Lebensbedingungen zu kämpfen. Bodenverdichtung, schlechte Böden, versiegelte Flächen, Wurzelverletzungen durch Erdarbeiten, Tausalz oder Staub und Luftschadstoffe sind schon heute große Herausforderungen für Stadtbäume (z.B. Forman 2014, Roloff 2013). Bereits heute liegen die Lufttemperaturen in der Stadt in Folge der versiegelten Flächen deutlich höher als am Waldboden, dem natürlichen Standort der Bäume. Durch den Klimawandel und seine Folgen – wie zunehmende sommerliche Hitze- und Trockenperioden sowie vermehrte und intensivere Starkregenereignisse – wird sich die Lage noch zusätzlich verschärfen. Hinzu kommt eine stärkere Verbreitung wärmeliebender Schädlinge.

Dieses Modul transferiert die klimawandelspezifischen Erkenntnisse aus der Forstwirtschaft in die Stadt unter den dort herrschenden Bedingungen und kombiniert diese Erkenntnisse mit aktuellen auf die Stadt bezogenen Forschungsergebnissen, wie beispielsweise aus dem Verbundprojekt „Stadtbäume im Klimawandel“ oder der „Klima-Arten-Matrix“ (vgl. Brune 2016, Roloff et al. 2008,). Diese Informationen werden mit bereits lokal beobachteten beziehungsweise dokumentierten Veränderungen zusammengeführt. Das Ziel dieses Moduls ist die Erstellung von Handlungsempfehlungen für die Auswahl klimawandeltauglicher Stadtbäume, die

Verbesserung der Baumstandorte und den Schutz vor Umweltbelastungen im urbanen Raum. Auch das zugehörige Monitoring von Anpassungsmaßnahmen findet Berücksichtigung, um die bestmögliche Wirkung zu gewährleisten. Das Modul beinhaltet des Weiteren Angaben zur allgemeinen Vulnerabilität und Vegetationsperiode, Aussagen zu regionalen Klimaprojektionen über das Auftreten von Dürrebeziehungsweise Trockenperioden, Hitzestress, Spätfrösten und Baumkrankheiten sowie Angaben zum Pflegeaufwand in Folge der wachstumsbedingten Beanspruchung des Straßenraums oder nach Sturmschäden.

Methodischer Ansatz

Nach der Durchführung einer Bestandsaufnahme des Artenspektrums durch Vor-Ort-Erkundung und bestehende Baumkataster wird zunächst eine Prioritätenliste mit den häufigsten und/oder wichtigsten Baumarten erstellt. In einem Folgeschritt werden die bevorzugten, artenspezifischen Klimabedingungen mit den Ergebnissen regionaler Klimaprojektionen abgeglichen. Berücksichtigt werden hierbei sowohl die Einflüsse von Extremereignissen wie Sturm, Hagel, Hitze, Dürre, Starkregen, wie auch von bekannten Parasiten und möglichen invasiven Tier- und Pflanzenarten. Die gesammelten Ergebnisse werden in einem stadtspezifischen Gutachten für einen klimasicheren Baumbestand zusammengestellt. Darin enthalten sind unter anderem Empfehlungen für Baumarten und Neuanpflanzungen, sowie mögliche Anpassungsmaßnahmen für Standorte, um die Folgen des Klimawandels abmildern zu können. Darüber hinaus findet auch eine Sensibilisierung für klimagefährdete Arten im gegenwärtigen Bestand statt.

3.7.2. Modul „Multifunktionaler Mehrwert von Dach- und Fassadenbegrünung“

Die Begrünung von Dächern und Fassaden bietet eine Vielzahl positiver Effekte, sowohl für das direkte Umfeld, als auch – bei ausreichender Flächendeckung – auf Quartiers- und Stadtebene. Sie besitzt das Potenzial, den urbanen Hitzeinseleffekt zu reduzieren und somit die gesundheitliche Hitzebelastung zu verringern (Akbari et al. 2016), die Luftqualität zu verbessern und CO₂ zu reduzieren (Price et al. 2015), Lärmemissionen abzumildern (Berardi et al. 2014), das Wohn- und Arbeitsumfeld visuell aufzuwerten und vor allem den Altbestand an Gebäuden durch die dämmende Substratschicht energetisch aufzuwerten.

Begrünte Dächer können das urbane Regenwassermanagement, insbesondere bei Starkregenereignissen, unterstützen, da sie Abflussspitzen verringern und somit die Gefahr urbaner Überflutungen minimieren. Bei entsprechender Planung ist es beispielsweise möglich, eine zusätzliche Retentionsschicht einzubauen, um eine größere Menge an Wasser speichern zu können. Begrünte Fassaden besitzen dieselbe Wirkung, jedoch mit einem geringeren Wirkungsgrad. Für ein nachhaltiges Gesamtkonzept werden die besten Ergebnisse durch eine Kombination von grüner

und blauer Infrastruktur erreicht. Während die grünen Elemente den Regenwasserrückhalt und die Versickerung von Niederschlagswasser begünstigen, trägt das zurückgehaltene Wasser zur Entlastung der Kanalisation, durch Verdunstung zur Verbesserung des Stadtklimas und als Wasserreserve zur Bewässerung des urbanen Grüns während Trockenperioden bei. Bei der Gesamtplanung klimawandeltauglicher grüner und blauer Infrastruktur ergeben sich Überschneidungen zu den prototypischen Modulen „Temporäre urbane Retentionsräume und Notwasserwege“, „Klimawandeltaugliche Kompensationsmaßnahmen“ sowie „Thermisches Wohlbefinden und Wohnumfeld“.

In zunehmendem Maße werden Dachflächen durch Photovoltaikanlagen (PV) genutzt, die auf den ersten Blick mit der Nutzung durch Dachbegrünung in Konkurrenz stehen. Dabei wird häufig nicht bedacht, dass sich beide Nutzungen nicht per se ausschließen sondern dass sie sich vielmehr durch Synergien begünstigen können (Pfoser et al. 2013, Hui & Chan 2011). Der durch Evapotranspiration erzeugte Kühlungseffekt hilft die Betriebstemperatur der PV-Module zu senken, wodurch deren Wirkungsgrad und damit die Effizienz der Energieerzeugung steigt (FBB 2006, Köhler et al. 2002). Die Verschattung durch PV-Module kommt umgekehrt der Vegetation zugute: Die direkte Sonneneinstrahlung und somit ein möglicher Trockenstress wird gemindert, was das Wachstum der Pflanzen begünstigt sowie auch eine Zunahme der Artenzahl bewirken kann, da nun neben ungeschützten auch schattige und halbschattige Standorte entstehen, die jeweils von verschiedenen Arten bevorzugt werden (Köhler et al. 2007). Allerdings muss bei der gemeinsamen Nutzung auch darauf geachtet werden, dass die PV-Module durch die wachsende Vegetation nicht verschattet werden. Dies kann durch deren Montage auf erhöhten Rahmen, regelmäßigen Rückschnitt der Pflanzen oder durch eine extensive Begrünung mit niedriger Wuchshöhe erreicht werden (Hui & Chan 2011, Köhler et al. 2002).

3.8. Modulgruppe „Ökonomie und Finanzierung“



Die kommunale Umsetzung von Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels erfordert für einen längeren Zeitraum die Aufwendung und Bindung finanzieller Mittel. Anpassungsmaßnahmen sehen sich hier vielfältigen Hürden gegenüber. So fallen die Kosten in der Gegenwart an, der damit verbundene Nutzen – also die positiven Effekte wie beispielsweise ein vermiedener Schaden – erst in der Zukunft. Wie hoch der zukünftige Nutzen ist, hängt dabei von vielen Faktoren ab, die zudem nicht notwendigerweise im direkten Zusammenhang mit der ergriffenen Maßnahme stehen müssen. Zudem stehen Maßnahmen im Bereich der Klimawandelanpassung in Konkurrenz mit anderen Maßnahmen, die unmittelbarer wirken und auch unmittelbarer gelöst werden müssen, wie beispielsweise die Sanierung einer Schule oder das kulturelle Angebot.

Diese Modulgruppe zielt auf zwei für die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen wichtige Aspekte, das Vergrößern neuer finanzieller Handlungsspielräume und das Begründen der Notwendigkeit von Anpassungsmaßnahmen durch Kosten-Nutzen-Analysen.

3.8.1. Modul „Finanzierungskonzepte für Anpassungsmaßnahmen“

Die Möglichkeit zur Generierung neuer finanzieller Handlungsspielräume durch das Einwerben von Spenden- und Sponsorenmitteln haben viele Non-Profit-Organisationen (NPOs) – also gemeinnützige und nicht gewinnorientierte Organisationen – und auch Hochschulen schon vor vielen Jahren entdeckt und diesbezüglich erfolgreich professionelle Fundraising-Strategien entwickelt. In der kommunalen Verwaltung sind solche Ansätze demgegenüber bislang noch sehr selten.

Dieses Modul unterstützt die Entwicklung und Umsetzung einer auf die kommunale Situation zugeschnittenen Fundraising-Strategie. Das Vorgehen beinhaltet unterschiedliche Beratungsaktivitäten zur Finanzierung von Anpassungsmaßnahmen und umfasst unter anderem Fördermöglichkeiten durch öffentliche Mittel der EU, des Bundes oder der Länder, aber auch Finanzierungsmodelle im Rahmen von Public-Private Partnerships (PPP) sowie die Implementierung und Etablierung einer tragfähigen Fundraising-Strategie, mit der für einzelne Maßnahmen gezielt finanzielle

Mittel akquiriert werden können. Das Ziel ist es, eine systematische und dauerhafte Akquise von Finanzmitteln zu etablieren, mit denen sowohl Maßnahmen zum Klimaschutz als auch zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels subventioniert werden können.

Methodischer Ansatz

Durch die Beratungsleistung sollen Kommunen in die Lage versetzt werden, Aktivitäten im Bereich der Anpassung an die Folgen des Klimawandels zukünftig eigenverantwortlich durchführen zu können. Ausgangspunkt der Arbeiten ist die Identifizierung der organisatorischen Grundlagen, sowie der Notwendigkeit der Entwicklung eines neuen Leitbilds mit dem Fokus „Anpassung an den Klimawandel“. Darauf aufbauend erfolgen eine Analyse der eigenen Stärken und Schwächen sowie eine Prüfung potenzieller Förderer. Nach der Ermittlung des Finanzbedarfs erfolgt die Entwicklung von Fundraising-Strategien beziehungsweise Akquise-Methoden einschließlich der Gestaltung von Vorlagen für notwendige Dokumente wie Projekt-skizzen, Fundraising-Mappen, Verträge und Zuwendungsbescheinigungen.

3.8.2. Modul „Kosten-Nutzen-Analyse von Anpassungsmaßnahmen“

Die Planung, Umsetzung, Implementierung und das Monitoring von Anpassungsmaßnahmen sind immer mit Kosten verbunden. Kosten-Nutzen-Analysen tragen dazu bei, die unterschiedlichen Alternativen der Maßnahmen zur Erreichung eines bestimmten Ziels in ihren ökonomischen Dimensionen vergleichbar zu machen. Zudem hilft sie bei der Priorisierung von Maßnahmen und Ressourcen, um den größtmöglichen sozialen, ökologischen und wirtschaftlichen Nutzen zu erreichen. Dabei sind in Bezug auf die Anpassung folgende Kosten und Nutzen wesentlich: 1) die Kosten und Nutzen (möglicher) Auswirkungen des globalen Klimawandels ohne Anpassung, die direkt vom Ausmaß und der Intensität der Folgen abhängen, 2) die Kosten und Nutzen alternativer Anpassungsmaßnahmen und 3) die Kosten verbleibender Schäden (so genannter Residualschäden).

