

KLIMASCHUTZ UND ANPASSUNG AN DIE FOLGEN DES KLIMAWANDELS – SYNERGIEN UND ZIELKON- FLIKTE IM RAHMEN KOMMUNALER KONZEPTE UND STRATEGIEN

Steffen Bender, Markus Groth, Peer Seipold, Janna-Malin Gehrke
Climate Service Center Germany (GERICS), Helmholtz-Zentrum Hereon

1 EINLEITUNG

Seit Jahrzehnten ist eine stetige Zunahme der globalen CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre zu beobachten. Dieser Trend wird von einer ebenfalls steigenden globalen Durchschnittstemperatur begleitet (IPCC 2021, IPCC 2014). Während der Temperaturanstieg seit der vorindustriellen Zeit (Referenzzeitraum 1850-1900) bis zum Jahr 2017 noch bei etwa 1°C mit einer Zuwachsrate von 0,2°C pro Jahrzehnt lag (IPCC 2018), haben sich die Werte seitdem weiter erhöht. So beträgt die globale Erwärmung aktuell bereits rund 1,2°C (IPCC 2021).

Der Klimawandel und seine Folgen sind auch in Deutschland spürbar (Jacob et al. 2021, Umweltbundesamt 2019). So ist die bodennahe Lufttemperatur seit Beginn der Wetteraufzeichnungen von 1881 bis 2020 im Jahresmittel um 1,6°C angestiegen (DWD 2021). Deutschlandweit verschieben sich daher die Temperaturverteilungen hin zu höheren Werten, was zu einer höheren Eintrittswahrscheinlichkeit von extremer Hitze und im Zuge dessen bereits zu einer Zunahme der Hitzebelastung führte (Deutschländer & Mächel 2017). So ist im Zeitraum 1951-2019 die Anzahl der heißen Tage, an denen die Tageshöchsttemperatur 30°C überschritten hat, im Mittel um etwa 8 Tage gestiegen. Die Sommer in den Jahren 2003, 2018 und 2019 waren in Deutschland die wärmsten seit Beginn der Wetteraufzeichnungen 1881 (Kaspar & Friedrich 2020).

Weiterhin sind in Deutschland in vielen Regionen Veränderungen der Niederschlagsregime zu beobachten, mit Zunahmen der Niederschlagsmengen im Winter, der zudem seltener als Schnee fällt (Deutschländer & Mächel 2017), und geringfügig trockeneren Sommern (DWD 2017). Starkniederschlagsereignisse haben regional zugenommen (Papalexioiu & Montanari 2019, Fischer & Knutti 2016, Westra et al. 2014). Besonders viele traten im Dürrejahr 2018 auf, das zugleich durch lange Phasen mit sehr geringen Niederschlägen und hohen Verdunstungsraten aufgrund hoher Temperaturen geprägt war (Jacob et al. 2021).

Spätestens seit der UN-Klimakonferenz in Paris im Jahr 2015 ist der Klimawandel mit den entsprechenden Folgen als eine der weltweit größten Herausforderungen anerkannt. Auf die zunehmende Bedeutung des Klimawandels und der Notwendigkeit einer proaktiven Umsetzung von ausreichend dimensionierten Anpassungsmaßnahmen weist auch das Weltwirtschaftsforum hin (World Economic Forum 2020). Basierend auf einer Umfrage unter ExpertInnen und EntscheidungsträgerInnen zeigt der 2020er Bericht über die globalen Risiken, dass im 10-Jahres-Ausblick, gemessen an der Wahrscheinlichkeit, erstmals die fünf größten globalen Risiken alle Umweltrisiken waren. Unter ihnen wird auch das Scheitern beziehungsweise nicht ausreichende Umsetzen von Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen geführt – sowohl seitens staatlicher Institutionen als auch von Unternehmen.

Vor dem Hintergrund der zu erwartenden Folgen des Klimawandels und den sich daraus ergebenden Herausforderungen wird deutlich, dass es zukünftig – auch auf kommunaler Ebene – verstärkt darum gehen muss, Klimaschutz, Anpassung an die Folgen des Klimawandels und Nachhaltigkeit viel konsequenter zusammenzudenken, um die Transformation hin zu einer ressourcenschonenden, nachhaltigen, klimaneutralen und -angepassten Gesellschaft erreichen zu können (Jacob et al. 2021). So zeigt beispielsweise der Ende 2018 veröffentlichte IPCC-Sonderbericht über 1,5°C globale Erwärmung des Weltklimarates (IPCC 2018), dass eine entsprechende Begrenzung der globalen Erwärmung möglich ist. Dies macht jedoch grundlegende Veränderungen und Transformationen in vielen gesellschaftlich und wirtschaftlich bedeutenden Bereichen sowie in der Administration notwendig. Die Klimaschutzmaßnahmen sollen einen Beitrag dazu leisten, das Ausmaß zukünftiger klimatischer Veränderungen zu verringern. Im Bewusstsein, dass eine vollständige Vermeidung klimawandelbedingter Veränderungen und Betroffenheiten – wie beispielsweise Extremwetterereignisse – nicht möglich ist, gilt es auch, geeignete Anpassungsmaßnahmen zu ergreifen, um Risiken und Schäden zu minimieren. Dabei bieten für den urbanen Raum insbesondere die Raum- und Stadtplanung zahlreiche Möglichkeiten für entsprechende integrative Ansätze (IPCC 2014).

Die Planung und Umsetzung von Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels sind mitunter umfangreiche und zeitintensive Querschnittsaufgaben, die in der Praxis von vielen Akteuren zu tragen sind. Sie müssen im Zusammenspiel von Stadtverwaltung, städtischen Beteiligungsunternehmen, lokaler Wirtschaft und den BürgerInnen erarbeitet und umgesetzt werden. In Fachplanungen, wie Grünflächenentwicklung, Flächennutzungsplanung, Bauleitplanung und Energie- und Verkehrsplanung sollten deshalb standardmäßig klimatische Belange in Planungs- und Verwaltungsabläufe integriert werden. Anpassung an die Folgen des Klimawandels ist aber nicht nur als eine hoheitliche Aufgabe zu verstehen. Vielmehr beruhen viele Maßnahmen auch auf der Eigeninitiative von Akteuren des Privatsektors (Haus- und Wohnungseigentümer, Gewerbetreibende). Diese müssen über umfangreiche und wiederkehrende Informationskampagnen aktiviert und motiviert werden, damit auch Unternehmen und BürgerInnen im Rahmen der Eigenvorsorge selbst aktiv werden.

Als generelles Ziel folgen viele Städte Leitbildern, mit denen die Wohn-, Arbeits- und Lebensqualität sowie die allgemeinen Umweltbedingungen erhalten beziehungsweise verbessert werden sollen. Auch haben sich immer mehr Städte in Deutschland dazu entschieden, den Klimaschutz entschlossen in Richtung Klimaneutralität voran zu treiben.¹ Dies kann jedoch nur erreicht werden, wenn Energiesysteme auf flexible und intelligente Versorgungen mit Erneuerbaren Energien – weitgehend treibhausgasneutral produziert – und unter Ausschöpfung aller Effizienzpotentiale umgestellt werden (MWIDE 2020). Andere Kommunen haben sich das Ziel gesetzt, eine resiliente Stadt oder Gemeinde zu entwickeln, das heißt sie widerstandsfähiger gegenüber klimatischen Veränderungen zu machen, um die Funktionen der Daseinsvorsorge – wie Gesundheitsinfrastruktur, Verkehrs- und Energieinfrastruktur, Katastrophenschutz – auch unter langfristigen Veränderungen dauerhaft sicherzustellen. Als mögliche Herausforderungen und Chancen für Kommunen müssen zukünftig intensivere Hitzeperioden, längere Trockenphasen, heftigere Starkregenereignisse und sich verändernde Niederschlagsverteilungen in Planungsprozessen konsequent mitgedacht werden (Jacob et al. 2021).

Schon seit langem engagieren sich deutsche Kommunen für den Klimaschutz und setzen Maßnahmen vor Ort um. Eine Befragung der Bertelsmann-Stiftung zeigt, dass seit dem Jahr 2008 3.650 Gemeinden rund 16.650 Projekte umgesetzt haben (Bertelsmann-Stiftung 2020). 87% der befragten Kommunen verfügten über ein Klimaschutzkonzept. Allerdings räumte die Hälfte der dazu befragten BürgerInnen ein, dass das Thema in der Verwaltung nur einen mittleren Stellenwert besitzt. Aus Wahrnehmung der BürgerInnen weist der Klimaschutz insgesamt eine höhere Gewichtung in den Kommunen als die Klimaanpassung auf (Bertelsmann-Stiftung 2020).

Klimaschutz und die Anpassung an die Folgen des Klimawandels rücken aber immer stärker in das Zentrum des Handels (Difu 2020), wobei Strategien und Konzepte für Klimaschutz oder Klimaanpassung oder Kombinationen von beiden einen konkreten Handlungsrahmen für Politik und Verwaltung liefern, um Städte und Regionen robust gegenüber Klimafolgen zu machen, Maßnahmen zum Klimaschutz zu ergreifen oder zu fördern und die Eigenvorsorge der Bevölkerung zu stärken. Oftmals ist die eigene Betroffenheit von Kommunen der Ausgangspunkt für kommunales Handeln (Hasse & Willen 2019). Bei geplanten Aktionen und Maßnahmen zur Einbindung der Bevölkerung muss jedoch mitgedacht werden, dass zwischen dem Klimabewusstsein einerseits und dem Klimahandeln andererseits immer noch eine große Lücke klafft (EEA 2020, Beck & Formeyer 2018). Allerdings können Kommunen den lokalen Bezug und Beobachtungen vor Ort nutzen, um BürgerInnen auf einer persönlichen Ebene anzusprechen. Die dazu erstellten Konzept- und Strategiepapiere bauen sich generell aus häufig wiederkehrenden Bausteinen auf, die mehr oder weniger weit ausformuliert sind. Viele dieser Papiere enthalten auch konkrete Maßnahmen, die sich individuell auf die wichtigsten Handlungsfelder der jeweiligen Stadt beziehen.

¹ Beispiele für Städte auf dem Weg zur Klimaneutralität sowie im Zuge dessen unterstützende Initiativen finden sich beispielsweise in einer Synthese, die im Rahmen des Clusters „Netto-Null“ der Helmholtz-Klimainitiative erstellt wurde: <https://www.netto-null.org/Projektergebnisse/Syntheseberichte/index.php.de>

Der nachfolgende Report ist im Rahmen des Schwerpunkts „Netto-Null-2050“ der Helmholtz-Klima-Initiative² entstanden und basiert auf der Auswertung von kommunalen Klimaschutzteil- (5) beziehungsweise Klimaschutzkonzepten (20) und Anpassungsstrategien (40) 56 deutscher Großstädte. Er gibt in übersichtlicher und kompakter Form einen Überblick der am häufigsten genannten Klimaschutz- beziehungsweise Anpassungskomponenten. Darüber hinaus zeigt der Report, welche Synergien und Konfliktpotentiale bei einzelnen Maßnahmen zu Klimaschutz und Anpassung an die Folgen des Klimawandels bestehen und wie sie adressiert werden könnten – sowohl im Hinblick auf Wechselwirkungen von Klimaschutz- beziehungsweise Anpassungsmaßnahmen untereinander als auch von Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen miteinander.

Der Report ist wie folgt aufgebaut: Zunächst werden in Kapitel 2 Klimaschutzkonzepte und ihre wesentlichen Komponenten betrachtet, bevor sich Kapitel 3 den Anpassungsstrategien und den dafür zentralen Komponenten widmet. Konkrete Synergien- und Konfliktpotentiale von Klimaschutz und Anpassung an die Folgen des Klimawandels diskutiert Kapitel 4. Die Notwendigkeit einer systemischen Betrachtung wird am Beispiel der Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Kapitel 5 erläutert. Kapitel 6 skizziert zudem Aspekte von Fortschreibung und Controlling, bevor in Kapitel 7 ein abschließendes Fazit folgt. Im Anhang finden sich darüber hinaus zunächst ein Wegweiser zu wichtigen Antworten der kommunalen Anpassung an die Folgen des Klimawandels, mit spezifischen Verweisen auf Teilaspekte dieses Reports, sowie eine thematisch gebündelte und übersichtliche Sammlung einer Vielzahl von Maßnahmen aus den ausgewerteten Konzepten und Strategien, die Verantwortlichen aus Politik und kommunaler Stadtverwaltung, aber auch BürgerInnen, konkrete Ideen und Anregungen für die Auseinandersetzung mit der Anpassung an die Folgen des Klimawandels beziehungsweise für die Erstellung eines eigenen Maßnahmenkonzeptes liefern soll.

Bei den betrachteten Maßnahmen gilt es jeweils zu beachten, dass einige einen starken regionalen beziehungsweise lokalen Bezug aufweisen. Daher muss in jedem Einzelfall überprüft werden, ob die Maßnahmen auch an einem anderen Ort funktionieren können oder ob sie hierfür zu modifizieren sind.

2 KLIMASCHUTZKONZEPTE

2.1. Grundlagen

Die deutschen Ziele zur Minderung der Treibhausgase (THG) waren zunächst im Klimaschutzgesetz vom Dezember 2019 verbindlich festgelegt. Bis zum Jahr 2030 sollten demnach die THG-Emissionen im Vergleich zum Jahr 1990 um mindestens 55% gesenkt werden (BMU 2019). Im Nachgang des Urteils des Bundesverfassungsgerichts zum Klimaschutzgesetz Ende März 2021 wurden die Klimaschutzziele mit der Novelle des Klimaschutzgesetzes jedoch verschärft (BMU 2021). Somit wird in Deutschland politisch derzeit das Ziel verfolgt, die Treibhausgase bis 2030 gegenüber dem Jahr 1990 um mindestens 65% und bis 2040 um mindestens 88% zu reduzieren. Die dort definierte Klimaneutralität soll bis spätestens 2045 erreicht werden. Aus diesem Grund wächst die Bedeutung der Bilanzierung von CO₂- bzw. Treibhausgasemissionen – inklusive regelmäßiger Fortschreibungen – als eine wichtige Komponente in Klimaschutzkonzepten. Die Ergebnisse geben a) Aufschluss über potentielle Einsparpotentiale von Treibhausgasemissionen in den unterschiedlichen Handlungsfeldern („Analyse“) (Hagelstange et al. 2021), b) ermöglichen die Kontrolle der eigenen Erfolge („Monitoring“), c) ermöglichen den Vergleich mit anderen Kommunen („Benchmarking“) und d) dienen als Entscheidungsgrundlage zur Planung zukünftiger Klimaschutzaktivitäten. Wie die Umfrage der Bertelsmann-Stiftung ergab, hat bereits ein großer Anteil der Kommunen eine THG-Bilanzierung durchgeführt. Im Vergleich zu den Vorjahren ist der Prozentsatz von 57% im Jahr 2008 auf 80% im Jahr 2020 gestiegen (Hagelstange et al. 2021).

² <https://www.netto-null.org/>

Allerdings existieren in der Praxis unterschiedliche Bilanzierungsansätze (AK Kommunalen Klimaschutz 2020; Reiß & Krüger 2018), die jeweils unterschiedliche Schwächen aufweisen, da sich nicht alle Maßnahmen sinnvoll beobachten und kontrollieren lassen (Bertelsmann-Stiftung 2020). Zwar gibt es Bemühungen, eine bundeseinheitliche Bilanzierungsmethodik einzuführen, einige Kommunen nutzen aber eigene Bilanzierungstools und arbeiten mit lokalen Emissionsfaktoren, um Besonderheiten besser abbilden zu können. Der Blick auf die Großstädte (mehr als 100.000 Einwohner) zeigt darüber hinaus, dass im Vergleich zu kleineren Kommunen häufiger und regelmäßiger Bilanzierungen vorgenommen werden (Hagelstange et al. 2021, Bertelsmann-Stiftung 2020).

Generell unterscheidet man bei den Klimaschutzkonzepten zwischen integrierten Klimaschutzkonzepten – hier werden übergreifend Handlungsfelder betrachtet – und Klimaschutzteilkonzepten³, die sich auf einzelne Sektoren und Handlungsfelder beziehen (z.B. Mobilität und Liegenschaften, Energie und Technik, Wasser und Abfall). Die Erarbeitung eines Klimaschutzkonzeptes wird über die Nationale Klimaschutzinitiative (NKI) des Bundesumweltministeriums im Rahmen der Kommunalrichtlinie gefördert. Neben der Erstellung des Klimaschutzkonzeptes kann auch die Stelle eines Klimaschutzmanagers/einer Klimaschutzmanagerin bezuschusst werden, dessen/deren Aufgabe es unter anderem ist, die im Konzept erarbeiteten Maßnahmen umzusetzen. Ziele der analysierten kommunalen Klimaschutzkonzepte sind insbesondere a) die Entwicklung energieautarker Stadtteile, b) die Minderung von Emissionen für ausgesuchte Handlungsfelder (beispielsweise klimaneutrale Kommunalverwaltung, inklusiver Modernisierung und Sanierung städtischer Gebäude, Energiemanagement, klimafreundlicher Einkauf und Vergabe von Dienstleistungen), c) die Steigerung der Energieeffizienz und des Einsatzes erneuerbarer Energien im Sektor Bauen und Wohnen, d) der Einsatz innovativer Zukunftstechnologien im Sektor Energie, e) die Stärkung klimafreundlicher Mobilität sowie f) die allgemeine Bewusstseinsbildung durch Informationskampagnen (z.B. Konsum, Ernährung oder Energiesparen für Privathaushalte) und den Einsatz von Multiplikatoren (Stadt Würzburg 2016, Bottrop 2011, Krefeld 2010, Ludwigshafen am Rhein 2010).

Das **Integrierte Klimaschutzkonzept** (IKK oder IKSK) hat die Aufgabe konkrete Maßnahmen zur Erreichung beschlossener Klimaschutzziele zu benennen und den Klimaschutz als einen Bestandteil des kommunalen Umweltschutzes zu integrieren. Dazu werden die klimarelevanten Bereiche, wie öffentliche Liegenschaften, private Haushalte, Industrie, Verkehr, Abwasser und Abfall analysiert und die entsprechenden Potenziale für Energieeffizienz, Energieeinsparmaßnahmen sowie den Ausbau und Einsatz erneuerbarer Energien ausgewiesen (Stadt Herne 2019, Regensburg 2017, Hamm 2015, Ulm 2015, Darmstadt 2013, Koblenz 2011). Als Grundlage dient die Erstellung gesamtstädtischer oder sektor-spezifischer CO₂-Bilanzen. Unter Berücksichtigung lokaler Rahmenbedingungen werden anschließend konkrete Maßnahmen inklusive möglicher Einsparziele gelistet, die in partizipatorischen Workshops erarbeitet wurden. Je nach Bericht fällt die Dokumentation der Workshops mehr oder weniger detailliert aus. Typische Vorschläge zur Unterstützung der Umsetzungsmaßnahmen sind eine Netzworkebildung (sektoral oder interdisziplinär), die Etablierung eines Umsetzungsmanagements, der Aufbau einer regionalen Energie- oder Klimaschutzagentur oder die Schaffung einer Stelle für eine/n KlimaschutzmanagerIn beziehungsweise eine/n Klimaschutzbeauftragte/n.

Klimaschutzteilkonzepte beziehen sich typischerweise auf abgegrenzte Einzelbereiche, wie kommunale Liegenschaften oder Sektoren – überwiegend Verkehr, Mobilität und Energie (Landeshauptstadt Erfurt 2012, Stadt Bochum 2018, Chemnitz 2014, Bottrop 2011, Heilbronn 2010).

Beide Konzeptansätze – integrierte Klimaschutzkonzepte und Klimaschutzteilkonzepte – beabsichtigen Klimaschutzziele transparent zu kommunizieren, um BürgerInnen zum Handeln zu bewegen und sie aktiv in die Prozesse miteinzubeziehen. Zusätzlich soll eine Vielzahl von Akteuren motiviert werden, den Klimaschutz in einer Stadt voranzubringen und somit Emissionsminderungsziele zu erreichen (Sinning et al. 2011).

³ Klimaschutzteilkonzepte werden in dieser Form über die Nationale Klimaschutzinitiative heute nicht mehr gefördert, werden aber in diesem Bericht noch aufgeführt, da einige der betrachteten Konzepte über eine entsprechende Förderung erarbeitet wurden.

2.2 Wichtige Komponenten in Klimaschutzkonzepten

Vielen – insbesondere älteren – Klimaschutzstrategien und -konzepten liegt das Leitbild der Stadtentwicklung als „Stadt der kurzen Wege“ zu Grunde, da es aus Sicht des Klimaschutzes viele Vorteile bietet (Landkreis Reutlingen 2018, Stadt Berlin 2016, Ulm 2015). Neben einer Mischung der Funktionalität von Wohnen und Arbeiten in Quartieren steht die städtebauliche Kompaktheit und die Stellung und Anordnung der Baukörper im Mittelpunkt des Ansatzes. Über die Vermeidung von Verkehrsaufkommen durch die Mischnutzung und somit gut erreichbare Dienstleistungen und Arbeitsplätze im Wohnumfeld ist ein weiterer Grundgedanke hierbei die Vermeidung der gegenseitigen Verschattung, um die maximale Sonnenergie nutzen zu können (Stadt Darmstadt 2013). Dies steht jedoch im Gegensatz zu den Anpassungsmaßnahmen gegen die Erwärmung von Quartieren und Gebäuden, die auf Freiluftschneisen, eine gute Durchlüftung und gegenseitige Verschattung setzen.

Eine Umfrage von Hagelstange et al. (2021) zeigt, dass Kommunen in Bezug auf Energieeinsparung ihren Fokus auf folgende Bereiche legen: Energieeinsparung im Bereich der kommunalen Liegenschaften (96%), Nutzung erneuerbarer Energie (91%) und „Verkehr und Mobilität“ (91%). Die Betrachtungen im Bereich „Energie“ sind allerdings sehr divers und reichen von energetischer Gebäudesanierung über die Energieberatung bis hin zur Nutzung regenerativer Energien. Die in diesen Teilbereichen beschriebenen Transformationsprozesse werden als wichtige Grundbausteine für eine städtebauliche Aufwertung gesehen.

Klimaschutz-Komponente: Verkehr und Mobilität

In vielen Klimaschutzkonzepten spielt der Verkehrs- und Transportsektor eine wichtige Rolle. Gründe dafür liegen zum einen in dem großen Anteil am Gesamt-CO₂-Ausstoß (rund 20%, BMU 2020), zum anderen weist die zeitliche Entwicklung der CO₂-Emissionen im Verkehrssektor vielerorts eine Steigerung in den letzten Jahren auf. So berichten 48% der befragten Städte, dass die Emissionen im Vergleich zur Befragung von 2016 gestiegen sind (Bertelsmann-Stiftung 2020). Gut ein Drittel der zurückgelegten Wege im Personenverkehr gehen heute auf das Konto des Freizeitverhaltens. Nach Angaben des Umweltbundesamtes sind die CO₂-Emissionen pro PKW zwischen 1995 und 2018 zwar gesunken, jedoch hebt die zunehmende Zahl an Wegen und die gestiegene Fahrleistung pro PKW dies wieder auf (Semmling et al. 2016).

Generell besteht für Kommunen im Bereich des Verkehrssektors ein großes Potential für den Klimaschutz. Wichtige Eckpfeiler bilden i) die Erstellung einer stadtsspezifischen CO₂-Bilanz (auf Basis aktueller Erhebungen des Personen- und Güterverkehrsaufkommens), ii) die Entwicklung von Maßnahmenkonzepten unter Verwendung partizipativer Prozesse und iii) Handlungsempfehlungen für flankierende Maßnahmen.