Methodischer Ansatz

Zunächst ist zu berücksichtigen, dass Kosten-Nutzen-Analysen zu verschiedenen Zeitpunkten des Gesamtprozesses in unterschiedlicher Form durchgeführt werden können. In einer sehr frühen Phase geht es unter Umständen zunächst darum, ein bestimmtes Thema auf der politischen Agenda zu platzieren. Hier sind meistens recht grobe Kosten- und Nutzenabschätzungen ausreichend. In der Phase der konkreten Maßnahmenplanung und -umsetzung sind detailliertere Betrachtungen erforderlich. Insgesamt muss sich die Analysetiefe aber an den lokalen Gegebenheiten, das heißt insbesondere an der Datenverfügbarkeit, orientieren.

Grundsätzlich sind in der in der Praxis einige Herausforderungen (ECONADAPT 2015, OECD 2015) zu bewältigen: Die Auswirkungen und Risiken sowie die wirtschaftlichen Kosten des zukünftigen Klimawandels sind sehr schwer abzuschätzen. Zudem existiert auf lokaler Ebene häufig eine große Bandbreite an Aussagen über das Ausmaß des Klimawandels und somit auch über die in der Praxis benötigten Anpassungsmaßnahmen. Darüber hinaus gibt es verschiedene Ziele, die mit der Anpassung verfolgt werden, einschließlich ethischer und subjektiver Entscheidungen. Aus wissenschaftlicher Sicht ist es allerdings nicht möglich, positive oder negative Auswirkungen des Klimawandels auf andere, nicht unmittelbar adressierte Aspekte hinreichend auf regionaler und lokaler Ebene zu untersuchen.

Zudem werden bei vielen Ansätzen nicht-klimatische Faktoren und existierende regulatorische Rahmenbedingungen sowie Sektor übergreifende makroökonomische Interaktionen zwischen Anpassungsmaßnahmen (OECD 2015, Skourtos et al. 2013) beziehungsweise Grenzen der Anpassung (OECD 2015, IPCC 2014, Adger et al. 2007) wenig oder nicht berücksichtigt.

Die Analyse der Verwundbarkeiten einzelner Sektoren oder Regionen stellt für die Erfassung klimawandelbedingter Anpassungskosten den ersten Schritt dar (Gebhardt et al. 2011). Die Verwendung des Bottom-up-Ansatzes erlaubt eine präzisere und detailliertere Erfassung der für die regionalen beziehungsweise lokalen Entscheidungsträger relevanten Anpassungskosten (Heuson et al. 2012).

3.9. Modulgruppe „Kritische Infrastruktur“



Das Bundesministerium des Innern definiert: Kritische Infrastrukturen sind Einrichtungen mit wichtiger Bedeutung für das staatliche Gemeinwesen, bei deren Ausfall oder Beeinträchtigung nachhaltig wirkende Versorgungsengpässe, erhebliche Störungen der öffentlichen Sicherheit oder andere dramatische Folgen eintreten würden (BMI 2009). Diese Versorgungssysteme sind Extremereignissen, Naturgefahren, technischem oder menschlichem Versagen oder vorsätzlichen Handlungen ausgesetzt. In den meisten Fällen sind Kritische Infrastrukturen voneinander

abhängig, das heißt bei einem Ausfall der Stromversorgung werden andere Bereiche wie Informationstechnologien oder die Wasserversorgung ebenfalls betroffen, deren Ausfall beziehungsweise Beeinträchtigung wiederum andere Störungen nach sich ziehen kann.

Auch wenn bisher der Klimawandel als Verursacher extremer Wetterereignisse noch nicht direkt für den Ausfall Kritischer Infrastruktur verantwortlich war beziehungsweise dafür gemacht werden kann, so verdeutlichen beispielsweise Stromausfälle nach Extremereignissen oder menschlichem Versagen, wie dramatisch die Folgen sein können. Dabei sind die unmittelbaren Schäden an der Infrastruktur selbst häufig deutlich geringer als die Folgeschäden (Scheele und Oberdörffer 2011). Nach Growitsch et al. (2015) belaufen sich die durchschnittlichen Kosten eines ein-stündigen deutschlandweiten Stromausfalls auf rund 430 Mio. €, wobei ein Spitzenwert von 750 Mio. € pro Stunde für einen Stromausfall an einem Montagmittag im Dezember ermittelt wurde. Aber auch schon sehr kurze Versorgungsunterbrechungen von wenigen Sekunden bis Minuten können bei hochsynchronisierten Produktionsketten oder aber auch in der Wasserversorgung zu hohen Schäden führen.

Durch die Folgen des Klimawandels werden sich die durchschnittlichen Temperaturen erhöhen sowie vielerorts Niederschlagsmuster verändern. Zudem verdeutlichen Beobachtungsdaten, dass in vielen Stadtgebieten bereits eine signifikante Zunahme von Starkregenereignissen aufgetreten ist (Hartmann et al. 2013, Rosenzweig et al. 2011). Häufigere und extremere Wetterereignisse können zu Schäden an der Infrastruktur und zur Unterbrechung der Versorgungsleistungen führen. Daher sollten alle Infrastrukturbetreiber in der Lage sein, eine unterbrechungsfreie Versorgung auch unter veränderten klimatischen Bedingungen gewährleisten zu können.

Die größten Schwierigkeiten bei der Entwicklung mobiler Schutzkomponenten insbesondere in Bezug auf Klimafolgen, gehen zurzeit davon aus, dass man den Ort, die Intensität und den Zeitpunkt eines Ereignisses nicht vorhersagen kann (Fichtner et al. 2014). Darüber hinaus ist das Systemverständnis vor allem in Bezug auf Domino- und Kaskadeneffekte bisher nur schwach ausgebildet. So hat ein Stromausfall beispielsweise einen direkten Einfluss auf die Wasserversorgung, da sowohl die Kommunikation als auch die Steuerungstechnik der Anlagen und Pumpen sowie anderer Komponenten wie elektrische Tore ohne Strom nicht funktionieren. In einem weiteren Schritt führt der mehrstündige Ausfall der Wasserversorgung zu einer Störung der Abwasserentsorgung, auch wenn diese nicht von einem Stromausfall betroffen ist (IM BWL & BBK 2010). Ferner sorgt der Ausfall der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung, mit oder ohne Stromausfall, zu einer Beeinträchtigung weiterer Einrichtungen wie kritischer Produktionsanlagen, Krankenhäuser oder Transporteinrichtungen (Abb.9).

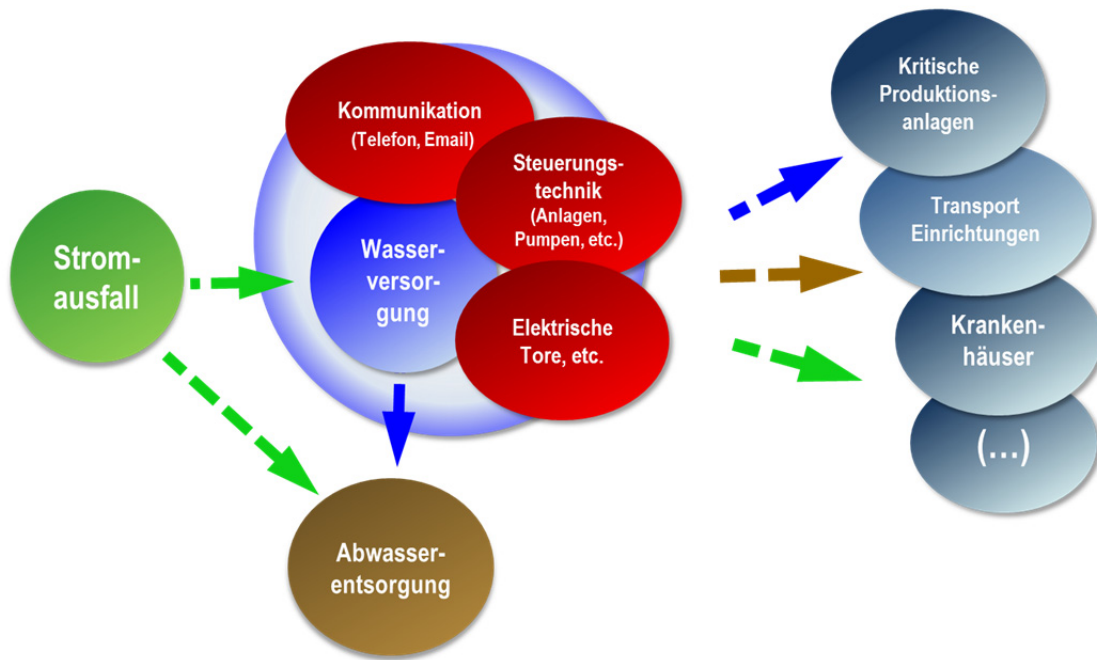


Abb. 9 Beispiel eines Kaskadeneffekts im Bereich kritische Infrastrukturen ausgehend von einem Stromausfall.

Methodischer Ansatz

Für die Durchführung einer Vulnerabilitätsanalyse werden zunächst die Sensitivität einzelner Infrastrukturelemente sowie deren Wechselwirkungen mit anderen Systemelementen – auch anderer kritischer Infrastrukturen – analysiert. Betrachtet werden Wirkungsketten beziehungsweise Wirkungsnetze, in denen die wichtigsten Wirkzusammenhänge aus Klimafolgen und deren Auswirkungen auf alle relevanten Handlungsfelder inbegriffen sind. Im Rahmen der Analyse werden Schwachstellen sowie die Qualität der Datenverfügbarkeit zusammen mit Experten vor Ort diskutiert und analysiert. Dabei werden sowohl der aktuelle Zustand als auch mögliche zukünftige Herausforderungen auf Basis regionaler Klimaprojektionen betrachtet.

Die Handlungsfelder „Energie“, „Gesundheit“ und „Wasser“ bilden Schwerpunkte, da deren Analyse Synergien mit anderen Stadtbaukasten-Modulen genutzt werden können. Dabei kommt der Kommunikation ebenfalls eine tragende Rolle zu, da nur eine partnerschaftliche Zusammenarbeit zwischen Land, Kommunen und privaten Unternehmen sowie ein handlungsfeld-übergreifendes Handeln das hohe Niveau der Versorgung sicherstellen kann (Die Bundesregierung 2008).