Ausgehend von einer Analyse des aktuellen Verkehrsgeschehens werden beispielsweise bisherige Aktivitäten sowie bestehende CO₂-Einsparpotentiale analysiert. Die dazu eingesetzte Methodik variiert in Abhängigkeit des Bearbeiters/der Bearbeiterin. Die vorgeschlagenen Maßnahmen zielen zumeist auf:

- Verbesserung der Öffentlichkeitsarbeit, um die Bevölkerung zu sensibilisieren und grundsätzliche Verhaltensänderungen zu bewirken,
- Steigerung der Potenziale emissionsarmer Verkehrsmittel – vom Ausbau des Radwege- und Schienennetzes, über die Verdichtung des Fahrtaktes, bis zur Erhöhung verkehrsberuhigter Zonen als Anreiz zum Umstieg auf Rad und ÖPNV,
- Ausbau und der Verbesserung des bestehenden öffentlichen Regional- und Nahverkehrsangebotes. Eine Idee ist hier die Verknüpfung aller Verkehrsträger wie Park & Ride, Bike & Ride, Car-Sharing oder Fahrradverleihsysteme.

Schon jetzt besteht bei der Bevölkerung eine hohe Akzeptanz zu Änderungen des Mobilitätsverhaltens und der Wunsch nach neuen Verkehrskonzepten (Bertelsmann-Stiftung 2020). Die zugehörigen Maßnahmen werden häufig unter Beteiligung unterschiedlicher Akteure (beispielsweise Ämter aus den Bereichen Umwelt, Stadtplanung, Tiefbau, lokale Energieversorger, Betreiber des öffentlichen Nahverkehrs, wichtige Arbeitgeber und interessierte BürgerInnen) erarbeitet. Da der Sektor Verkehr und Mobilität als Querschnittsaufgabe viele Handlungsfelder der Stadt und der BürgerInnen betrifft, hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn möglichst viele Multiplikatoren in den Prozess mit eingebunden werden.

Fast immer müssen zur Umsetzung die benötigten infrastrukturellen Grundvoraussetzungen geschaffen werden, damit neue Angebote, wie umweltverträglichere Verkehrsmittel beziehungsweise multimodale Angebote, wie Car-Sharing, greifen können (Landkreis Reutlingen 2018, Stadt Regensburg 2017). Dies gilt aber auch für langfristige Planungen, wie die Entwicklung neuer Wohnsiedlungsschwerpunkte in der Nähe von Versorgungszentren und einer Anbindung an den ÖPNV.

Gerade in Kommunen mit einem großen Tourismus-Sektor wird im Klimaschutzkonzept aber auch darauf hingewiesen, dass es einen hohen Anteil auswärtiger VerkehrsteilnehmerInnen gibt, weshalb Einschränkungen im motorisierten Individualverkehr, beispielsweise durch Verknappung von Parkplätzen zugunsten des Klimaschutzes, als problematisch angesehen werden.

Klimaschutz-Komponente: Energie

Der Energiesektor betrifft als Querschnittssektor und als wesentliche Komponente der kritischen Infrastruktur fast alle anderen Handlungsfelder in einer Kommune. Zudem sind durch ihn hohe CO₂-Einsparpotentiale zu heben, die durch eine umfassende Umstellung auf die Nutzung erneuerbarer Energien und verstärkte Energieeffizienzmaßnahmen realisiert werden könnten. Generell stehen dabei folgende Handlungsfelder im Fokus der Reduktionsmaßnahmen:

- Kommunales Energiemanagement (Gebäude und Anlagen)
- Stadtplanung und Stadtentwicklung
- Mobilität und Verkehr
- Energieversorgung
- Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie.

Knapp 40% des Primärenergieverbrauchs entfallen in Deutschland auf Gebäude, wobei die Bereitstellung von Raum- und Trinkwasserwärme durch die Verbrennung fossiler Energieträger rund 30% der CO₂-Emissionen verursacht (MWIDE 2020). Der Gebäudesektor spielt damit eine zentrale Rolle für das Erreichen von Klimaschutzzielen. Beim Neubau von Gebäuden ist der Anteil erneuerbarer Energien und eine hohe Gebäudeeffizienz bereits von Anfang mitzudenken und leichter integrierbar als bei bestehenden Gebäuden. Als ein wichtiger Baustein wird daher die Ermittlung des energetischen Sanierungsbedarfs beim Gebäudebestand (Stadt Göttingen 2015) und die Erhöhung der Sanierungsrate und -tiefe (Stadt Ulm 2015, Karlsruhe 2013) angesehen. Häufig werden die dazu erarbeiteten Klimaschutzkonzepte an den European Energy Award⁴ – ein internationales Qualitätsmanagement- und Zertifizierungsinstrument für Klimaschutzaktivitäten im kommunalen Handlungsraum, das den Weg zu mehr Energieeffizienz unterstützt – angelehnt (Landkreis Reutlingen 2018, Stadt Bochum 2018, Ulm 2015, Chemnitz 2014, Bottrop 2011).

⁴ <https://www.european-energy-award.de/>.

Im Gebäudebereich orientiert sich die Ermittlung der Einsparpotentiale – in Anlehnung an VDI 3807-Blatt 1 – zumeist an der Auswertung der Verbrauchsdaten für Energie und Wasser. Als Kenngrößen werden unter anderem Gebäudeart, Baujahr, Energieverbräuche nach Energiearten, Alter und Konstruktion der Fenster, vorhandene Heizung- und Lüftungsanlagen beziehungsweise vorhandene Wärmedämmung herangezogen (Stadt Krefeld 2010).

Da der gesamte Gebäudebestand in Deutschland bis 2050 klimaneutral werden muss, wurde beispielsweise von der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB e.V.) die Toolbox „Klimaneutrales Bauen“⁵ entwickelt. Diese stellt allen relevanten Akteuren der Bau- und Immobilienbranche Informationen und Handlungsempfehlungen bereit, um Gebäude und Quartiere klimaneutral planen, bauen und betreiben zu können.

Hinsichtlich der „Klimaschutz-Komponente Energie“ werden in den Konzepten insbesondere folgende Bereiche adressiert: a) Private Haushalte (Gebäudesanierung, Neubau von Häusern, Energienutzung, Einsatz erneuerbarer Energien), b) Städtische Einrichtungen (Sanierung, Modernisierung, Einsatz erneuerbarer Energien), c) Industrie, Gewerbe und Verkehr (Effizienzsteigerung, Optimierung von Prozessen, Anpassung von Geschäftsmodellen, Einsatz erneuerbarer Energien, Sektorkopplung) sowie d) Kommunikations- und Öffentlichkeitsarbeit. Als Rahmen dienen Vorgaben durch die internationale und nationale Klimapolitik, verschiedene Zukunftsszenarien und sektoralgegliederte Energiebilanzen (Energieverbrauch, Emissionsfaktoren, Energieeinsparpotentiale) sowie Ansätze in Richtung einer suffizienten Lebensweise.

Die vorgeschlagenen Maßnahmen zielen zumeist auf:

- die Senkung des Kühl-, Heiz- und Energiebedarfs von Gebäuden durch eine verbesserte Isolierung, Dach- und Fassadenbegrünungen, effizientere (Haushalts-)Geräte und klügeres Nutzerverhalten,
- die Berücksichtigung der notwendigen Infrastruktur in der Neubauplanung für den Einsatz erneuerbarer Energien für Strom- und Wärmeversorgung (z.B. Wärmenetz mit der Integration von industrieller Abwärme, Wärme aus Abwässersielen oder Erdwärme) und Vorgaben von Anforderungen an die Energieeffizienz der Gebäude,
- die Entwicklung ganzheitlicher Quartierskonzepte im Bestand einschließlich der Gebäudesanierung, die Integration der Nutzung klimafreundlicher Energiequellen aus erneuerbaren Energien und Kopplung der Sektoren Strom, Wärme, Kälte, Mobilität und gegebenenfalls Industrie,
- die Verbesserung der Öffentlichkeitsarbeit: u.a. Aufbau einer Klimaschutzleitstelle, Informationsveranstaltungen zu ausgesuchten Themen, Ausschreibung jährlicher Klimaschutzpreise, Bereitstellung von Informationen und Entscheidungshilfen zur Nutzung alternativer Energiepotentiale (Geothermie, Abwärme, Solarthermie, etc.).

Neben einer Energiewende erfordert der Klimaschutz aber auch eine Ressourcenwende (Freie und Hansestadt Hamburg 2019). Der Ausbau erneuerbarer Energien und die Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden und Produktionsschritten muss Hand in Hand mit einer effizienten Nutzung der Ressourcen gehen. Neben der Steigerung der Effizienz müssen auch eine Kultur der Einsparung und der Energiesuffizienz – also eine nachhaltige Begrenzung des Energiebedarfs – entwickelt werden. Vor größeren Herausforderungen stehen jedoch Ballungsräume oder Städte mit einer historischen Altstadt. Hier fehlt oft die Fläche, die zur adäquaten Erzeugung erneuerbarer Energie benötigt wird (Stadt Heidelberg 2014). Aufgrund dessen sind zunehmend multifunktionale Flächennutzungen gefragt, die auf den begrenzt zur Verfügung stehenden Flächen möglichst mehrere Funktionen vereinen.

⁵ <https://www.dgnb.de/de/themen/klimaschutz/toolbox/index.php>.

Auch bei der energetischen Sanierung ergeben sich Hemmnisse, da sowohl der Denkmalschutz als auch geltende Gesamtanlagenschutzsatzungen Umsetzungsmaßnahmen einengen können. Hier sind innovative Nachhaltigkeitskonzepte gefragt, die auch einen optimierten Abstimmungsprozess zwischen Denkmalschutz und Klimaschutz enthalten sollten. Bei nicht denkmalgeschützten Gebäuden kann es wirtschaftlicher sein, ein Gebäude abzureißen und unter energetischen, funktionalen und Folgekostenaspekten neu zu planen und zu bauen. Hierzu ist aber in jedem Fall eine Einzelbetrachtung erforderlich, welche die unterschiedlichen Varianten einander gegenüberstellt. Bei der Abschätzung der Varianten gilt es zudem, immer den jeweiligen Rechtsrahmen im Auge zu behalten werden, da dieser den Spielraum möglicher Vorgehensweisen einschränken kann.

Klimaschutz-Komponente: Stakeholder-Einbindung

Unter dem Überbegriff Stakeholder-Einbindung werden in diesem thematischen Kontext viele unterschiedliche Ansätze zusammengefasst. Sie reichen von themenbezogenen Beratungsaktivitäten – zum Teil in Zusammenarbeit mit Partnern, wie beispielsweise den Energieversorgern – über Vernetzungsaktivitäten bis hin zur zielgruppengerechten Öffentlichkeitsarbeit in allen verfügbaren Medien für Informationskampagnen (Stadt Hamm 2019, Darmstadt 2013, Koblenz 2011, Krefeld 2010).

Da Klimaschutz alle angeht, ist es ebenso wichtig, BürgerInnen und andere Akteure (beispielsweise lokale Umwelt-Organisationen) von Beginn an in alle Aktivitäten einzubinden, um die Akzeptanz von Maßnahmen zu erhöhen. Multiplikatoren, bereits etablierte Gruppen, Personen mit Schlüsselfunktionen oder prominente Akteure einer Stadt besitzen im Rahmen der Kommunikation und der Öffentlichkeitsarbeit eine große Bedeutung, um das Thema und einzelne Projekte voranzutreiben. Eine weitere Möglichkeit ist die Gründung eines interdisziplinären Klimabeirates, der VertreterInnen aus allen relevanten Bereichen zusammenbringt. Seine Aufgabe ist die Beratung des Stadtrats, seiner Ausschüsse und der Stadtverwaltung in Fragen des kommunalen Klimaschutzes. Er dient zugleich als wichtiger Impulsgeber für die Weiterentwicklung kommunaler Klimaziele (Stadt Würzburg 2016). In der Praxis zeigt sich aber auch: es geht nichts über den persönlichen Kontakt im Rahmen von Bürgersprechstunden, Dialogveranstaltungen vor Ort, Informationsständen auf Messen, Wochenmärkten oder in Schulen.