3.10. Modulgruppe „Weiterentwicklung von Klimaschutzkonzepten“



Der Klimaschutzgedanke ist in vielen Städten bereits angekommen. Häufig stehen dabei das Auffinden von Energieeinsparpotenzialen, der Ersatz fossiler Energieträger durch regenerative Energien, die energetische Nutzung von Abfällen, die Wärmérückgewinnung aus Ab- und Grubenwasser, der Ausbau des Fernwärmenetzes, energetische Gebäudesanierung oder die Minimierung der Einschaltzeiten der Straßenbeleuchtung im Vordergrund. Das Thema Anpassung steht dagegen bislang nur selten auf der Agenda. Häufig bestehen auch Missverständnisse dahingehend, was der Unterschied zwischen Klimaschutz und Anpassung an die Folgen des Klimawandels ist. Innerhalb dieser Modulgruppe werden daher Unterstützungshilfen bereitgestellt, um Synergien dieser beiden klimapolitischen Handlungsfelder besser nutzen zu können. Den Schwerpunkt bildet dabei die Integration von Anpassungskomponenten in bereits bestehende Klimaschutzkonzepte. Dabei kann es sein, dass Maßnahmen, die gut für den Klimaschutz sind, sich nicht automatisch zur Anpassung eignen und umgekehrt (Abb.10). Aus diesem Grund sollten solche Maßnahmen präferiert werden, die sowohl der Anpassung dienen, als auch zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen beitragen. Dadurch wird gewährleistet, dass diese Maßnahmen auch dann noch genauso sinnvoll sind, wenn die Folgen des Klimawandels in einer schwächeren Ausprägung, als ursprünglich erwartet, auftreten.

Bei der Planung und Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen steht das Thema Mobilität häufig im Zentrum der Aktivitäten. Durch die Kombination mit Anpassungsmaßnahmen ist es möglich Synergien zu nutzen, wodurch die politische Durchsetzbarkeit der Maßnahmen zusätzlich unterstützt wird. Ein Beispiel hierfür ist die Veränderung des Mobilitätsverhaltens mit dem Ziel, die CO₂-Emissionen zu senken. Dies kann durch die Stärkung des Radverkehrs und dessen Verknüpfung mit dem klimaneutralen, öffentlichen Personennahverkehr erfolgen. Als Maßnahmen könnten die Verwendung hellerer Fahrbahndecken zur Minderung der Aufheizung insbesondere in den Sommermonaten und/oder die Beschattung von Wartepositionen, beispielsweise an Bushaltestellen, durch mit Photovoltaikanlagen besetzte Überdachungen das Gesamtkonzept weiter stützen.

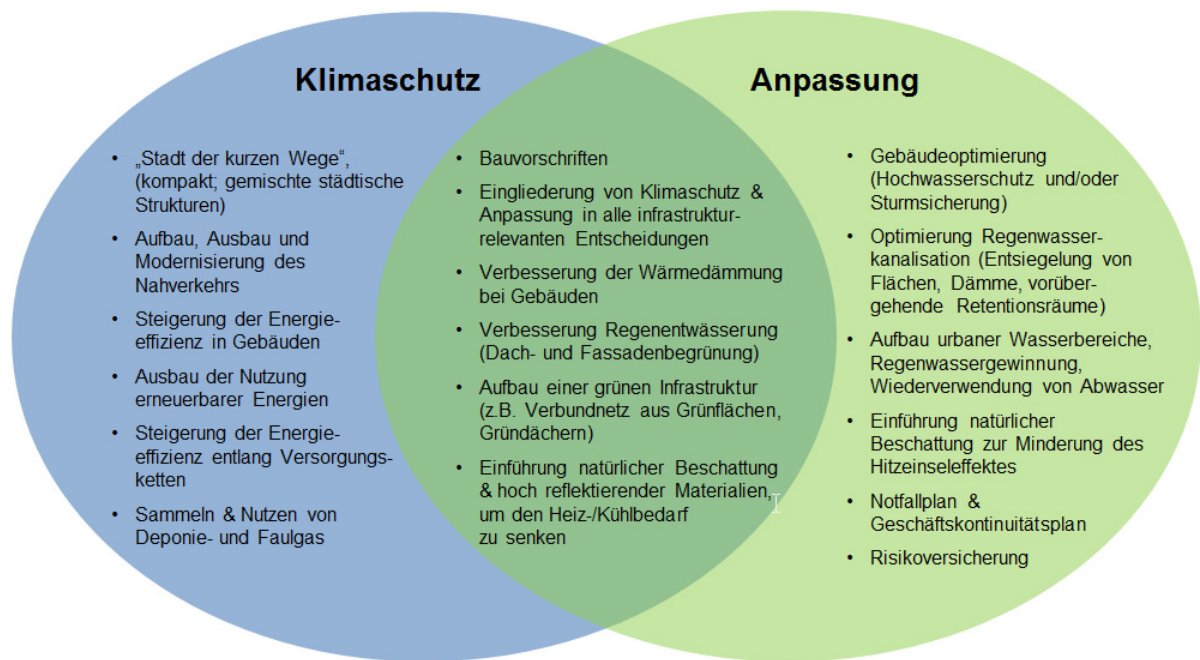


Abb. 10 Gegenüberstellung von Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen sowie Maßnahmen mit Synergieeffekten (im Überschneidungsbereich) (GERICS & KfW 2015, verändert).

Auch bei der Stadtplanung und Stadtentwicklung lassen sich Klimaschutz- und Anpassungskonzepte gut miteinander verbinden. So kann der Altbestand durch Sanierungs- beziehungsweise Rückbaumaßnahmen den Klimaschutz unterstützen. Im Neubau dagegen kann die energetische oder solare Optimierung der Planung durch Südausrichtung der Baukörper, Fenster und Dächer, die gegenseitige Beschattung oder die Entwicklung und Verbesserung der Funktionsfähigkeit von Kaltluftschneisen sowohl der Anpassung (Minderung des Hitzeinseleffektes) wie auch dem Klimaschutz (Minderung des Einsatzes von Klimaanlage) zugutekommen.

Methodischer Ansatz

Bei der Erweiterung des Klimaschutzes um Anpassungskomponenten ist es zunächst erforderlich, alle aktuell wie auch zukünftig beteiligten Akteure (Umweltamt, Planungsämter, Amt für Stadtgrün, Wasserver- und -entsorger, Stromversorger, etc.) von Anfang an in den Prozess einzubinden, um eine möglichst vollständige Betrachtung des Ist-Zustandes des Gesamtsystems zu ermöglichen. Da bei vielen Fragestellungen auch die Einzugsgebiete von Luft- und Wassersystemen von Bedeutung sind, muss Analyse über die Betrachtung des Stadtgebiets hinausreichen.

3.11. Modulgruppe „Thermisches Wohlbefinden und Wohnumfeld“



Mit einer wachsenden Stadtbevölkerung geht eine immer größer werdende Flächen-nutzung im Stadtgebiet einher. Dadurch sinken die Anteile naturnaher Flächen, wohingegen die Anteile an künstlichen Oberflächen und Gebäuden steigen. Dieser Eingriff verstärkt zum einen den urbanen Wärmeinseleffekt und verringert zum anderen den natürlichen Regenwasserrückhalt. Die Kombination aus der wachsenden Urbanisierung und den Folgen des Klimawandels stellt jedoch Entscheidungsträger auf lokaler, nationaler und internationaler Ebene vor große Herausforderungen (Bender et al. 2016).

Wegen der verbesserten Lebensbedingungen und Gesundheitsversorgung steigt die mittlere Lebenserwartung in Deutschland seit vielen Jahrzehnten. Der Anteil der über 65-jährigen an der Gesamtbevölkerung wird nach Angaben des Statistischen Bundesamtes von 21% (2009) auf 29% (2030) bzw. 34% (2060) ansteigen. Mit der Zahl der älteren Menschen steigt auch die Zahl derer, die durch extreme Belastungen, wie sie durch Hitzewellen verursacht werden, betroffen sind. Vor dem Hintergrund der projizierten Klimaerwärmung nimmt die Gefährdung insbesondere in Städten zu, so dass auch Maßnahmen zur Anpassung ergriffen werden müssen.

Bis Mitte des 21. Jahrhunderts werden sich weltweit die meisten in Metropolen lebenden Menschen auf eine Erhöhung der jährlichen Durchschnittstemperatur einstellen müssen. Für Kontinentaleuropa zeigen die Ergebnisse der EURO-CORDEX Initiative für 2071-2100 (im Vergleich zur Periode 1971-2000) einen robusten und signifikanten Anstieg der mittleren jährlichen Temperatur (+1,6° bis +3,2°C für RCP 4.5 bzw. +3,7° bis +5,2°C für RCP 8.5) (Jacob et al. 2014). Aufgrund des Wärmeinsel-Effekts wird der Temperaturanstieg in den Städten allerdings noch höher ausfallen. Durch eine klimagerechte und klima-angepasste Stadtplanung hat der Mensch jedoch die Möglichkeit, die negativen Auswirkungen des Klimawandels auf das Stadtklima zu reduzieren und das innerstädtische Mikroklima so zu beeinflussen, dass eine Überhitzung reduziert werden kann. Hinsichtlich der Hitzebelastung lassen sich in der Stadtklimatologie zwei wesentliche Problemfelder identifizieren: 1) ungünstige Wechselwirkungen zwischen der Bebauungsstruktur und den lokalen Windverhältnissen sowie 2) eine kritische thermische Situation in der Stadt, hervorgerufen durch fehlende Verdunstungsmöglichkeiten und das zum Teil hohe Wärmespeichervermögen von Gebäuden und der Bodenoberfläche.

Mit Hilfe dieses Moduls können derzeitige und zukünftige Hitze-Hotspots in Stadtquartieren identifiziert und Maßnahmen zur Regulierung des Mikroklimas aufgezeigt werden. Die Modellsimulationen berechnen und analysieren die Auswirkungen dieser Maßnahmen auf das städtische Mikroklima, frei von der finalen Beurteilung, ob die angenommene Maßnahme an diesem speziellen Punkt faktisch auch durchführbar wäre (Bruse et al. 2014). Die Ergebnisse können mit denen aus der Modulgruppe „Klimaangepasste Stadtentwicklung“ kombiniert werden, um praxisorientierte Anpassungsmaßnahmen zu entwickeln.

Methodischer Ansatz am Beispiel einer ausgewählten Stadt

Für die Simulation der Lage von Hot-Spots sowie der Auswirkungen möglicher baulicher Veränderungen (Einsatz von Wasserflächen oder urbanem Grün, bauliche Eingriffe, etc.) wird in einem ersten Ansatz die Software ENVI-met (Version V4.0, Consulting Version der WSGreen Technologies GmbH) verwendet. In Abstimmung zwischen GERICS, den Modellierern sowie den beteiligten kommunalen Behörden erfolgt die Auswahl des zu bearbeitenden urbanen Stadtviertels (hier: 500 m x 636 m), das mit einer Auflösung von 2,5 m x 2,5 m in ein ENVI-met Computermodell überführt wird (Abb.11). Im vorliegenden Fallbeispiel werden in der vertikalen Richtung 20 Gitterzellen zu je 2 m verwendet, wobei die unterste Zelle zusätzlich eine Unterteilung in 5 Teilzellen zu je 40 cm Höhe aufweist. Da das gewählte Stadtviertel unterschiedliche Bebauungstypen aufweist, können Ergebnisse gedanklich auch auf andere Quartiere der Stadt übertragen werden.

Zur Modellerstellung wurde ein Luftbild von Google Maps verwendet, das zu Zeitpunkt der Modellierung vorgehalten war (hier: Stand Mai 2014). Zusätzlich wurden folgende Datenquellen als Ergänzung verwendet: Microsoft Bing, Open Street Map und städtische Bebauungspläne.

Für die Digitalisierung der Vegetation werden, basierend auf dem Kartenmaterial, die am besten passenden Standardbäume der ENVI-met Datenbank verwendet. Liegen keine genauen Angaben zu Oberflächen und Bodentypen vor, wird auf die erprobten Standardmaterialien von ENVI-met zurückgegriffen. Als meteorologische Eingangsgrößen dienen 24-Stunden-Profile der Lufttemperatur (in 2 m Höhe) und relativen Feuchte sowie von Windrichtung und Windgeschwindigkeit für „heute“ und für das „zukünftige Szenario“. Die Berechnung erfolgt auf Basis von Beobachtungs- und Modelldaten (vgl. 3.3.2.).

Für das gewählte Fallbeispiel wurden nach der Modellkalibrierung bzw. Optimierung des Laufzeitverhaltens drei Simulationen (Tab.4) für den statischen bzw. dynamischen thermischen Komfort durchgeführt. Das Ergebnis ist ein Vergleich des Ist-Zustandes mit dem Zustand für das Jahr 2050. Neben dem Identifizieren der Hot-

Spots wurden ebenfalls die Auswirkungen spezieller Anpassungsmaßnahmen (Stadtbäume, Wasserflächen, baulichen Veränderungen, etc.) visualisiert (Abb.12).



Abb. 11 ENVI-met-Modell des Quartiers heute (links) und Modellgebiet mit vorgeschlagenen Anpassungsmaßnahmen (rechts)

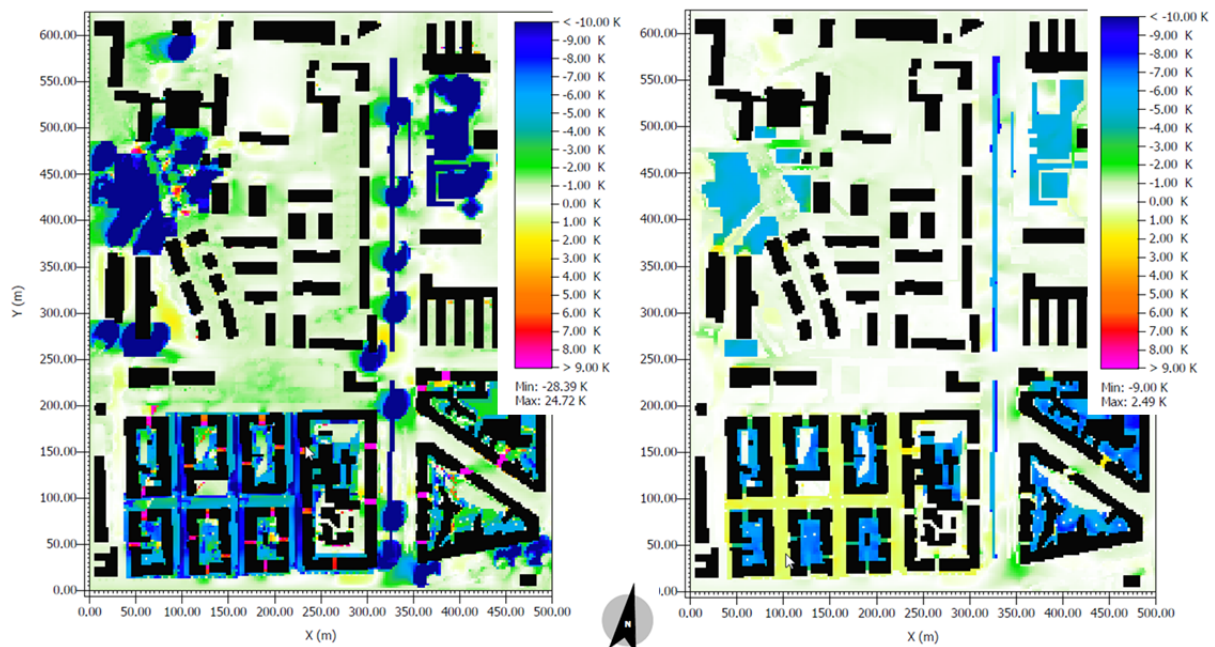


Abb. 12 ENVI-met-Darstellungen der Änderungen bei der absoluten Oberflächentemperatur zwischen der Situation 2050 mit und ohne Anpassungsmaßnahmen für 14:00h (links) und 22:00h (rechts).

Tab. 4 Modellaufbau (Simulationsdatum 15.07.)

Simulationsszenarien	Beschreibung
„Situation heute“	Warmer Sommertag: Genügend Wasser, urbane Form wie heute
„Situation 2050: ohne Umgestaltungen“	Heißer Sommertag innerhalb einer Hitzeperiode, wenig Bodenwasser
„Situation 2050: mit Umgestaltungen“	Heißer Sommertag innerhalb einer Hitzeperiode, wenig Bodenwasser

Lessons-learned

Mit dem vorliegenden Modul konnte gezeigt werden, inwieweit sich der globale Klimawandel auf das Stadtklima der Zukunft auswirkt und welche städtebaulichen Maßnahmen geeignet wären, eventuelle zukünftige Beeinträchtigungen zu mildern. Der relativ einfache Ansatz eignet sich insbesondere zur Visualisierung zukünftiger Hot Spots sowie zum Aufzeigen der Effektivität von Anpassungsmaßnahmen zur Erhöhung des thermischen Wohlbefindens in einem Stadtviertel. Dabei steht nicht das genaue Ausmaß der Temperatursenkung durch einzelne Maßnahmen im Vordergrund, sondern vielmehr das Aufzeigen potenzieller Herausforderungen und Lösungsansätze, damit der Anpassungsgedanken bei weiteren Planungen mitgedacht wird.

Ein Großteil der am vorliegenden Beispiel simulierten Anpassungsmaßnahmen ist „minimal-invasiv“: hierbei handelt es sich um Baumneupflanzungen oder das Anlegen neuer Wasserelemente. Zusätzlich wurde die Situation in offenen Hinterhofstrukturen simuliert, um insbesondere für zukünftige Bauprojekte deren Vorteile gegenüber einer geschlossenen Struktur zu zeigen.

3.12. Modulgruppe „Monitoring und Qualitätskontrolle“



Anpassungsstrategien und -maßnahmen müssen flexibel ausgelegt sein, um auf die gesamte Bandbreite möglicher Entwicklungen in ökologischer, ökonomischer, sozialer und klimatologischer Hinsicht durch Nachjustierung reagieren zu können. Eine Anpassungsstrategie, deren einzelne Maßnahmen jeweils mit einem Monitoringsystem gekoppelt sind, kann in ihrer Effizienz validiert und gegebenenfalls an die sich wandelnden Erfordernisse angepasst werden, um die knappen Ressourcen zielorientiert einsetzen zu können (Wattendorf et al. 2012).

Die Erstellung und Umsetzung eines Monitoringkonzeptes erfolgt jeweils in enger Abstimmung mit regionalen oder lokalen Experten für die zu betrachtenden Sektoren und Handlungsfelder. Dazu können bereits heute erfasste wie auch neue Indikatoren verwendet werden. Prinzipiell müssen geeignete Indikatoren einen möglichst engen Bezug zum Thema Klimawirkungen und Anpassung haben, wissenschaftlich akzeptiert sein, das Gefüge von Ursache und Wirkung erkennen lassen, Zusammenhänge zwischen Einflüssen und Anpassungsmaßnahmen deutlich machen und sich aus verfügbaren Daten ableiten lassen (Schönthaler et al. 2011). Da es sich bei der Klimaanpassung um ein Querschnittsthema handelt, sollte zudem klar definiert sein, wo die Zuständigkeiten für das langfristige Monitoring liegen, (beispielsweise im Umweltamt, in der Stadtverwaltung oder angegliedert an eine Behörde für den kommunalen Klimaschutz).

Die zuständigen Sachbearbeiter der einzelnen Module sind dafür verantwortlich, dass die jeweiligen Fragestellungen mit der bestmöglichen Methodik bearbeitet werden. Dabei kann sowohl auf die in der Praxis üblichen Ansätze, wie auch auf geprüfte neue Verfahren zurückgegriffen werden.

3.13. Modulgruppe „Schnittstelle zum Unternehmensbaukasten“



Diese Modulgruppe bildet die Brücke zum GERICS-Unternehmensbaukasten, dem prototypischen Unterstützungsangebot für Unternehmen, um Standorte, Lieferketten, interne Prozesse sowie gesamte Geschäftsmodelle proaktiv und rechtzeitig an die Folgen des Klimawandels anpassen zu können.

Der Klimawandel und seine Folgen haben wie bei Städten auch bei Unternehmen zunehmend strategische und operative Auswirkungen, die den Standort aber auch die gesamte Wertschöpfungskette betreffen können. Eine proaktive Auseinandersetzung mit den Auswirkungen des Klimawandels bietet zudem die Gelegenheit auch daraus resultierende wirtschaftliche Chancen rechtzeitig zu identifizieren und wirksam für das eigene Geschäftsmodell zu nutzen. Die Verbindungen zwischen dem Stadt- und Unternehmensbaukasten sind hier die Unternehmensstandorte im urbanen Raum, die sowohl von der klimawandeltauglichen Stadtentwicklung, als auch von den Veränderungen des urbanen Wasserkreislaufs oder der zunehmende Urbanisierung und deren Folgen gleichermaßen betroffen werden. Somit können Synergien genutzt werden, die sowohl für die Stadt als auch das Unternehmen hilfreich sind.

4. Der GERICS-Stadtbaukasten in der Praxis

Städte sind sehr komplexe Systeme, in denen sowohl klimatische als auch nicht-klimatische Treiber sowie deren gegenseitigen Wechselwirkungen zu beachten sind (Climate Service Center Germany & KfW Development Bank 2015). Die Planung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen wird dabei insbesondere durch das Zusammenspiel verschiedener Infrastrukturelemente – wie beispielsweise aus den Bereichen Energie, Abwasser, Trink- und Brauchwasser, Transport und Logistik – sowie durch die Vielzahl existierender administrativer Prozesse beeinflusst, die es zu berücksichtigen gilt (Bender et al. 2017b).

Im Bereich der Stadtentwicklung ist die Bauleitplanung das wichtigste Planungswerkzeug. Das Verfahren (B-Plan-Verfahren) wird zweistufig vollzogen. In der ersten Phase (vorbereitende Bauleitplanung) wird ein Flächennutzungsplan für das gesamte Gemeindegebiet, in der zweiten Phase (verbindliche Bauleitplanung) werden Bebauungspläne für räumliche Teilbereiche aufgestellt. Bei der Bauleitplanung müssen zum einen die Ziele der Raumordnung, die sich aus Raumordnungsplänen ergeben, beachtet werden. Zum anderen stellt das Baugesetzbuch (BauGB) Anforderungen dahingehend, dass beispielsweise bei der Aufstellung der Bauleitpläne „die Belange des Umweltschutzes, des Naturschutzes und der Landschaftspflege, insbesondere des Naturhaushaltes, des Wassers, der Luft und des Bodens einschließlich seiner Rohstoffvorkommen sowie das Klima“ zu berücksichtigen sind (§ 1 BauGB).