Zusätzlich können schon einfache Mittel, wie die Verwendung eines Kampagnen-Logos, dazu beitragen, das Thema sichtbarer zu machen und den Wiedererkennungswert zu erhöhen. In einigen Konzepten wird auch der Einsatz von KlimabotschafterInnen in einzelnen Institutionen (beispielsweise in Schulen) vorgeschlagen, um das Thema besser zu vermitteln und greifbarer zu machen (Landeshauptstadt Düsseldorf 2017b, Stadt Hamm 2019). Ein weiterer wichtiger Aspekt der Öffentlichkeitsarbeit ist es, kontinuierlich zu informieren, denn nur eine regelmäßige Berichterstattung trägt dazu bei, dem Thema ausreichend Präsenz und ein dauerhaftes Gewicht zu verleihen. Dabei können sowohl Themen, wie grundlegende Zusammenhänge rund um Klimawandel und Klimaschutz, als auch sichtbare Erfolge als anschauliche Beispiele für die Vermittlung aufbereitet werden. Je präsenter das Thema in der öffentlichen Wahrnehmung gehalten wird, desto größer ist auch die Chance eine Verstärkung des Klimaschutzes zu erzielen.

Klimaschutz-Komponente: Wasser- und Abfallwirtschaft

Die Bereiche Wasser- und Abfallwirtschaft sowie Abfallbehandlung stellen aufgrund der hohen Emissionen (insbesondere der Methan-Ausgasung aus Abfall und Abwasser) effektive Handlungsfelder für Klimaschutzkonzepte dar. Im Mittelpunkt stehen hierbei i) die energetische Nutzung von Bio- und Grünabfällen, ii) die Entwicklung von Konzepten zur Abfallvermeidung, dem Recycling und der besseren Verwertung von Rohstoffen sowie iii) dem Einsatz energieeffizienter Kläranlagen (Landeshauptstadt Erfurt 2012, Stadt Bottrop 2011). Darüber hinaus können auch Konzepte zur energetischen Nutzung der Abwasserwärme für die Wärmeversorgung wichtig sein.

BOX 1: Das Instrument Klimanotstand

Vor dem Hintergrund der großen Bedeutung und Notwendigkeit des Erreichens von Klimaneutralität wurde in den letzten Jahren zunehmend auch der sogenannte Klimanotstand mit dem Ziel ausgerufen, Klimaschutz auf unterschiedlichen Ebenen zu stärken. Als erste Kommune in Deutschland erklärte der Konstanzer Gemeinderat im Juni 2019 den Klimanotstand (Hirschl & Pfeifer 2020). Dem folgten über 70 andere deutsche Städte und Gemeinden. Für den Klimanotstand gibt es keine einheitliche Definition. Die Erklärungen oder Beschlüsse der Kommunen unterscheiden sich in Tiefe, Umfang und Bezeichnung. Jedoch können anhand bekanntgemachter Resolutionen und Resolutionsvorlagen vor allem die folgenden gemeinsamen Merkmale identifiziert werden (Groth et al. 2021):

- Die Anerkennung des menschengemachten Klimawandels und dessen raschen Vorschreitens.
- Die Feststellung, dass dringender politischer und praktischer Handlungsbedarf besteht und die bisher ergriffenen Klimaschutzmaßnahmen nicht ausreichen.
- Die Definition von Zielen, wie denen des Pariser Klimaabkommens oder beispielsweise einer CO₂-Reduktion bis 2050 um 95 %.
- Die Ankündigung, die eigenen Maßnahmen zum Klimaschutz zu verstärken.
- Teilweise wird erklärt, dass der Klimaschutz eine erhöhte Priorität erfahren soll. Dazu sollen bei zukünftigen Beschlüssen stets auch die Auswirkungen auf das Klima benannt werden.
- Aus manchen Resolutionen geht die Verpflichtung hervor, bei Entscheidungen stets der klimafreundlicheren Alternative den Vorrang einzuräumen.
- Selten werden bislang auch Aspekte der Anpassung an die Folgen des Klimawandels, der Klimagerechtigkeit, der Finanzierung berücksichtigt.

Trotz teilweise verbindlich formulierter Ansätze eint die Resolutionen im Wesentlichen der Appellcharakter, welcher an die eigene Verwaltung, die BürgerInnen und die übergeordneten Verwaltungseinheiten gerichtet ist. Das Ausrufen eines Klimanotstands ist somit insbesondere als ein Signal oder ein Impuls zu sehen, um besondere und schnelle Maßnahmen zum Klimaschutz in Gang zu setzen. Durch die Einführung und den Gebrauch des Begriffs „Notstand“ wird diesen Maßnahmen höchste Priorität zugeschrieben. Vor dem Hintergrund der rechtlichen Wirkung und Durchsetzbarkeit eines Klimanotstandsbeschlusses ist insgesamt von einer Art politischer Selbstverpflichtung auf kommunaler Ebene zu sprechen. Unterschiedliche praktische Beispiele zeigen jedoch, dass es neben eher als weich und allgemein anzusehenden Ansätzen auch bereits Beschlüsse gibt, die klare und konkrete Inhalte zu einem verbesserten Klimaschutz umfassen. Hierbei ist insbesondere die zukünftige Bewertung geplanter Maßnahmen innerhalb einer Kommune im Hinblick auf ihre zu erwartende Klimawirkung zu nennen. Somit sind der Nutzen und die Rechtfertigung eines Klimanotstands auf kommunaler Ebene insbesondere dadurch begründet, dass er zur gesellschaftlichen Identifikation sowie der Mobilisierung und Stärkung des Klimaschutzes vor Ort beiträgt. So kann er auch als Startpunkt für Gemeinden dienen, die sich eher noch am Anfang des Weges zu einem ambitionierten Klimaschutz befinden (Groth et al. 2021).

3 ANPASSUNGSSTRATEGIEN

3.1 Grundlagen

Mit der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) und dem Aktionsplan Anpassung (APA) hat der Bund einen Rahmen für die Anpassung an den Klimawandel in Deutschland geschaffen, der regelmäßig fortgeschrieben wird. Er bildet den Ausgangspunkt für einen gesamtgesellschaftlichen Prozess zur Identifikation von Risiken durch Klimafolgen und den daraus folgenden Handlungsbedarf sowie zur Zieldefinition, Entwicklung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen. Als Querschnittsthemen werden Raum-, Regional- und Bauleitplanung sowie Bevölkerungs- und Katastrophenschutz behandelt. Ergänzend zu diesem Rahmen sind aber aufgrund erwartungsgemäß unterschiedlicher regionaler Ausprägung und somit variierender Betroffenheit von Klimafolgen auf lokaler Ebene ebenfalls Strategien gefragt, um Kommunen und Regionen für die Folgen des Klimawandels zu wappnen und die Maßnahmen auf die jeweiligen Gegebenheiten abzustimmen.

Wie wissenschaftliche Studien zeigen, werden alle Handlungsfelder im urbanen Raum von den Folgen des Klimawandels betroffen sein (Revi et al. 2014). Doch obwohl das Bewusstsein für die Notwendigkeit zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels wächst, fehlt häufig der entscheidende Schritt von der Erstellung einer Strategie zur praktischen Umsetzung von Maßnahmenpaketen – einschließlich des zugehörigen regelmäßigen und kontinuierlichen Monitorings – um alle Handlungsfelder einer Stadt klimawandeltauglich zu machen (EEA 2020).

Auch wenn die Umsetzung von Maßnahmen nicht unbedingt auf einer Strategie basieren muss, so kommt der Anpassungsstrategie eine rahmengebende und leitende Funktion zu, da sie im Idealfall in einer Ableitung von Maßnahmen münden sollte (Bender et al. 2020).

Ein wichtiges Ziel bei der Entwicklung von Anpassungsstrategien ist es, die voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels in Planungs- und Entscheidungsprozesse einzubeziehen. Dies sollte insbesondere dort geschehen, wo es um mittel- bis langfristige Struktur- (z.B. Raumnutzung) und Investitionsentscheidungen (z.B. Infrastruktur, Forstwirtschaft) geht. In der Strategie werden lokale Betroffenheiten aufgezeigt, die es durch geeignete Maßnahmen abzumildern gilt. Dadurch wird ein langfristiger Rahmen geschaffen, um sowohl schleichenden klimatischen Veränderungen als auch plötzlich auftretenden Witterungsereignissen zu begegnen. Die Anpassung an die Folgen des Klimawandels wird dabei als eine Daueraufgabe angesehen, die in den entsprechenden Fachhaushalten den Einsatz kommunaler Mittel und Personalressourcen erfordert. Viele Instrumente und Maßnahmen knüpfen an bereits vorhandene Prozesse und Vorgaben an, die oft nur feinjustiert oder ergänzt werden müssen.

Ausgangspunkte für die Erarbeitung einer Anpassungsstrategie sind oftmals unmittelbare Betroffenheiten durch Extremereignisse, wie Starkregen, Hitzewellen oder Trockenperioden. Dabei zeigt sich, dass für den Umgang mit den Folgen nicht nur einzelne Fachämter verantwortlich sind, sondern dass es sich dabei um eine kommunale Gemeinschaftsaufgabe handelt. Nur wenn sich alle Sektoren beziehungsweise Handlungsfelder anpassen, ist eine Kommune gut auf den Klimawandel vorbereitet. Hierbei gilt es auch Synergien zu den Klimaschutzprogrammen zu nutzen. Schlüsselrollen kommen dabei einerseits der Politik zu, die viele Maßnahmen beschließen muss und andererseits der Stadtverwaltung, die als Vorbild fungiert (Stadt Münster 2015).

Während die Anpassung an den Klimawandel bisher im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative als Klimaschutzteilkonzept oder als Teilbereich eines Integrierten Klimaschutzkonzeptes erarbeitet werden konnte, ist diese Förderung seit 2019 wieder auf reine Klimaschutzthemen beschränkt (Umweltbundesamt 2019). Mit der Novellierung der Förderrichtlinie „Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ besteht aber über die Deutsche Anpassungsstrategie (DAS) seit Mitte 2021 die Möglichkeit, ein umfassendes Anpassungskonzept oder ein auf ein Quartier zugeschnittenes Anpassungskonzept fördern zu lassen (BMU 2021).

Zudem findet die Klimaanpassung über den Zuschuss Klimaschutz und Klimaanpassung seit 2021 auch Berücksichtigung in der Förderung der Erarbeitung und Umsetzung von Energetischen Quartierskonzepten nach dem KfW-Programm 432, das eine Integration von Maßnahmen der Klimaanpassung in das Konzept zulässt (KfW 2021).

Von 2011 bis 2017 haben 39 Städte ein Anpassungskonzept mit Hilfe der NKI-Förderung erarbeitet (UBA 2019). Darüber hinaus verfügen schon viele Städte in Deutschland über eine Anpassungsstrategie beziehungsweise ein Konzept zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels, mit deren Hilfe die Widerstandskraft gegenüber den Folgen des Klimawandels erhöht und Vorsorgemaßnahmen gestärkt werden sollen. Die für den Report ausgewerteten Strategien geben in der Regel Handlungshinweise und benennen wichtige Bausteine zur Anpassung. Als langfristige Perspektive sollen die Lebens- und Arbeitsbedingungen sowie die Wettbewerbsfähigkeit der Region erhalten bleiben. Beim Auftreten von Zielkonflikten müssen in jedem Einzelfall-Prüfungen stattfinden und nach planerischen Lösungen gesucht werden (Box 1). Im Rahmen von Modernisierungsprozessen sollten im Vorfeld immer die Eigentums- und Rechtsverhältnisse geklärt werden, da diese Komponenten die Geschwindigkeit der Umsetzung maßgeblich beeinflussen.

BOX 2: **Zielkonflikte am Beispiel der Freiraumplanung von Anpassungsmaßnahmen**

- Hohe Freiflächenanteile zur Hitzeminderung widersprechen dem Klimaschutz-Leitbild der kompakten, energiesparenden „Stadt der kurzen Wege“; darüber hinaus besteht „Bau-landkonkurrenz“.
- Grünflächen schaffen, erhalten und vernetzen steht im Widerspruch zum Ziel der Innen- vor Außenentwicklung.
- Auflockerung der Blockrand- und Zeilenbebauung durch klimawirksame Freiflächen begünstigt in der Umgebung von Straßen, Bahntrassen und Industriegebieten die Lärmausbreitung in die Quartiere.
- Pflanzungen tief wurzelnder Baumarten im Straßenraum stehen in Konkurrenz zu unterirdischen (bereits bestehenden) Infrastrukturen für Strom, Gas, Trinkwasser, Abwasser, Telekommunikation.
- Stadtbäume dienen als Schattenspender und Spurenstoffsensoren, gleichzeitig sind sie auch ein Strömungshindernis, das die Durchlüftung – insbesondere in geschlossenen Straßenschluchten – reduziert. Gleichmaßen können riegelbildende Hecken oder Gehölze die Transportfunktion von Ventilationsbahnen beeinträchtigen.
- Künstliche Bewässerung von öffentlichen Grünflächen und Privatflächen zur Aufrechterhaltung der hitzemindernden Verdunstung steht in Konkurrenz zur Trinkwassernutzung – insbesondere in Zeiten von Verbrauchsspitzen.
- Die Auswahl klimawandeltauglicher (nicht heimischer) Bäume und Pflanzen für öffentliche Anlagen widerspricht dem Naturschutz wegen einer möglichen Verdrängung einheimischer Arten.