Um umweltrelevante Vorhaben vor ihrer Zulassung auf mögliche Umweltauswirkungen hin zu überprüfen, findet die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) statt, die folgende Grundelemente beinhaltet: Screening-Prozess, Scoping Prozess, Erstellung eines Umweltberichtes, Öffentlichkeitsbeteiligung, Behördenbeteiligung, Beteiligung von Trägern öffentlicher Belange und die Entscheidung über die Zulässigkeit des Vorhabens. Auch wenn Klimafolgen und die Anpassung an die Folgen des Klimawandels formal durch die Revision der UVP-Richtlinie (2014/52/EU) in Planungen einbezogen werden müssen (Umsetzung der Revision bis zum 16. Mai 2017), gibt es bis heute keine klaren Vorgaben, wie dies genau vollzogen werden soll.

Eine Möglichkeit der Umsetzung wäre die Implementierung des GERICS-Stadtbaukastens in bestehende administrative Prozesse. Beispielhaft sei dies an der Nutzung von Synergieeffekten zwischen dem B-Plan-Verfahren und der Umweltverträglichkeitsprüfung gezeigt: Hierzu nutzt der Stadtbaukasten verschiedene, bereits vorhandene Schnittstellen, um so in die beiden Prozessketten integriert werden zu können. Beide Prozesse werden nur geringfügig beeinflusst, und zwar durch die Erweiterung um die Komponenten „ortsspezifische Klimainformationen“, „Klimawandeltauglichkeit“ und „Anpassung an die Folgen des Klimawandel (Abb.13).

Die Nutzung der Synergien kompensiert den Verwaltungsmehraufwand, so dass die Hemmnisse auf Basis knapper personeller und finanzieller Ressourcen in den Städten und Kommunen nicht zusätzlich verstärkt werden.

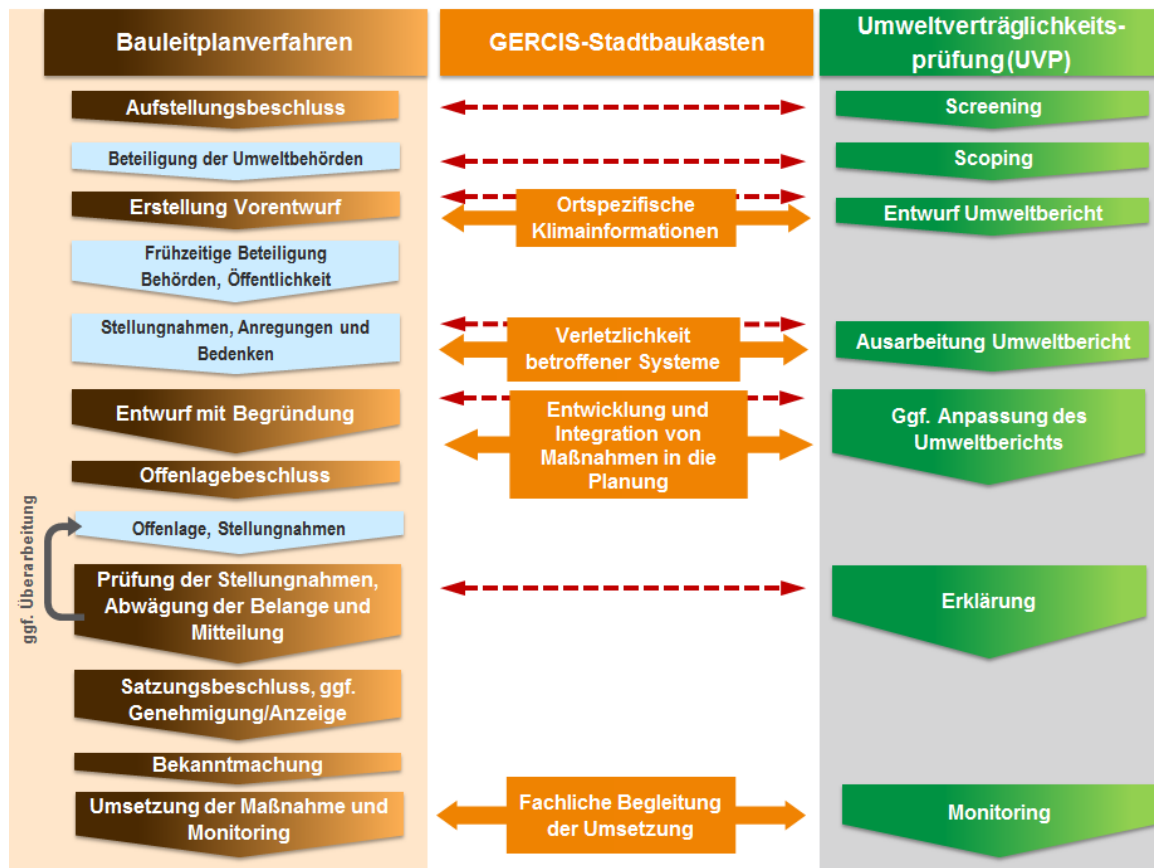


Abb. 13 Einbindung von Modulen des GERICIS-Stadtbaukastens in bestehende administrative Prozesse

Neben diesen institutionellen Hemmnissen stellt die Lücke zwischen dem wissenschaftlichen Anspruch der Bereitstellung des besten und umfassendsten Stands der Wissenschaft und der Umsetzbarkeit unter Realbedingungen oftmals eine weitere Barriere dar, die die Implementierung von Anpassungsmaßnahmen in das Tagesgeschäft der Kommunen behindern kann (Groth & Nuzum 2016). Die Wissenschaft bietet, getrieben durch die eigenen hohen Qualitätsansprüche, oftmals komplexe Lösungsansätze an, die die Nutzerseite aus vielfacher Hinsicht in der Praxis jedoch nicht umsetzen kann. Dabei treten in der Regel folgende Schwierigkeiten auf: a) die bereitgestellten Produkte sind nicht nutzerfreundlich, b) die Dokumentation zum Produkteinsatz ist unzureichend, c) die wissenschaftlich gewünschten Eingangsparameter liegen nur teilweise vor oder können nicht erhoben werden, d) die gelieferten Ergebnisse des entwickelten Produktes beantworten nur unzureichend die von der Praxisseite gestellten Fragen (Bender et al. 2017). Um diese Hemmnisse zu überwinden, sind vor allem zwei Dinge notwendig: ein Zeithorizont, der deutlich über die normalerweise vorgesehene Länge von

Forschungsprojekten hinaus geht sowie ein regelmäßiger Austausch zwischen den beteiligten Wissenschaftlern und den Praxisakteuren. Dabei müssen die Nutzbedarfe genau identifiziert und die bestehenden Rahmenbedingungen – wie Daten- und Wissensstand, verfügbare Ressourcen und Vorarbeiten – abgefragt werden. Ebenso gilt es von Seiten der Wissenschaftler eindeutig zu klären, welche Fragestellungen beantwortet werden können und wo die Forschung zum derzeitigen Zeitpunkt noch keine robusten Aussagen zulässt.

GERICS übernimmt hierbei mit seinem Stadtbaukasten den Part der Schnittstelle zwischen der Wissenschaft und den Entscheidungsträgern der Stadt. Aus dem Blickwinkel des komplexen Stadtsystems übernimmt der Stadtbaukasten darüber hinaus die Funktion einer Schnittstelle zwischen den Handlungsfeldern, die von den Folgen des Klimawandels betroffen werden, und zwischen den zuständigen Behörden und Ämtern von der regionalen bis zu nationalen Ebene. Durch das Hinzuziehen dieser unterschiedlichen Netzwerke ist es möglich, wissenschaftlich fundierte und praxistaugliche Anpassungsoptionen zu erarbeiten, die auf einer Datenbasis beruhen, die vor-Ort abgerufen werden kann. Aus den gemeinsam erarbeiteten Vorschlägen kann in einem weiteren Schritt, nach Abwägung kommunaler Interessen, das Maßnahmenpaket gewählt werden, das einerseits die höchste Akzeptanz und andererseits die beste Anpassung an die identifizierten Folgen des Klimawandels bietet (Abb. 14).

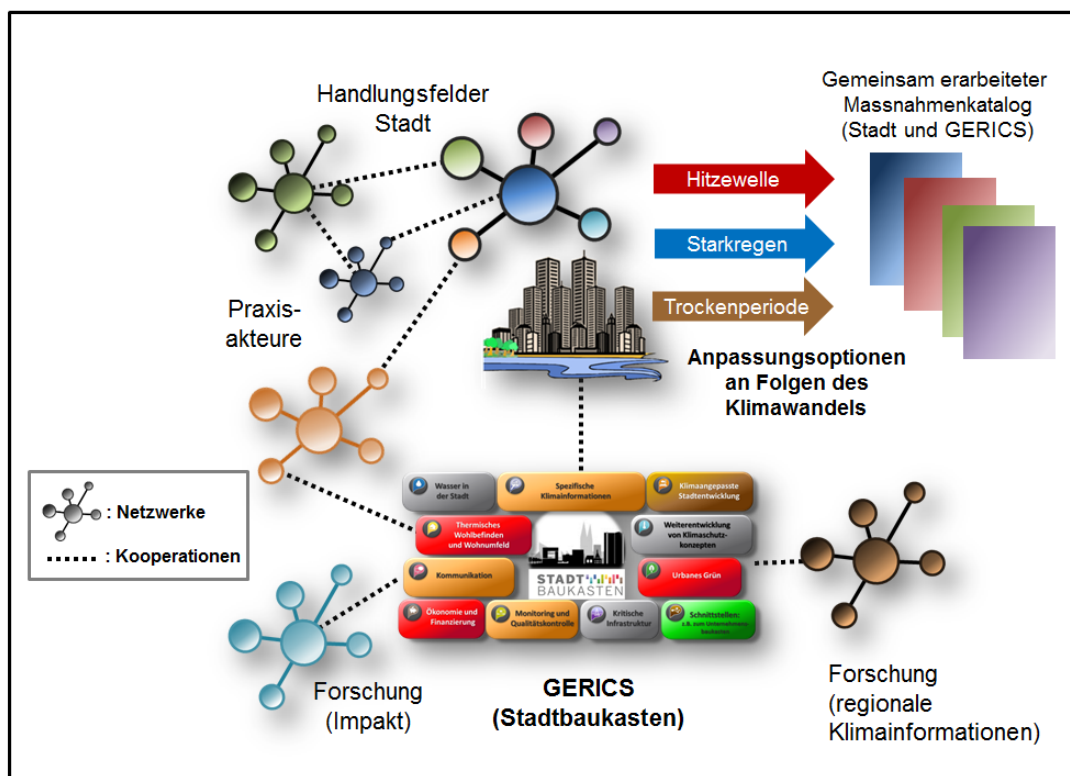


Abb. 14 Die Schnittstellenfunktion des GERICS-Stadtbaukastens

5. Fazit

Die bisherigen Einsätze des GERICS-Stadtbaukasten haben gezeigt, dass die größten Vorteile dieses Beratungsangebotes darin bestehen, dass in Abhängigkeit des vorhandenen Wissens und der zugänglichen stadtspezifischen Informationen die einzelnen Module leicht an die jeweiligen Bedingungen angepasst werden können. Dies kommt insbesondere der Übertragbarkeit von prototypisch neu-entwickelten Methoden und Lösungsansätzen zu Gute.

Einen weiteren Pluspunkt bildet die Erweiterbarkeit des Modulinventars. Dadurch wird gewährleistet, dass durch das Co-Development und Co-Design mit kommunalen Entscheidungsträgern und lokalen Experten (wie Städteplanern, Wasser- und Energieversorgern, etc.) lokales Wissen – wie Gefährdungs- und Konfliktpotentiale sowie relevante Beobachtungen – in die Module integriert werden kann. Dabei können die Module sowohl von der Kommune und ihren Experten, externen Partnern und Auftragnehmern aber auch in allen erdenklichen Kooperationen bearbeitet werden. Diese flexible Vorgehensweise dient der Verbesserung des integrativen Systemverständnisses, da aus allen notwendigen Bereichen die unterschiedlichen Expertisen in die Stadtbaukastenmodule einfließen können. Dies kommt nicht nur dem Erfolg des Projektes zu Gute sondern sorgt durch den lokalen und individuellen Charakter auch für eine Erhöhung der Akzeptanz.

Im Gegensatz zur Nachahmung von Good- oder Best-Practice-Ansätzen – die in vielen Fällen nicht immer lückenlos dokumentiert sind und häufig auf große finanzielle und personelle Ressourcen zurückgreifen – basiert die Anwendung des GERICS-Stadtbaukastens auf der Analyse des vorhandenen Dateninventars sowie der kommunalen Bedarfe in Hinblick auf zu bearbeitende Handlungsfelder beziehungsweise die zu klärenden Fragestellungen. Durch die sektorenübergreifende Analyse ist es möglich, schon frühzeitig einen ersten Modulrahmen abzustecken, genauer, welche Module zunächst bearbeitet werden sollen. Durch das Feststellen von Verfügbarkeit und Aussagekraft vorhandener Daten ist es zudem möglich, den Detaillierungsgrad der Bearbeitung schon frühzeitig festzulegen. Denn nicht immer ist es notwendig, hochwissenschaftliche Arbeiten vorzulegen. In vielen Fällen ist ein einfacher Ansatz, mit dem beispielsweise Hotspots identifiziert werden, für das Tagesgeschäft einer Kommunen deutlich hilfreicher.

In Bezug auf die Verwendung von Klimainformationen, um daraus Anpassungsstrategien und –maßnahmen abzuleiten, zeigt die Praxis, dass bis heute der Einsatz eines Ensembles von Klimasimulationen nur unzureichend berücksichtigt wird. Als Folge dessen, wird in vielen Fällen falschen Trends vertraut und daraus Maßnahmen abgeleitet, die mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht zum gewünschten Ziel führen werden. Im Gegensatz dazu basiert die Bearbeitung von Fragestellungen mit den Modulen des GERICS-Stadtbaukastens auf der Verwendung eines möglichst großen

Ensembles von Klimasimulationen, um damit die gesamte Bandbreite möglicher zukünftiger Entwicklungen abbilden zu können. Nur damit kann gewährleistet werden, dass alle möglichen Entwicklungen in die Planung von Maßnahmen einfließen können. Bei allen Ansätzen wird stets darauf geachtet, dass Maßnahmen, die den Klimaschutz und die Anpassung gleichermaßen begünstigen, die höchste Priorität haben.

Durch das auf Dialog und Kommunikation basierende Konzept des GERICS-Stadtbaukastens, wird im Gegensatz zu anderen Anpassungskonzepten, allen beteiligten Akteuren von Anfang verdeutlicht, dass die Umsetzung von Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels einen langwierigen Prozess darstellt und dass mit der Erstellung einer Anpassungsstrategie die Anpassung der Kommune keinesfalls abgeschlossen ist. Erst durch die weiteren Schritte zur Ausgestaltung und praktischen Umsetzung konkreter Anpassungsmaßnahmen ist es möglich, eine Stadt oder Kommune dauerhaft klimawandeltauglich aufzustellen.

6. Literatur

- Adger, W.N., Agrawala, S., Mirza, M.M.Q., Conde, C., O'Brien, K.L., Pulhin, J., Pulwarty, R., Smit, B. & Takahashi, K. (2007): Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity. - Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 717-743.
- Akbari, H., Cartalis, C., Kolokotsa, D., Muscio, A., Pisello, A.L., Rossi, F., Santamouris, M., Synnefa, A., Wong, N.H. & Zinzi, M. (2016): Local climate change and urban heat island mitigation techniques – the state of the art. - Journal of Civil Engineering and Management, 22 (1), pp. 1–16.
- Bender, S., Brune, M., Cortekar, J., Groth, M. & Remke, T. (2017a): Klimaresiliente Kompensationsmaßnahmen – Analyse der zukünftigen Funktionstüchtigkeit von Ausgleichsmaßnahmen am Beispiel der Stadt Kiel. – GERICS-Report 32.
- Bender, S., Brune, M., Cortekar, J. & Groth, M. (2017b): Klimaanpassung im Stadtsystem – der GERICS-Stadtbaukasten als Brücke zwischen Wissenschaft und Praxis. – In: IWARU: Wasser in Deine Stadt von morgen, Tagungsband Wassertage Münster 2017, 21-26, [Hrsg.: Institut für Wasser-Ressourcen-Umwelt].
- Bender, S., Cortekar, J., & Jacob, D. (2016): Klimaresiliente Stadt - Was sagen Klimamodell-Projektionen über die Zukunft von Städten aus und wie können Städte diese Zukunft beeinflussen und meistern? - Gewässerschutz – Wasser – Abwasser, 239, 32/1 - 32/14.
- Bender, S. & Jacob, D. (2016): Die Aussagekraft von Klimaprojektionen für zukünftige Herausforderungen der Trinkwasserversorgung in Deutschland. – gwf-Wasser/Abwasser, 04/2016, 362-368.
- Berardi, U., Ghaffarian Hoseini, A. & Ghaffarian Hoseini, A. (2014): State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. - Applied Energy, 115, pp. 411–428.
- Birkmann, J. (2013): Verwundbarkeitsassessment gegenüber Hochwasserereignissen auf kommunaler Ebene. - In: Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (Hrsg.): Abschätzung der Verwundbarkeit gegenüber Hochwasserereignissen auf kommunaler Ebene. Band 4. Auflage: 08/2013. Bonn. S. 14-23.
- Birkmann, J., Vollmer, M., Wolferatz, J. & Welle, T. (2011): Verwundbarkeit der Bevölkerung gegenüber Hochwasserereignissen. - In: Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (Hrsg.): Indikatoren zur Abschätzung von Vulnerabilität und Bewältigungspotenzialen am Beispiel von wasserbezogenen Naturgefahren in urbanen Räumen. Band 13, S. 95-194.
- BKR Aachen, AKNW & RWTH Aachen (2014): Anpassungskonzept an die Folgen des Klimawandels im Aachener Talkessel. - Bericht, 49 S.
- BMI (2009): Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen (KRITIS-Strategie). - <http://www.bmi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/2009/kritis.html> (17.06.2009), [Hrsg. Bundesministerium des Innern]. (Stand: 12/2016).
- BMVBS (2010): Klimawandel als Handlungsfeld der Raumordnung: Ergebnisse der Vorstudie zu den Modelvorhaben „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“. - Schriftenreihe Forschungen Heft 144, 121 S. [Hrsg. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin].

- Brasseur, G.P., Jacob, D. & Schuck-Zöller, S. [Hrsg.] (2017): Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. – 368 S.
- Brune, M. (2016): Urban trees under climate change. Potential impacts of dry spells and heat waves in three German regions in the 2050s. – GERICS-Report 24. 128 S.
- Bruse, M. (2014): Adaption an Klimawandel: Mikroklimasimulationen zur Analyse von Hitzestress in urbanen Räumen und mögliche Adaptionstrategien am Beispiel der Stadt Kiel. – unveröffentl. Projektabschlussbericht, 31 S.
- Bruse, M. (2007): Simulating human thermal comfort and resulting usage patterns of urban open spaces with a Multi-Agent System. - In: Wittkopf, St. & Tan, B. K. (eds.): Proc. of the 24th International Conference on Passive and Low EnergyArchitecture PLEA, p.699-706.
- Bruse, M. & Fleer, H. (1998): Simulating Surface- Plant-Air Interactions Inside Urban Environments with a Three Dimensional Numerical Model. - Environmental Software and Modelling, (13), 373-384.
- BUE (2016): Der Klimawandel ist schon Realität! Chancen, Risiken und Maßnahmen für Hamburger Unternehmen. – Broschüre, 23 S., [Hrsg. Freie und Hansestadt Hamburg Behörde für Umwelt und Energie].
- Bürger, S. (2016): Vulnerabilitätsindex von Stadtteilen hinsichtlich Hochwasserereignissen am Beispiel der Hansestadt Kiel – unveröffentl. Hausarbeit, Universität Leuphana, 18 S.
- Certic GmbH (2013): Wir machen Menden – fit für den Klimaschutz – Integriertes Klimaschutz- und Klimaanpassungskonzept für die Stadt Menden. - Endbericht, 180 S.
- Climate Service Center Germany & KfW Development Bank (2015): Climate Focus-Paper: Cities and Climate Change, 10 p., Hamburg und Frankfurt am Main.
- Climate Service Center 2.0 (2014): Gesundheit und Klimawandel. – Broschüre, 31 S.
- Cortekar, J., Bender, S., Brune, M. & Groth, M., (2016): Why climate change adaptation in cities needs customised and flexible climate services. – Climate Services, 4 (2016), 42-51, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cliser.2016.11.002>.
- Damm, T. (2015). Eco-Cities vs. Ökostädte: Differences and Similarities. University of Westminster. Online: https://www.westminster.ac.uk/__data/assets/pdf_file/0007/374713/eco-cities-vs-oekostaedte-teresa-damm.pdf. (Stand: 12/2016).
- Dee, D.P., Uppala, S.M., Simmons, A.J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M.A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A.C.M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A.J., Haimberger, L., Healy, S.B., Hersbach, H., Holm, E.V., Isaksen, L., Kallberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A.P., Monge-Sanz, B.M., Morcrette, J.-J., Park, B.-K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J.-N. & Vitart, F. (2011): The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. - *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **137**: 553–597. DOI:10.1002/qj.828
- Die Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen. URL: http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf. (Stand: 12/2016).
- DWD (2015): Zahlen und Fakten zum Klimawandel in Deutschland – Klima-Pressekonferenz des Deutschen Wetterdienstes am 10. März 2015 in Berlin.

DWD (2016a) Das Klima in Deutschland 2015. - Klimapressekonferenz des Deutschen Wetterdienstes (DWD) am 8. März 2016 in Berlin.

DWD (2016b): Klimastatusbericht 2014, 94 S.

ECONADAPT (2015): The Costs and Benefits of Adaptation: Results from the ECONADAPT Project. Editor Watkiss, P. Published by the ECONADAPT consortium, 54 S.

Endler, C. & A. Matzarakis (2008): Climatic tourism potential in the North Sea and Black Forest region – a comparison between REMO and DWD data. - Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg, 17: 179-189.

FBF (2006): Kombinationslösungen Dachbegrünung - Photovoltaik – Brauchwassernutzung, pp. 1–4.

Fichtner, C., Savelsberg, J. & Buth, M. (2014): Kritische Infrastrukturen im Klimawandel. Verwundbarkeit und Anpassung – Forschung des Netzwerkes Vulnerabilität. - In: BBK Bevölkerungsschutz 04/2014, S. 14-17.