Bei der Auswertung der Klimaanpassungsstrategien wurde deutlich, dass der Ausgangspunkt für konzeptionelle Vorgehensweisen im Rahmen einer Anpassungsstrategie fast immer ein Klimateil ist, in dem mit regionalem oder lokalem Bezug sowohl beobachtete als auch projizierte (zukünftig zu erwartende) Veränderungen ausgesuchter Klimaparameter dokumentiert und ein Bezug auf mögliche Betroffenheiten genommen wird (Freie Hansestadt Bremen 2018, Landeshauptstadt München 2016, Stadt Dortmund 2017, Essen 2014). Eine Übersicht gebräuchlicher Klimaparameter gibt Tabelle 1. Darüber hinaus existieren auch eher technisch ausgelegte Konzepte, die keine regionalen Klimainformationen beinhalten (Landeshauptstadt Düsseldorf 2017b, Stadt Ludwigshafen am Rhein 2010, Reutlingen 2018, Wolfsburg 2018, Regensburg 2017, Heidelberg 2014).

Tab. 1: Zusammenstellung häufig verwendeter regionaler Klimaparameter in Anpassungsstrategien

Klimaparameter/Index	Erläuterung
Langjähriges Mittel der Temperatur	In 2 m Höhe (Meteorologisches Jahr), Absolutwerte und Änderungen
Saisonaler Mittelwert der Temperatur (Winter (DJF), Frühling (MAM), Sommer (JJA) und Herbst (SON))	In 2 m Höhe (Meteorologisches Jahr), Absolutwerte und Änderungen
Anzahl der Eistage	Gesamtzahl der Tage pro Jahr mit einem Tagesminimum von $\leq 0^{\circ}\text{C}$ (in 2 m Höhe)
Dauer der Forstperiode	Maximale Länge der Periode mit mehr als n aufeinanderfolgenden Tagen mit einer Tagesmitteltemperatur von $\leq 0^{\circ}\text{C}$ (in 2 m Höhe)
Anzahl der Frosttage	Gesamtzahl der Tage pro Jahr mit einem Tagesmaximum von $\leq 0^{\circ}\text{C}$ (in 2 m Höhe)
Anzahl der Sommertage bzw. sommerlichen Tage	Gesamtzahl der Tage pro Jahr mit einem Tagesmaximum von $\geq 25^{\circ}\text{C}$ (in 2 m Höhe)
Anzahl der Hitzetage bzw. heißen Tage	Gesamtzahl der Tage pro Jahr mit einem Tagesmaximum von $\geq 30^{\circ}\text{C}$ (in 2 m Höhe)
Anzahl der Tropennächte	Gesamtzahl der Tage pro Jahr, in denen nachts die Temperatur nicht unter 20°C fällt
Tage mit Hitzestress	Gesamtzahl der Tage pro Jahr mit einem Wasserdampfdruck $e > 18,5 \text{ hPa}$
PET-Überschreitungstage (Wärmebelastung, physiologisch äquivalente Temperatur)	Gesamtzahl der Tage mit einem PET -Wert $> 35^{\circ}\text{C}$
Langjähriges Mittel der Niederschlagssumme	Gesamtniederschlag (Summe aus konvektivem und stratiformem Niederschlag), Absolutwerte und Änderungen
Langjähriger saisonaler Mittelwert der Niederschlagssumme (DJF, MAM, JJA, SON)	Gesamtniederschlag (Summe aus konvektivem und stratiformem Niederschlag), Absolutwerte und Änderungen
Anzahl der Tage mit einem Niederschlag von: $N > 10 \text{ mm}$; $N > 20 \text{ mm}$	Gesamtzahl der Tage pro Jahr mit einer Niederschlagssumme beispielsweise $> 10 \text{ mm}$ oder $> 20 \text{ mm}$
Anzahl der Tage mit Starkregenereignissen	Gesamtzahl der Tage pro Jahr mit einer Niederschlagssumme von $\geq 20 \text{ mm}$ bzw. 25 mm
Anzahl der Tage mit geschlossener Schneedecke bzw. Schneedeckentage	Gesamtzahl der Tage pro Jahr mit einer durchbrochenen oder geschlossenen Schneedecke (Schneedeckungsgrad $\geq 50\%$)
Länge von Trockenperioden	Maximale Länge der Periode mit mehr als n aufeinanderfolgenden Tagen mit einer Niederschlagssumme von $< 1 \text{ mm}$
Sonnenscheindauer	Tatsächliche Dauer der direkten Sonneneinstrahlung

Hinsichtlich der Anpassungsmaßnahmen in wachsenden Städten wird in vielen der betrachteten Konzepte darauf hingewiesen, dass die klimaangepasste Nachverdichtung Priorität vor ungebremster Außenentwicklung erhalten soll. Dabei soll auf eine baulich angemessene Dichte geachtet werden. Allerdings lässt sich dieses theoretische Konstrukt in der Praxis nur sehr schwer umsetzen. Auch wenn die „Stadt der kurzen Wege“ aus Klimaschutzgründen Vorteile bietet, so sorgt die schlechtere Durchlüftung und die Verringerung der unversiegelten und unbebauten Flächen für einen Anstieg der Temperatur am Tag und in der Nacht sowie zur Erhöhung des Oberflächenabflusses. Eine praktikable Vorgehensweise dem entgegen zu wirken ist beispielsweise der Einsatz von Dach- und Fassadenbegrünungen, da sie einen Beitrag zur Temperaturminderung im Straßen- und Innenraum leisten können, die Retention von Regenwasser unterstützen und darüber hinaus die Luftqualität verbessern. Weitere mögliche Maßnahmen sind in den Anhängen 1 - 8 aufgelistet.

Von den Folgen des Klimawandels werden alle räumlichen Ebenen der Stadt in verschiedenem Maße betroffen (Tabelle 2). In der Optimierung des baulichen Bestandes, der vorhandenen Infrastrukturen und der urbanen Grün- und Freiflächen liegen große Chancen und Potentiale. Dies gilt gleichermaßen für die Entwicklung neuer Quartiere. Prinzipiell gibt es viele kleinteilige Maßnahmen, die Synergien bieten, wie beispielsweise Barrierefreiheit, Verkehrssicherheit oder bauliche Sanierung (BBSR 2017). Ein wichtiger Startpunkt für die Entwicklung von Maßnahmen ist die Kenntnis über die potentielle Anfälligkeit von Flächen und Objekten hinsichtlich der Folgen des Klimawandels. Kriterien für eine erste Einschätzung sind in Anhang 1 aufgeführt.

Tab.2.: Zusammenstellung der Maßstabsebenen der Anpassung an den Klimawandel im urbanen Raum

Maßstabsebene	Reduktion der Anfälligkeit gegenüber den Folgen des Klimawandels durch...
Gebäude/Grundstücke	<ul style="list-style-type: none"> • Technische, bauliche und organisatorische Vorsorgemaßnahmen der EigentümerInnen und MieterInnen (Oberflächengestaltung, Durchlässigkeit, Verschattung, Begrünung etc.) • Beratungs- und Informationsangebote
Quartiere	<ul style="list-style-type: none"> • Klimawandelangepasste Bebauungspläne (Gebäudestellung, blaue und grüne Infrastruktur, etc.) • Klimawandelangepasste Bestandspflege bzw. Quartiersentwicklung • Netzwerke zur Nachbarschaftshilfe, Baumpatenschaften
Gesamtstädtischer Bereich	<ul style="list-style-type: none"> • Klimawandelangepasste Flächennutzungspläne • Sicherung klimarelevanter Kalt- und Frischluftentstehungsgebiete sowie Luftleitbahnen • Klimaangepasste Siedlungsentwicklung (Freihalten besonders gefährdeter Flächen: Überschwemmungsgebiete, sensible Nutzungen) • Masterpläne oder Entwicklungskonzepte zur Klimaanpassung (unter Berücksichtigung des Klimaschutzes) • Regionale Projektentwicklung • Bildung (cross-)sektoraler Netzwerke zur Klimaanpassung
Metropolregion/Regierungsbezirk	<ul style="list-style-type: none"> • Sicherung klimarelevanter Kalt- und Frischluftentstehungsgebiete sowie Luftleitbahnen • Klimaangepasste Siedlungsentwicklung (Freihalten besonders gefährdeter Flächen: Überschwemmungsgebiete, sensible Nutzungen) • Renaturierung von Flussläufen • Kommunenübergreifender Hochwasserschutz • Netzwerke über die Stadtgrenzen hinaus, Erfahrungsaustausch und Zusammenarbeit Stadt und Umland

Für die klimaangepasste Stadtentwicklung ist die Zeitplanung eine wichtige Randbedingung. Sie reicht von kurzfristigen, einzelbezogenen Objekt- und Gestaltungsplanungen (Schaffung kleinerer, offener Wasserflächen, Beschattung und Bepflanzung öffentlicher Plätze, Entsiegelungsmaßnahmen im Straßenraum) bis hin zu langfristigen Maßnahmen in Form der Entwicklung und Umsetzung integrierter Stadtentwicklungskonzepte, des Infrastrukturumbaus oder der Aktivierung von Luftleitbahnen (Box 2). Hierbei stehen nicht nur wachsende, sondern auch schrumpfende Städte und Gemeinden – wenn auch in unterschiedlicher Ausprägung – vor neuen Herausforderungen. Dabei hat sich gezeigt, dass es sinnvoll ist, zunächst schnell umsetzbare Maßnahmen zu wählen, da damit das Thema der Anpassung an die Folgen des Klimawandels positiv in Diskussionen eingebracht und der Weg für umfassendere Maßnahmen geebnet werden kann.

BOX 3:

Die drei stadtklimatisch relevanten Luftleitbahnen (Weber & Kuttler 2003)

- Ventilationsbahnen: gewährleisten einen Luftmassentransport unabhängig von der thermischen oder lufthygienischen Ausprägung.
- Kaltluftbahnen: transportieren Kühle, aber hinsichtlich der lufthygienischen Situation nicht näher spezifizierte Luftmassen.
- Frischluftbahnen: leiten lufthygienisch unbelastete, thermisch aber nicht näher differenzierte Luftmassen.

Eine besondere Herausforderung geht vom demografischen Wandel aus, der den Strukturwandel und den Modernisierungsbedarf insoweit beeinflussen kann, dass er den klimaangepassten Städtebau sowie die Neuschaffung und Erweiterung von Freiflächen voranzutreiben vermag (Stadt Mannheim 2019, Hagen 2018, Essen 2014).

Eine weitere Herausforderung für die Erstellung und Umsetzung von Klimaanpassungskonzepten ist der Umstand, dass zum Zeitpunkt der Erarbeitung oftmals bereits ein Klimaschutzkonzept oder ein Beschluss zur Berücksichtigung von Klimaschutzaspekten vorliegt, in das sich die Klimaanpassungsmaßnahmen einfügen müssen. Dadurch, dass die Klimaschutzthemen durch den zeitlichen Vorsprung bereits etablierter und ihre Notwendigkeit somit eher anerkannt ist, steht die Klimaanpassung vor der Herausforderung, sich in bereits bestehende Zielsetzungen als zusätzliche neue Aufgabe einfügen zu müssen. Dass aber die Anpassungsziele nicht immer deckungsgleich mit den Zielen des Klimaschutzes sind, zeigt Kapitel 4. Dieses Konfliktpotenzial kann in Zukunft bei neu zu erstellenden Konzepten umgangen werden, wenn von Anfang an eine integrierte Betrachtung und Abwägung im Einzelfall von Klimaschutz und Klimaanpassung erfolgt.