Friedrich, M., Grätz, A. & Jendritzky, G. (2001): Further development of the urban bioclimate model UBIKLIM, taking local wind systems into account. - Meteorol. Zeitschrift. 10 (4): 267–272

Gebhardt, O., Kumke, S. & Hansjürgens, B. (2011): Kosten der Anpassung an den Klimawandel – Eine ökonomische Analyse ausgewählter Sektoren in Sachsen-Anhalt. - UFZ-Bericht 05/2011, 142 S.

GEO-NET Umweltconsulting GmbH (2012): Stadtklimatische Bestandsaufnahme und Bewertung für das Landschaftsprogramm Hamburg Klimaanalyse und Klimawandel-szenario 2050. – Abschlussbericht 70 S.

GERICS (2017): Standort-charakteristisches Climate-Fact-Sheet Hafen Hamburg. – unveröffentl. Climate-Fact-Sheet, 11 S.

GERICS & KfW (2015): Climate-Focus-Paper: Cities and Climate Change, 10 p. [Hrsg. Climate Service Center Germany and KfW Development Bank].

Groth, M. & Nuzum, A.-K. (2016): Informations- und Unterstützungsbedarf von Kommunen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels. - GERICS-Report 25, 57 S.

Groth, M., Brück, M. & Oberascher, T. (2015): Climate change related risks, opportunities and adaptation actions in European cities – Insights from responses to the CDP cities program, Univ. of Lüneburg Working Paper Series in Economics, No. 347, October 2015.

Hanebeck, K., Lahner, C., Knieling, J. & Siepe, B. (2013): Integriertes Klimaschutz- und Klimaanpassungskonzept für die Gemeinde Bönen. – Report 111 S.

Hartmann, D.L., Klein Tank, A.M.G., Rusticucci, M., Alexander, L.V., Brönnimann, S., Charabi, Y., Dentener, F.J., Dlugokencky, E.J., Easterling, D.R., Kaplan, A., Soden, B.J., Thorne, P.W., Wild, M. & Zhai, P.M. (2013): Observations: Atmosphere and Surface.- In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. 159 – 254.

Heuson, C., Gawel, E., Gebhardt, O., Hansjürgens, B., Lehmann, P., Meyer, V. & Schwarze, R. (2012): Ökonomische Grundfragen der Klimaanpassung-Umriss eines neuen Forschungsprogramms. – UFZ-Bericht 02/12, 91 S.

- Hoffmann, E., Gebauer, J., Dunkelberg, E., Hirschfeld, J., Hirschl, B., Rotter, M., Stegnitz, A., Wurbs, S., Lotz, W. & Welp, E. (2011): Stakeholder-Dialoge: Chancen und Risiken des Klimawandels – UBA Climate Change 03/2011, 176 S.
- HSY (2012): Helsinki Metropolitan Area Climate Change Adaptation Strategy. - Helsinki Region Environmental Services Authority. – HRM:s publikationer 11/2012, 30 S.
- Hui, S.C.M. & Chan, S.C. (2011): Integration of green roof and solar photovoltaic systems. – Joint Symposium 2011: Integrated Building Design in the New Era of Sustainability, 2011 (November), pp. 1–12.
- IM BWL & BBK (2010): Krisenmanagement Stromausfall, Kurzfassung – Krisenmanagement bei einer großflächigen Unterbrechung der Stromversorgung am Beispiel Baden-Württemberg, 28 S. [Hrsg.: Innenministerium Baden-Württemberg und Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe]
- IPCC (2014): Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)], 1132 pp
- Jacob, D., J. Petersen, B. Eggert, A. Alias, O.B. Christensen, L.M. Bouwer, A. Braun, A. Colette, M. Déqué, G. Georgievski, E. Georgopoulou, A. Gobiet, L. Menut, G. Nikulin, A. Haensler, N. Hempelmann, C. Jones, K. Keuler, S. Kovats, N. Kröner, S. Kotlarski, A. Kriegsmann, E. Martin, E. Van Meijgaard, C. Moseley, S. Pfeifer, S. Preuschmann, C. Radermacher, K. Radtke, D. Rechid, M. Rounsevell, P. Samuelsson, S. Somot, J.-F. Soussana, C. Teichmann, R. Valentini, R. Vautard, B. Weber & P. Yiou (2014): EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. - Reg. Environ. Change, 14: 563-578. doi:10.1007/s10113-013-0499-2
- Jacob, D. & Podzun, R. (1997): Sensitivity studies with the regional climate model REMO. - Meteorol. Atmos. Phys., 63: 119–129. doi:10.1007/BF01025368
- Köhler, M., Wiartalla, W. & Feige, R. (2007): Interaction between PV-systems and extensive green roofs. - Fifth Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show, pp. 1–16.
- Köhler, M., Schmidt, M., Laar, M., Wachsmann, U. & Krauter, S. (2002): Photovoltaic-panels on greened roofs: positive interaction between two elements of sustainable architecture. – In: RIO 02 - World Climate & Energy Event. pp. 151–158.
- Kriszio, J. (2014a): Anpassung deutscher Städte an den Klimawandel. – unveröffentl. Literaturrecherche, 45 S.
- Kriszio, J. (2014b): Wege zum Klima-Leitbild – Rechercheergebnisse aktueller Entwicklungskonzepte als Diskussionsgrundlage für eine Anpassungsstrategie für die Landeshauptstadt Kiel. – unveröffentl. Literaturrecherche, 56 S.
- Kuttler, W., Dütemeyer, D. & Barlag, A.-B. (2012): Erstellung eines Konzeptes zur Städtebaulichen Anpassung an den Klimawandel in Gelsenkirchen – Stufe III: Handlungsstrategien und Maßnahmenkatalog zur Mitigation und Adaptation möglicher Auswirkungen des Klimawandels auf das Stadtklima Gelsenkirchens. – Bericht, 190 S.
- Landeshauptstadt Stuttgart - Amt für Umweltschutz [Koord.] (2012): Klimaanpassungskonzept Stuttgart KLIMAKS. 75 S.

- Lendner, J.-C. & Weber, B. (2015): Überprüfung von Kompensationsmaßnahmen in Kiel - Analyse der Funktionstüchtigkeit von Ausgleichsmaßnahmen vor dem Hintergrund klimatisch veränderter Bedingungen in der Stadt Kiel. – unveröffentl. Bericht der Grontmij GmbH, 57 S.
- Lindfield, M. & Steinberg, F. [eds.] (2012): Green Cities. Urban Development Series [Hrsg. Asian Development Bank].
- Mastrandrea, M.D., Field, C.B., Stocker, T.F., Edenhofer, O., Ebi, K.L., Frame, D.J., Held, H., Kriegler E., Mach, K.J., Matschoss, P.R., Plattner, G.-K., Yohe, G.W. & Zwiers, F. W. (2010): Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Ass. Report on Consistent Treatment of Uncertainties, 4 p., Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Matzarakis, A., Rutz, F. & Mayer, H. (2000): Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures. - In: Dear, R.J. de, Kalma, J. D., Oke, T. R. & Auliciems, A.[eds.]: Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millenium: Selected Papers Conf. ICB-ICUC'99, Sydney. WCASP-50, WMO/TD No. 1026, 273-278.
- MBWSV (2014): Urbanes Grün – Konzepte und Instrumente, Leitfaden für Planer-innen und Planer. - 90 S.[Hrsg.: Ministerium für Bauen, Wohnen, Stadtentwicklung und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen].
- Meyer-Nehls, R. (2014): Anpassung an den Klimawandel im Ostseeraum – Literaturrecherche. – unveröffentl. Bericht, 227 S.
- Meyer-Nehls, R. (2012): Impacts of climate change on terrestrial water systems in Germany: Survey of current projects. - unveröffentl. Bericht, 72 S.
- OECD (2015): Climate Change Risks and Adaptation: Linking Policy and Economics. – OECD- Report, 140 S.
- Pfeifer, S., Bülow, K., Gobiet, A., Hänsler, A., Mudelsee, M., Otto, J., Rechid, D., Teichmann, C. & Jacob, D. (2015): Robustness of Ensemble Climate Projections Analyzed with Climate Signal Maps: Seasonal and Extreme Precipitation for Germany. – Atmosphere 2015, 6, 677-698; doi:10.3390/atmos6050677
- Pfoser, N., Jenner, N., Henrich, J., Heusinger, J. & Weber, S. (2013): Gebäude Begrünung Energie: Potentiale und Wechselwirkungen. 305 S.
- Price, A., Jones, E.C. & Jefferson, F. (2015): Vertical Greenery Systems as a Strategy in Urban Heat Island Mitigation. – Water, Air, & Soil Pollution, 226 (8), p. 247.
- Queste, A. & Lauwe, P. (2006): User needs: Why we need indicators. - In: Birkmann, Jörn (Hrsg.): Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies. United Nations University Press. Tokyo. S. 103-114.
- REGKLAM-Konsortium (2013): Risiken beherrschen, Chancen nutzen – Die Region Dresden stellt sich dem Klimawandel. – Strategiekonzept zum Integrierten Regionalen Klimaanpassungsprogramm für die Region Dresden, 40 S.
- Riegel, C., Trum, A., Maximini, C. & Vallee, D. (2013): Klimaschutzteilkonzept „Anpassung an den Klimawandel für die Städte Solingen und Remscheid. – Bericht, 209 S.
- Roloff, B., Bonn, S. & Gillner, S. (2008): Konsequenzen des Klimawandels – Vorstellung der Klima-Arten-Matrix (KLAM) zur Auswahl geeigneter Baumarten. – Stadt+Grün 57: 53-60.
- Rose, J. & Wilke, C.B. (2015): Climate change vulnerability in cities – the case of Hamburg. – HWWI Research Paper 167.

- Rosenzweig, C., Solecki, W.D., Hammer, S.a. & Mehrota, S. [eds.] (2011): Climate Change and Cities - First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network. New York: UCCRN, 354p.
- Schöntaler, K., Andrian-Werburg, S.v. & Nickel, D. (2011): Entwicklung eines Indikatoren-systems für die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS), Umwelt-bundesamt [Hrsg.], Dessau- Roßlau, 240 S.
- Science for Environment Policy (2015): Indicators for sustainable cities. – In-depth Report 12. 24 S.
- Sensatverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt [Hrsg.] (2014): Machbarkeitsstudie „Klimaneutrales Berlin 2050“, 27 S.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin (2011): Stadtentwicklungsplan Klima - Urbane Lebensqualität im Klimawandel sichern. 79 S.
- Sievers, U. (1990): Dreidimensionale Simulationen in Stadtgebieten. – Umweltmeteorologie, Schriftenreihe Band 15: S. 92–105.
- Skourtos, M., A. Kontogianni & C. Tourkolias (2013): Report on the Estimated Cost of Adaptation Options Under Climate Uncertainty, The CLIMSAVE Project – Climate Change Integrated Assessment Methodology for Cross-Sectoral Adaptation and Vulnerability in Europe, 69 S.
- Steinrücke, M. (2012): Klimaanpassungskonzept Bochum, 202 S.
- ThINK (2012) [Hrsg. Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz GmbH] (2012): Handbuch Klimawandelgerechte Stadtentwicklung für Jena. – Schriften zur Stadtentwicklung, Nr.3, 152 S.)
- TSB (2015): Smart City Berlin. Urbane Technologien für Metropolen 82 S. [Hrsg. Technologiestiftung Berlin]
- Weber, B., Lendner, J.-C., Stahn, R. & Irmischer, S. (2015): Stadtplanerische Klimaberatung im Zuge der Entwicklung einer Anpassungsstrategie für die Stadt Kiel 2014-2050. – unveröffentl. Bericht der Grontmij GmbH, 68 S.
- Wattendorf, P., Philipps, F., Höldin, P. & Konold, W. (2012): Entwicklung eines Konzepts zum Monitoring von Klimafolgen und Anpassungsmaßnahmen für einen Modellraum in Baden- Württemberg. – Bericht des LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg), 191 S.
- Weyrich, P. (2016): Barriers to Climate Change Adaptation in Urban Areas in Germany. - GERICS-Report 26, 143 S.