3.2 Wichtige Komponenten der Anpassungsstrategien

Die Synthese der ausgewählten 40 Anpassungsstrategien deutscher Großstädte aus den Jahren 2013 bis 2019 zeigt, dass sich der Fokus der Strategien, einschließlich zugehöriger Schlüsselmaßnahmen, auf folgende Bereiche konzentriert:

- Gesundheitsvorsorge (meistens mit dem Fokus auf Hitze),
- Klimaangepasstes Bauen (inklusive Hochwasserschutz und Starkregenvorsorge),
- Klimaangepasste Vegetation (mit Schwerpunkt auf Stadtbäume),
- Klimaangepasste kritische Infrastruktur,
- Boden- und/oder Grundwasserschutz,
- Anpassung als Managementaufgabe (einschließlich Öffentlichkeitsarbeit, Planung und Umsetzungsmanagement)

Nachfolgend werden diese Komponenten im Detail vorgestellt. Unter anderen werden dazu ausgesuchte komponentenspezifische Maßnahmen zur Minderung einzelner Klimafolgen betrachtet und einzelne Maßnahmen aufgeführt, die der Anpassung an die Folgen des Klimawandels oder dem Klimaschutz dienen beziehungsweise die Synergien von beiden nutzen.

Klimawandelanpassung-Komponente: Gesundheit

Der Sektor Gesundheit spielt in vielen Anpassungsstrategien eine zentrale Rolle (Landeshauptstadt Magdeburg 2017, München 2016, Stuttgart 2012, Stadt Mannheim 2019, Offenbach am Main 2017, Münster 2015, Karlsruhe 2013, Rostock 2012, Solingen und Remscheid 2012), da die Folgen des Klimawandels die menschliche Gesundheit in vielfacher Weise – direkt und indirekt – negativ beeinflussen können (GERICS 2020). Ein ernstzunehmendes Gesundheitsrisiko geht von der Zunahme der Anzahl von heißen Tagen und Tropennächten sowie längeren und intensiveren Hitzeperioden aus. Neben der Zunahme thermischer Belastung wird auch die Zuwanderung und Ausbreitung Wärme liebender Krankheitserreger und -überträger begünstigt sowie das Allergie- und Hautkrebsrisiko erhöht. Ein umfassendes Monitoring potenzieller Krankheitsüberträger ist daher ebenso wichtig, wie die frühzeitige Information der Bevölkerung und der Schutz von speziell älteren Menschen, Kindern, Schwangeren und Menschen, die im Freien arbeiten oder an chronischen Krankheiten leiden (Abb. 1., Anhang 2).

Neben den höheren Temperaturen kann sich durch die zunehmende Sonneneinstrahlung auch die Konzentration des bodennahen Ozons erhöhen, welches aus den Ausgangsstoffen NO₂, CO und VOC (flüchtige organische Verbindungen) entsteht (Landeshauptstadt Potsdam 2015; Stadt Berlin 2016b). Ursprung dieser Verbindungen sind überwiegend Verbrennungsmotoren. Selbst um heutige Grenzwerte einzuhalten, muss der motorisierte Individualverkehr – wie auch vom Klimaschutz verlangt – reduziert werden.

Nicht außer Acht gelassen werden sollte darüber hinaus die unmittelbare Gesundheitsgefährdung durch die regional steigende Anzahl und Intensität von Extremereignissen, wie Stürme, Starkregen oder Gewitter (Box 4). Auch daraus ergeben sich für Kommunen neue Herausforderungen.

BOX 4:

In den Strategien benannte direkte und indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit

- **Starkregenereignisse, Hochwasser:**
Überflutungen; Mobilisierung und Transport von Schadstoffen; Schwächung/Zerstörung von Bauwerken und der Infrastruktur des öffentlichen Gesundheitswesens; Verletzungsgefahr durch Treibgut; Ertrinken in Kellerwohnungen.
- **Hitzewellen:**
Zunahmen hitzebedingter Atemwegs- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen mit einer erhöhten Mortalität; sinkender thermischer Komfort; geminderte Leistungsfähigkeit.
- **Stärkere Sonneneinstrahlung:**
Erhöhtes Sonnenbrand- und Hautkrebsrisiko.
- **Höhere Durchschnittstemperaturen:**
Begünstigung der Ausbreitung von Infektionskrankheiten (indirekt über Insekten (Stechmücken, Wanzen und Zecken) oder direkt über Lebensmittel); Zunahme von Allergien (verlängerte Pollensaison; Zunahme Ambrosia-Pollen) oder irritative Reaktionen auf Umweltreize (beispielsweise durch Eichenprozessionsspinner); Zunahme von Blaualgen und Bakterien-Erkrankungen in Gewässern (z.B. Vibrionen). Allerdings ist die Ausbreitung allergieauslösender Pflanzen und Tiere multikausal (Klimawandel, zunehmende Verkehrs- und Warenströme).
- **Verschlechterung der Lufthygiene:** Steigende Konzentration toxischer Stoffe (Feinstaub, Ozon, etc.) begünstigen Atemwegserkrankungen; steigende Geruchsbelastungen (beispielsweise aus der Kanalisation).

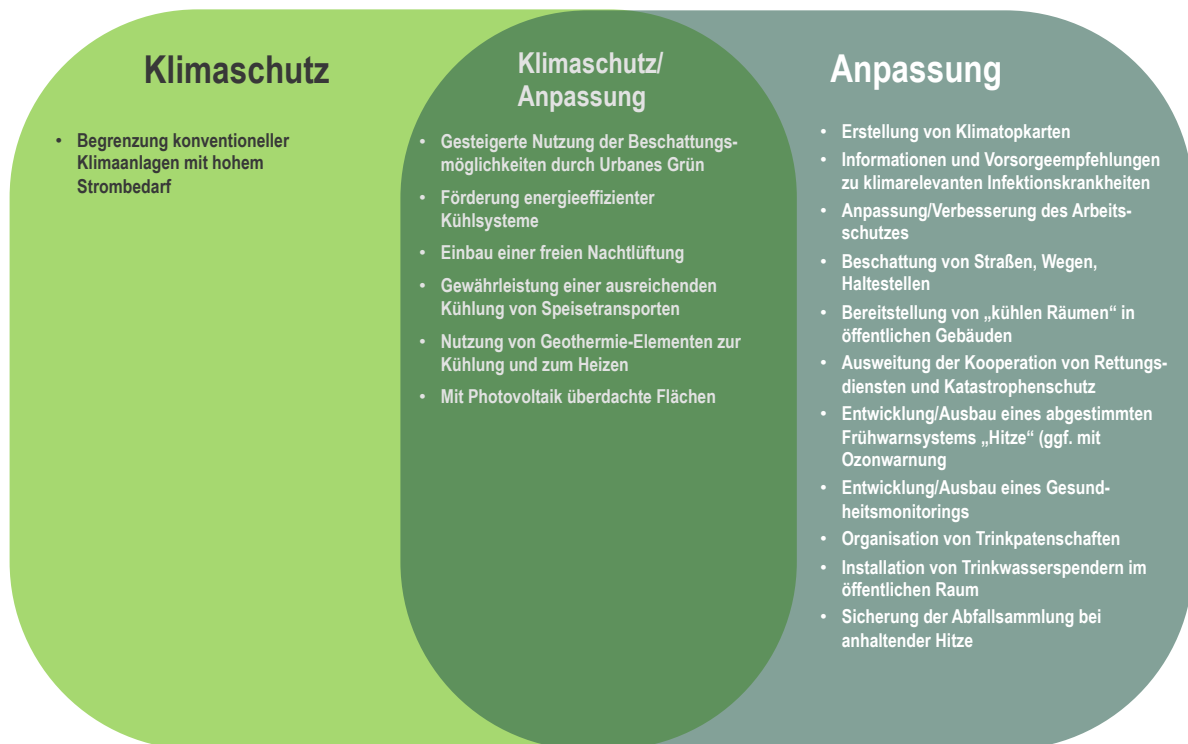


Abb. 1: Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen für den Sektor Gesundheit (eigene Darstellung)

Klimawandelanpassung-Komponente: Stadtentwicklung und klimaangepasstes Bauen

Ballungsräume und Städte sind aufgrund der Bebauungsdichte und der hohen Konzentration wirtschaftlicher Tätigkeiten besonders sensibel gegenüber den Folgen des Klimawandels. Als besondere Herausforderungen sind das Auftreten von Starkregenereignissen und die Zunahme von heißen Tagen und Tropennächten zu nennen. Aufgrund des hohen Versiegelungsgrads werden urbane Überflutungen und das Aufheizen von Stadtgebieten verstärkt. Hinzu kommt der regional und lokal vorhandene Siedlungsdruck und die steigende Wohnungsnachfrage, die die Herausforderungen angesichts knapper Flächen tendenziell weiter verschärfen. Um die Sicherheit, das Wohlbefinden und die Gesundheit von Menschen auch zukünftig zu sichern, muss die Stadtplanung schon heute mögliche Betroffenheiten durch die Folgen des Klimawandels antizipieren und hierzu innovative Lösungsansätze zu deren Abmilderung entwickeln. Effektive Anpassungsmöglichkeiten bietet beispielsweise das Albedomanagement (Stadt Karlsruhe 2013), also die Verwendung heller Materialien mit hoher Rückstrahlwirkung oder das Anlegen der Vorgärten als Vegetationsfläche, um den Straßenraum zu begrünen und Flächen zu entsiegeln. Weitere häufig genannte Maßnahmen finden sich in der Box 4, Abb.2, Anhang 3.



Abb.2: Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen für den Sektor Raum- und Stadtplanung (eigene Darstellung)

BOX 4:
Häufig genannte Maßnahmen mit Raumwirkung

- Erhalt, Ausbau und Öffnen von Frischluft-, Kaltluft- und Belüftungsbahnen: Nutzung ehemaliger Bahntrassen und vergleichbarer Bereiche innerhalb der Stadt; gleichzeitiges Freihalten von wichtigen Kaltluftentstehungsgebieten.
- Entkernung von (relativ hoch verdichteten) Blockinnenraumbereichen.
- Nutzung des Potenzials von Dach-, Fassaden- und Innenhofbegrünung; Quartiersbezogene Zuordnung von ausreichend Grünflächen.
- Begrünung zur städtebaulichen Aufwertung der Stadträume (inklusive Baumpflanzungen, „grüne“ Schienentrassen, Rasengittersteine auf Parkplätzen).
- Entwicklung von (temporären) Notwasserwegen im Siedlungsbereich; Festlegen von Vorrang- und Vorbehaltsflächen für den Hochwasserschutz.
- Konzeption von Multifunktionsflächen (temporärer Retentionsraum, Versickerung von Oberflächenwasser, Erzeugung oder Speicherung erneuerbarer Energien, Hitzeminderung, Erholung).

In vielen Anpassungsstrategien richtet sich der Blick auch auf die Gebäudeebene hinsichtlich eines klimaan-gepassten Bauens (Landeshauptstadt Stuttgart 2012; Stadt Kaiserslautern 2019, Mannheim 2019, Bochum 2018, Hagen 2018, Münster 2015, Essen 2014). Hier zielen die Maßnahmen von der Optimierung der Verschattungsmöglichkeiten und Fassadengestaltung (wie Begrünung oder besseres Reflexionsvermögen), über die energieoptimierte Bauweise (A/V-Verhältnis: Verhältnis zwischen Oberfläche und Volumen eines Gebäudes) bis hin zur Klimatisierung durch Reduktion innerer Wärmequellen (Abb.3., Anhang 4).



Abb.3: Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen für den Sektor Gebäude und Quartiere (eigene Darstellung)

Bei Neubauten wird auf die Minimierung des Glasflächenanteils, eine durchdachte räumliche Ausrichtung von Arbeits- und Aufenthaltsräumen, außenliegenden Sonnenschutz und freie Nachtlüftung hingewiesen. Es gilt jedoch nicht nur bauliche Maßnahmen gegen Hitzewellen umzusetzen, sondern auch Vorkehrungen gegen Schlagregen (beispielsweise Dachvorstände, spritzwassergeschützte Sockel), Überflutungen (beispielsweise Rückstauklappen, Ableitung in Regenwasserzisternen, überflutungssichere Unterbringung versorgungsrelevanter Anlagen) und Starkwindereignisse (beispielsweise Dimensionierung von Dach- und Fassadenbauteilen) zu ergreifen.

Klimawandelanpassung-Komponente: Verkehr und Mobilität

Viele Kommunen setzen auf zukünftig emissionsfreie Innenstädte. Um die Mobilität der Menschen nicht einzuschränken, liegt ein Schwerpunkt auf der Transformation hin zu emissionsfreien Verkehrsmitteln. Im Hinblick auf eine multifunktionale Verwendung der Verkehrsinfrastruktur – insbesondere Straßen und Schienen – sowie einem attraktiven ÖPNV gibt es auch viele Anpassungsmaßnahmen, die umgesetzt werden können (Abb.4., Anhang 5). Vor allem in Bezug auf mögliche anfallende Baumaßnahmen oder kommunale Investitionen eröffnen sich viele Möglichkeiten, das Thema der Anpassung proaktiv mitzudenken. So können beispielsweise Maßnahmen zur Regenwasserversickerung bei einer Straßenerneuerung sinnvoll integriert werden.



Abb.4: Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen für den Sektor Verkehr und Mobilität (eigene Darstellung)

Klimawandelanpassung-Komponente: Kritische Infrastruktur

Auch alle Komponenten der kritischen Infrastruktur müssen auf die Anfälligkeit gegenüber sich verändernden Anforderungen durch die Folgen des Klimawandels geprüft werden. Generell ist von vermehrten Schäden und Ausfällen durch die Zunahme der Anzahl und Intensität von Extremereignissen auszugehen (IPCC 2018). Somit wird die Materialbeanspruchung aber auch der Aufwand für die Bewältigung der Schäden steigen. Vor diesem Hintergrund wird in einigen Anpassungsstrategien darauf hingewiesen, dass es zukünftig wichtig sei, Gefährdungs- und Ausfallrisiken für Anlagen im Hinblick auf sich ändernde Klimaparameter zu analysieren (Freie Hansestadt Bremen 2015, 2018, Landeshauptstadt Erfurt 2012, Stuttgart 2012, Stadt Kaiserslautern 2019, Hagen 2018, Leipzig 2016, Solingen und Remscheid 2012), um Maßnahmen zur Risikominderung erarbeiten zu können. Dazu gehören beispielsweise die klimagerechte Standortsuche und Objektschutzmaßnahmen. Dies gilt sowohl für Gebäude wie auch für technische Anlagen (Gleisanlagen, Straßenoberflächen, Versorgungsleitungen (Trinkwasser- und Abwassersysteme, Strom- und Wärmeleitungen)). Dies schließt ins-

besondere auch Anlagenteile der Leit- und Sicherungstechnik sowie der elektrischen Energieversorgung mit ein. So sollten beispielsweise eine erhöhte Sonneneinstrahlung auf Schalthäusern oder überschwemmungsgefährdete Standorte für Verteilerstationen oder Notstromaggregate vermieden werden. Weiterhin können auch Verkehrsschilder, Dachbedeckungen, Überdachungen und Signalmasten direkt betroffen sein, wenn deren zulässige Verankerungslast als Folge von Stürmen überschritten wird. Winderregte Schwingungen stellen darüber hinaus auch ein Gefährdungspotential dar und können zu Brückenschäden führen.

Eine weitere wichtige Komponente, die bestehende (Früh-)Warnsysteme ergänzen kann, ist die Erstellung von abgestimmten Alarm- und Einsatzplänen beziehungsweise Havarieplänen. Diese beinhalten vorgegebene Verbreitungswege für Informationen und Strategien zur Bereitstellung und Nutzung von Notstromaggregaten, dem Notfallmanagement zur Freihaltung verkehrsrelevanter Unterführungen und Rettungsrouten sowie der Koordinierung der Aufräum- und Reparaturmaßnahmen nach einem Extremwetterereignis (Abb.5, Anhang 6).



Abb.5: Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen für Kritische Infrastrukturen (KRITIS) (eigene Darstellung)

Klimawandelanpassung-Komponente: Klimaangepasste Vegetation

Durch die Folgen des Klimawandels kann sich auch die Vegetation in unseren Städten verändern, weshalb in vielen Anpassungsstrategien der Themenkomplex „urbanes Grün“ aufgegriffen wird. Dort wird häufig die Umstellung auf eine klimaangepasste Vegetation thematisiert, die vor allem besser an sommerliche Trockenperioden angepasst ist (vgl. dazu Landeshauptstadt Hannover 2017, Magdeburg 2017, Stadt Kaiserslautern 2019). Unter anderem planen Städte neue trockenheitstolerante und winterharte Arten zu erproben. Für Neuanpflanzungen von Bäumen gibt es hierzu bereits Empfehlungen in der Klima-Arten-Matrix (KLAM) (Roloff et al. 2008). Vielfach wird darauf hingewiesen, dass stets individuell geprüft werden muss, ob der Pflanzung heimischer Arten Vorrang vor der Wahl standortgerechter, angepasster Arten einzuräumen ist. Dazu wird als eine Unterstützungsmaßnahme die Ausweisung thermischer Belastungszonen in der Stadt angeraten, um Bereiche

zu identifizieren, in denen das Anpflanzen nichtheimischer Gehölzarten sinnvoll sein kann. Dadurch lassen sich Ressourcen einsparen und es wird ein Beitrag zum klimagerechten Umbau städtischer Grünflächen geleistet.

Darüber hinaus sollte bei allen Baumpflanzungen darauf geachtet werden, dass neugepflanzte Bäume einen ausreichend großen Wurzelraum mit wasserspeicherfähigem Substrat erhalten. Als weiterer Vorteil wird die Schaffung eines Oberflächengefälles hin zum Stamm gesehen, damit Oberflächenwasser im Bereich der Baumscheibe gesammelt und dort versickern kann. Bei der Auswahl von Stadtbäumen muss außerdem beachtet werden, dass von diesen kein geschlossenes Kronendach ausgebildet wird, da sich dadurch auf Grund mangelnden Luftaustauschs Schadstoffkonzentrationen im Straßenraum erhöhen können (Stadt Essen 2014).

Klimawandelanpassung-Komponente: Boden- und Grundwasserschutz

Böden spielen als wichtige Kohlenstoffsene eine zentrale Rolle im Klimageschehen. Intakte Böden können Regenwasser aufnehmen und damit zur Entlastung von Entwässerungsanlagen beitragen. Ebenso sind sie in der Lage, durch die Verdunstung des Wassers die Temperaturen in der nahen Umgebung zu senken, wodurch Hitzestaueffekte gemildert werden können. Einige Bodentypen weisen ein hohes Wasserspeicherpotential auf. Deshalb reagieren sie empfindlich auf ein sich veränderndes Niederschlagsverhalten und stärkere Grundwasserschwankungen. Im Sommer können durch das Austrocknen Setzungen entstehen, im Winter können durch hohe Grundwasserstände Schadstoffe aus bislang nicht grundwasserbeeinflussten Bodenhorizonten mobilisiert werden. Aus diesen Gründen enthalten einige Anpassungsstrategien die Komponenten Boden- und Grundwasserschutz (Landeshauptstadt Düsseldorf 2017a, 2017b, Hannover 2017, München 2016, Potsdam 2015, Stuttgart 2012; Hansestadt Lübeck 2019; Stadt Köln (LANUV 2019, 2013), Frankfurt 2016, Leipzig 2016, Neuss 2016, Münster 2015, Essen 2014, Karlsruhe 2013, Oberhausen 2013, Bottrop 2011). Hierbei werden viele Maßnahmen genannt, die die klimawirksamen Funktionen des Bodens erhalten beziehungsweise verbessern (Abb.6, Anhang 7). Dazu zählen der Erhalt naturnaher Böden, die Fortsetzung der Rückführung ehemaliger Industrie- und Gewerbeflächen, die Entsiegelung von Flächen, eine humusmehrende Bewirtschaftung kommunaler Grünflächen einschließlich der Konzeption alternativer Bewässerungskonzepte zur Erhaltung der Grünfunktion während Trockenperioden. Aber auch die Erfassung und Bewertung von Bodenveränderungen durch Wassererosion, gegebenenfalls auch orientierende Untersuchungen zur Prüfung der Gefahrenabwehr von Erosionsvorgängen sowie die Durchführung von Sicherungsmaßnahmen, wie beispielsweise eine Dauerbegrünung oder eine angepasste Bodenbearbeitung, sind mögliche Anpassungsoptionen (Freie Hansestadt Bremen 2015, 2018).

Grundwasser spielt in vielen Regionen Deutschlands eine wichtige Rolle für die Trinkwasserversorgung, einer zentralen Aufgabe der kommunalen Daseinsvorsorge. Die Folgen des Klimawandels können zukünftig nahezu alle Komponenten des lokalen Wasserkreislaufs beeinflussen und somit zu Veränderungen bei der zeitlichen Verfügbarkeit und der Qualität der Ressource Grundwasser führen (Bender et al. 2021). Aus Sicht der Wasserwirtschaft müssen dabei sowohl langfristige Trends, wie Veränderungen bei Grundwasserhoch- und -tiefständen, als auch das Auftreten von Extremereignissen, die Wassergewinnungsanlagen oder die Wasserverfügbarkeit gefährden, berücksichtigt werden. Dazu wird als wichtige Anpassungsmaßnahme die Entwicklung eines kommunalen Grundwassermanagements genannt, das die gezielte Anreicherung, Zwischenspeicherung und Nutzung des Grundwassers beinhaltet (Abb.6, Anhang 7). Eine Verifizierung der Auswirkungen von Grundwasserschwankungen ist über stockwerksdifferenzierte Grundwassermodelle möglich. Zur Ableitung von Handlungsempfehlungen sind jedoch langjährige Messreihen Grundvoraussetzung.



Abb.6: Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen für den Sektor Ökosysteme, Boden, Grundwasser (eigene Darstellung)

Klimawandelanpassung-Komponente: Anpassung als Managementaufgabe

Die kommunenübergreifende Anpassung an die Folgen des Klimawandels ist angesichts des vielfältigen Akteurspektrums auch eine kommunikative Herausforderung. Eine kontinuierliche und zielgerichtete Kommunikation soll daher die weitere Konkretisierung und Umsetzung der Maßnahmen unterstützen, dazu beitragen Konflikte und Synergien frühzeitig zu erkennen sowie eine Partizipation der BürgerInnen ermöglichen, um die Akzeptanz zu erhöhen. Wichtige Grundprinzipien (Stadt Offenbach am Main 2017, Halle/Saale 2016,) sind hierbei:

- Transparenz
- Offenheit (mögliche Konflikte sachlich zu kommunizieren)
- Kontinuität (wichtig im Hinblick auf das Gefahrenbewusstsein)
- abgestimmte Informationen (umfassende, widerspruchsfreie Informationen mit hoher Qualität)
- Sichtbarkeit (Nutzung sozialer Medien, Pressemitteilungen, Wiedererkennungswert sicherstellen)
- Aktualität (laufende Aktualisierung von Informationsmaterialien).

In vielen Klimaanpassungsstrategien wird darauf hingewiesen, dass zur Durchführung von Anpassungsmaßnahmen eine ämterübergreifende Koordination zur Unterstützung und Organisation notwendig ist (Freie Hansestadt Bremen 2015, 2018; Hansestadt Lübeck 2019; Landeshauptstadt Düsseldorf 2017a, 2017b; Stadt Kaiserslautern 2019, Hagen 2018, Münster 2015). Allerdings stellt die Berücksichtigung von Klimaschutz und Anpassung innerhalb der Kommunalverwaltung eine große Herausforderung dar. Wie die Erfahrung zeigt, ist die Grundstruktur von Verwaltungen zumeist sektoral beziehungsweise klar nach Fachbereichen getrennt aufgebaut. Als mögliche Lösung wird dazu häufig die Etablierung ressortübergreifender Arbeitsgruppen und/oder die Neuschaffung einer Koordinierungsstelle für eine/n KlimaanpassungsmanagerIn genannt. Diese/r soll sich mit anderen ExpertInnen vernetzen und wichtige Schnittstellen zwischen Handlungsfeldern und Zuständigkeiten besetzen. Dadurch soll die Klimaanpassung zu einem festen Bestandteil in räumlich und stadtklimatisch relevanten Planungs- und Entscheidungsprozessen werden. Zu den Aufgabenbereichen des Klimaanpassungsmanagements gehören: i) die Schaffung einer Anlaufstelle in Bezug auf Fragen und Informationen rund um das Thema Klimafolgen nach innen (Verwaltung) wie nach außen (BürgerInnen, Akteursnetzwerke, Multiplikatoren), ii) das Monitoring der Maßnahmenumsetzung, iii) die Optimierung der Daseinsvorsorge auf Grundlage von Ereignisszenarien, iv) die Etablierung von (Früh-)Warnsystemen, v) eine zielgruppenspezifische Öffentlichkeitsarbeit zur Thematik Klimaanpassung, vi) eine Fortschreibung des Klimaschutz- und Anpassungskonzeptes und vii) die Erstellung von Fortschrittsberichten, einschließlich erreichter Meilensteine, aufgetretener Hemmnisse und dem aktualisierten Wissenstand zur Neuausrichtung von Maßnahmen (Abb.7, Anhang 8).