Anhang

Tab. 5 Übersicht der berechneten Indizes für die Modulgruppe „Klimaangepasste Stadtentwicklung“, mit REMO bzw. dem EURO-CORDEX Ensemble (likely range 17. bis 83. Perzentil (P17, P83) und Ensemble Median (P50)) für die modellierten historischen Daten sowie Zukunftsszenario RCP 2.6.

Parameter	Modellierte Historische Daten (1975-2005)	Modellierte Historische Daten (Ensemble) (1976-2005)			RCP2.6 (2020-2050)	RCP2.6 (Ensemble) (2021-2050)		
		P17	P50	P83		MIN**	P50	MAX**
Mittlere Temperatur [°C]	9,5	7,5	8,0	8,8	10,2	8,6	9,5	10,2
Mittlere Windstärke [m/s]	4,7	4,7	5,1	5,3	4,7	4,7	4,7	5,5
Anzahl Sommertage [#a]	4,3*	2,2*	5,4*	12,2*	6,9*	5,6*	5,8*	13,6*
Anzahl heiße Tage [#a]	0,03	0,0*	0,5*	1,5*	0,2*	0,07*	0,2*	2,0*
Mittlerer Niederschlag [mm/d]	2,7	1,9	2,5	2,9	2,9	2,3	2,8	2,9
Mittl. Nds./ Winter (DJF) [mm/d]	2,6	2,2	2,4	2,9	2,9	2,5	2,7	2,9
Mittl. Nds./ Frühling (MAM) [mm/d]	1,8	1,7	1,9	2,4	2,0	1,9	2,0	2,4
Mittl. Nds. Sommer (JJA) [mm/d]	3,0	1,9	2,6	3,2	3,0	2,4	2,9	3,0
Mittl. Nds./Herbst (SON) [mm/d]	3,4	2,0	2,6	3,4	3,6	2,4	3,0	3,8
Anzahl Starkregenereignisse [#a]	1,8*	0,8*	1,8*	2,2*	2,4*	1,0*	2,2*	2,5*
Dauer längste Trockenperiode [d]	33	28	33	40	39	22	27	39
Anzahl Trockenperioden [#a]	9,2*	7,8*	9,7*	11,6*	8,5	8,8*	9,0*	10,0*
Start der Vegetationsperiode [d]	70,7	74,7	91,0	109,3	42,8	42,8	50,2	70,4
Mittlere Länge Vegetationsperiode [d]	265,2	215,2	232,5	258,5	303,6	264,8	270,1	303,6

- Mit „Ensemble“ gekennzeichnete Spalten zeigen die Ergebnisse, die auf dem Ensembleansatz (single grid box) basieren.
- **Da das RCP 2.6 Ensemble nur vier Klimaprojektionen beinhaltet, werden hier abweichend der minimale (MIN) und der maximale (MAX) Wert sowie der Median (P50) angegeben.
- Bei den Angaben mit „*“ muss beachtet werden, dass die Zeitperiode des Ensembles ein Jahr kürzer ist, als der Vergleichsdatensatz. Dieser Unterschied macht sich bei den Angaben über die Gesamtanzahl ausgewählter Tage innerhalb der gewählten Zeitperiode bemerkbar.

Tab. 6 Übersicht der berechneten Indizes für die Modulgruppe „Klimaangepasste Stadtentwicklung“, mit REMO bzw. dem EURO-CORDEX Ensemble (likely range 17. bis 83. Perzentil (P17, P83) und Ensemble Median (P50)) für die Zukunftsszenarien RCP4.5 und RCP 8.5.

Parameter	RCP4.5 (2020-2050)	RCP4.5 (Ensemble) (2021-2050)			RCP8.5 (2020-2050)	RCP8.5 (Ensemble) (2021-2050)		
		P17	P50	P85		P17	P50	P85
Mittlere Temperatur [°C]	10,2	8,6	8,9	10,1	10,2	8,6	9,1	10,3
Mittlere Windstärke [m/s]	4,6	4,7	5,0	5,4	4,7	4,8	5,0	5,4
Anzahl Sommertage [#a]	7,9*	5,4*	9,0*	13,1*	7,8*	5,0*	7,8*	16*
Anzahl heiße Tage [#a]	0,1*	0,3*	0,8*	2,0*	0,4*	0,3*	0,9*	2,3*
Mittlerer Niederschlag [mm/d]	2,8	2,0	2,7	2,9	2,8	2,0	2,8	3,0
Mittl. Nds./ Winter (DJF) [mm/d]	2,7	2,4	2,7	3,3	2,7	2,2	2,7	3,1
Mittl. Nds./ Frühling (MAM) [mm/d]	2,1	1,7	2,1	2,7	1,9	1,7	2,1	2,8
Mittl. Nds. Sommer (JJA) [mm/d]	2,8	2,3	2,8	3,3	2,9	2,1	2,7	3,4
Mittl. Nds./Herbst (SON) [mm/d]	3,5	2,0	2,7	3,5	3,6	2,0	2,7	3,6
Anzahl Starkregenereignisse [#a]	2,6	1,6*	2,0*	2,5*	2,0	1,1*	2,0*	2,5*
Dauer längste Trockenperiode [d]	33	25	30	40	32	23	32	45
Anzahl Trockenperioden [#a]	8,1	8,4*	9,0*	10,9*	8,1*	8,1*	9,9*	11,5*
Start der Vegetationsperiode [d]	60,7	60,1	70,5	85,1	44,3	49,4	72,0	85,8
Mittlere Länge Vegetationsperiode [d]	286,7	244,9	265,8	286,7	306,1	241,1	262,8	293,7

- Mit „Ensemble“ gekennzeichnete Spalten zeigen die Ergebnisse, die auf dem Ensembleansatz (single grid box) basieren.
- Bei den Angaben mit „*“ muss beachtet werden, dass die Zeitperiode des Ensembles ein Jahr kürzer ist, als der Vergleichsdatensatz. Dieser Unterschied macht sich bei den Angaben über die Gesamtanzahl ausgewählter Tage innerhalb der gewählten Zeitperiode bemerkbar.

Tab. 7 Übersicht der berechneten Indizes für die Modulgruppe „Thermisches Wohlbefinden und Wohnumfeld“, mit REMO bzw. dem EURO-CORDEX Ensemble (likely range 17. bis 83. Perzentil (P17, P83) und Ensemble Median (P50)).

Parameter	Modellierte Historische Daten (1975-2005)	Modellierte Historische Daten (Ensemble) (1976-2005)			RCP2.6 (2020-2050)	RCP2.6 (Ensemble) (2021-2050)		
		P17	P50	P83		MIN**	P50	MAX**
Mittl. Temperatur /Winter (DJF) [°C]	2,6	0,2	1,3	2,3	3,5	2,2	2,2	3,6
Mittl. Temperatur/ Frühling (MAM) [°C]	8,3	5,4	6,5	7,9	9,0	7,1	8,3	9,0
Mittl. Temperatur/ Sommer (JJA) [°C]	16,4	14,5	15,6	16,6	17,0	15,2	16,7	17,0
Mittl. Temperatur/Herbst (SON) [°C]	10,4	8,2	8,8	9,5	11,1	9,6	10,5	11,1
Mittlere Windstärke [m/s]	4,7	4,7	5,1	5,3	4,7	4,7	4,7	5,5
Mittlere Windrichtung [°]	232,5	221,5	231,3	239,7	234,2	228,6	231,9	237,4
Anzahl Sommertage [#a]	4,3	2,2*	5,4*	12,2*	6,9*	5,6*	5,8*	13,6*
Anzahl heiße Tage [#a]	0,03	0,0	0,5*	1,5*	0,2*	0,07*	0,2*	2,0*

Parameter	RCP4.5 (2020-2050)	RCP4.5 (Ensemble) (2021-2050)			RCP8.5 (2020-2050)	RCP8.5 (Ensemble) (2021-2050)		
		P17	P50	P83		P17	P50	P83
Mittl. Temperatur /Winter (DJF) [°C]	3,4	1,4	2,3	3,4	3,4	1,5	2,5	3,4
Mittl. Temperatur/ Frühling (MAM) [°C]	8,6	6,6	7,6	8,7	9,0	6,5	7,9	8,8
Mittl. Temperatur/ Sommer (JJA) [°C]	17,1	15,7	16,4	17,2	17,1	15,4	16,5	17,6
Mittl. Temperatur/Herbst (SON) [°C]	11,3	9,3	10,0	11,0	11,3	9,5	10,0	11,3
Mittlere Windstärke [m/s]	4,6	4,7	5,0	5,4	4,7	4,8	5,0	5,4
Mittlere Windrichtung [°]	232,3	224,4	232,3	239,0	236,2	223,8	234,8	239,1
Anzahl Sommertage [#a]	7,9*	5,4*	9,0*	13,1*	7,8*	5,0*	7,8*	16*
Anzahl heiße Tage [#a]	0,1*	0,3*	0,8*	2,0*	0,4*	0,3*	0,9*	2,3*

- Mit „Ensemble“ gekennzeichnete Spalten zeigen die Ergebnisse, die auf dem Ensembleansatz (single grid box) basieren.
- **Da das RCP 2.6 Ensemble nur vier Klimaprojektionen beinhaltet, werden hier abweichend der minimale (MIN) und der maximale (MAX) Wert sowie der Median (P50) angegeben.
- Bei den Angaben mit „**“ muss beachtet werden, dass die Zeitperiode des Ensembles ein Jahr kürzer ist, als der Vergleichsdatensatz. Dieser Unterschied macht sich bei den Angaben über die Gesamtanzahl ausgewählter Tage innerhalb der gewählten Zeitperiode bemerkbar.

Bildverzeichnis

Titelbild: © Fotolia / Gajus
S.16: © GERICS
S.28: © istock / daryl_sleath
S.33: © Fotolia / Alterfalter
S.39: © Fotolia / Pixelwolf2
S.44: © Fotolia / ArTo
S.48: © Fotolia / Xuejun_li
S.50: © Fotolia / hans12_rohe
S.53: © Fotolia / davis
S.55: © Fotolia / Rangzen
S.59: © Fotolia / AA+W
S.60: © Fotolia / xiaoliangge



Kontakt:

Climate Service Center Germany (GERICS)

Fischertwiete 1 | 20095 Hamburg | Germany

Tel +49 (0)40 226 338-0 | Fax +49 (0)40 226 338-163

www.climate-service-center.de

Eine Einrichtung des

 **Helmholtz-Zentrum
Geesthacht**

Zentrum für Material- und Küstenforschung

ISSN 2509-386X