Abb.7: Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen für den Sektor Anpassung als Managementaufgabe (eigene Darstellung)

Wichtige Kommunikationsbausteine, die die Umsetzung und Implementierung von Anpassungsmaßnahmen unterstützen können, bilden Fort- und Weiterbildungsangebote für VerwaltungsmitarbeiterInnen, ArchitektInnen oder HandwerkerInnen. Diese Angebote sollen neben der Sensibilisierung für das Thema Klimaanpassung auch dazu dienen, neue Netzwerke zu bilden, um Erfahrungen austauschen zu können. Als weitere Maßnahmen werden häufig auch Informationsangebote für private Haushalte, Volkshochschulen, Schulen und Kindergärten genannt (Landeshauptstadt Magdeburg 2017, Stadt Münster 2015). Auch Informationsveranstaltungen können ein gutes Mittel sein, um die Folgen des Klimawandels und notwendige Anpassungsmaßnahmen für unterschiedliche Gruppen thematisieren zu können. Ein gutes Beispiel dazu liefert die Stadt Mühlheim an der Ruhr (2019), wo lokale Extremereignisse (Hitzesommer, Orkantief, Starkregenereignisse) aus der jüngeren Vergangenheit verwendet wurden, um die verschiedenen Klimafolgen für einzelne Teile der Stadt zu zeigen.

4. SYNERGIE- UND KONFLIKTPOTENTIALE ZWISCHEN KLIMASCHUTZ UND KLIMAAANPASSUNG

Klimaschutz und Anpassung an die Folgen des Klimawandels sind zwei sich ergänzende Strategien. Keine ist ohne die andere denkbar. Daher liegen große Potentiale im Bereich der interdisziplinären und integrativen Zusammenarbeit von Klimaschutz und Anpassung. Wie Befragungen zeigen, sind Arbeitsgruppen zum Klimaschutz deutlich verbreiteter als zum Thema Klimaanpassung. Darüber hinaus hat sich die Bedeutung der Klimaanpassung bei Kommunen seit 2012 kaum vergrößert (Bertelsmann-Stiftung 2020). Auch wenn sich die Anzahl der Klimaanpassungskonzepte wenig verändert hat, so werden aber einzelne Maßnahmen zur Klimaanpassung häufiger umgesetzt (Umweltbundesamt 2019).

Bei der Umsetzung von Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen sollte darauf geachtet werden, dass in einem systemischen Ansatz gedacht wird. Das bedeutet, dass man die klimatischen und nicht-klimatischen Treiber und deren Wechselwirkungen für alle relevanten Handlungsfelder berücksichtigt. Ansätze dazu sind in Kapitel 5 aufgeführt. Damit können auch Zielkonflikte frühzeitig identifiziert werden, wie beispielsweise Maßnahmen, die mögliche Synergieeffekte konterkarieren.

Von Vorteil ist es auch, wenn EntscheidungsträgerInnen frühzeitig eingebunden werden. Dadurch können alle Beteiligten hinsichtlich möglicher Synergie- und Konfliktpotentiale sensibilisiert werden, denn häufig treten Konflikte bereits bei den Entscheidungen über die einzusetzenden Instrumente oder die institutionellen Zuständigkeiten auf.

Die Bewertung einzelner Maßnahmen sollte immer individuell und kontextabhängig erfolgen, wobei auch die unterschiedlichen Perspektiven, Interessenlagen und Zielvorstellungen aller involvierten Akteure und Institutionen berücksichtigt werden sollten (BMVBS 2013). Darüber hinaus zeigt die Erfahrung, dass es sich zur Realisierung von Synergien anbietet, bei der Maßnahmenentwicklung die Ziele anderer Handlungsfelder, wie die Förderung einer nachhaltigen Lebensweise, Ökologie und Umweltschutz oder der nachhaltigen Freiraum- und Siedlungsentwicklung, mitzudenken. Durch die Identifizierung möglicher Synergien zwischen Klimaanpassung und Klimaschutz sowie auch zwischen Klimaanpassung und anderen Stadtentwicklungsbelangen mit dafür ohnehin geplanten Infrastrukturmaßnahmen, ergeben sich häufig gute Chancen für die konkrete Umsetzung von entsprechender Anpassungsmaßnahmen. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick möglicher Synergie- und Konfliktpotentiale von Anpassungsmaßnahmen mit Klimaschutz und anderen Belangen der Stadtentwicklung (Tab.3).

Tab.3: Synergie- und Konfliktpotentiale von Anpassungsmaßnahmen (Stadt Recklinghausen 2017, verändert und ergänzt):

Maßnahme	Synergie	Konflikt
Erhalt und Schaffung von Luftleitbahnen	<ul style="list-style-type: none"> • Oberflächen-Entsiegelung reduziert Oberflächenabfluss bei Starkregen • Nutzung von Flächen zur Naherholung oder für den Biotop- und Artenschutz 	<ul style="list-style-type: none"> • Widerspricht kompakten Stadtstrukturen im Sinne der Verkehrsvermeidung • Erhöhung der Windgeschwindigkeiten bei Sturmereignissen möglich
Festlegung von Bebauungsgrenzen	<ul style="list-style-type: none"> • Kompakte Stadtstrukturen, geringe Landschaftszersiedelung • Sicherung von Freiflächen für Regenwasserversickerung • Grünentwicklung und Biotopverbundplanung 	<ul style="list-style-type: none"> • Ausweisung von Wohnbauflächen bei Bevölkerungswachstum • Wirtschaftliche Interessen bei der Ausweisung von Gewerbegebieten
Begrünung von Straßenzügen	<ul style="list-style-type: none"> • Filterung von Luftschadstoffen • Erhöhung der Aufenthaltsqualität 	<ul style="list-style-type: none"> • Mögliche Behinderung des Luftaustauschs bei geschlossenem Kronendach • Konkurrenz zu Leitungskanälen entlang der Straßen • Konkurrenz zu straßenparallelen Parkstreifen
Bepflanzung urbaner Räume mit geeigneten Pflanzenarten	<ul style="list-style-type: none"> • Biotopschutz • Biodiversität 	<ul style="list-style-type: none"> • Klimaangepasste Arten sind eventuell gebietsfremde Arten
Offene Wasserflächen schaffen	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhung der Aufenthaltsqualität • Kühlung • Wasserzischenspeicherung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Kostenaufwand Instandhaltung • Nutzungskonflikte auf innerstädtischen Plätzen (Märkte, etc.) • Energieverbrauch für Pumpen (Kombination mit Photovoltaik sinnvoll)
Nutzung von Überschussmengen aus der lokalen Grundwasserbewirtschaftung	<ul style="list-style-type: none"> • Bewässerung von Stadtgrün in Trockenzeiten • Verbesserung des Stadtklimas 	<ul style="list-style-type: none"> • Platz zur Zwischenspeicherung notwendig
Dachbegrünung	<ul style="list-style-type: none"> • Energieeinsparung durch Dämmung • Rückhalt von Niederschlagswasser • Einsparung Entwässerungsgebühren • Erhöhung der Biodiversität (Lebensraum für Insekten) • Kombination mit Solaranlagen möglich, Vegetation kann beschattet werden, Begrünung kühlt Anlagen und kann Effizienzsteigerung ermöglichen 	<ul style="list-style-type: none"> • Bewässerung in Trockenperioden zum Erhalt der Kühlfunktion • Pflegeaufwand • Statik der Dachflächen, maximale Tragfähigkeit auch bei weiterer möglicher Dachlast beachten
Gebäudeausrichtung optimieren	<ul style="list-style-type: none"> • Energieeinsparung bei der Gebäudekühlung (z.B. durch Klimaanlage) im Sommer 	<ul style="list-style-type: none"> • Gute Durchlüftung vs. kompakte Bebauungsstrukturen • Im Sommer Beschattung, im Winter Besonnung erwünscht

Tab.3: Fortsetzung

Maßnahme	Synergie	Konflikt
Rückbau versiegelter Flächen	<ul style="list-style-type: none"> • Geringere Aufheizung • Verbesserte Versickerung von Niederschlagswasser (Grundwasserneubildung) • Ansprechende Gestaltung 	<ul style="list-style-type: none"> • Einschränkung der Nutzungsmöglichkeiten (Oberfläche und Tiefgaragen) • Barrierefreiheit eingeschränkt • Bei vorhandenen Bodenbelastungen nicht umsetzbar • Pflegeaufwand steigt
Multifunktionale Flächen-nutzung auf Sport-, Frei- und Verkehrsflächen	<ul style="list-style-type: none"> • Erbringung von Nutzen für Klimaschutz und -anpassung (z.B. Erzeugung und Speicherung erneuerbarer Energien in Kombination mit Begrünung und Regenwasserversickerung) • Einsparen von Flächeninanspruchnahme an anderer Stelle, somit Freihalten von Kaltluftzufuhr und Frischluftschneisen möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Gefahr der Qualitätseinbußen durch hohen Nutzungsdruck auf Freiflächen

Für die Realisierung von Synergien zwischen Klimaschutz und Anpassung ist neben der Gebäudeebene vor allem auch die Quartiersebene geeignet, da Maßnahmen, die in unmittelbarer Umgebung der BürgerInnen umgesetzt werden, ein stärkeres Interesse auslösen und eine höhere Identifikation erzeugen – vor allem dann, wenn die flankierende Öffentlichkeitsarbeit verstärkt auf der Stadtteil- und Quartiersebene stattfindet (Stadt Hamm 2019, 2015). Zudem können in einem Quartier verschiedene kleinräumige Maßnahmen gebündelt und die Aufgaben auf mehrere Akteure verteilt werden. Ein attraktiveres, optisch schöneres und begrüntes Quartier fördert darüber hinaus das Wohlbefinden und die Wohnzufriedenheit der AnwohnerInnen. Die damit verbundene Werthaltigkeit der Immobilien steigert die Investitionsbereitschaft der Eigentümer und somit die positive Entwicklungsperspektive des Quartiers (Stadt Herne 2019).

5. ANPASSUNG AN DIE FOLGEN DES KLIMAWANDELS – NOTWENDIGKEIT EINER SYSTEMISCHEN BETRACHTUNG

Wie eine aktuelle Befragung zeigt, wächst der Anteil der Kommunen, die sich mit den Folgen von extremen Wetterereignisse auseinandersetzen mussten (2008: 76%; 2016: 79%, 2020: 88%) (Hagelstange et al. 2021). Die Befragungen zeigen darüber hinaus, dass die mehrmalige Betroffenheit ebenfalls deutlich angestiegen ist. Deshalb ist es nicht verwunderlich, dass heutige und zukünftige Extremereignisse, wie Starkregen, Hitzewellen, Trockenperioden oder Stürme, im Fokus der Anpassungsstrategien stehen. Von besonderem Interesse sind hierbei historische und aktuelle Hot-Spots, da sich dort in Folge einer höheren Anzahl und Intensität von Wetterextremereignissen die Situation zukünftig weiter verschärfen kann. Allerdings muss auch immer mitgedacht werden, dass durch städtebauliche Veränderungen neue Hot-Spots entstehen können, wie beispielsweise das Auftreten neuer Überflutungsbereiche als Folge von großflächigen Bodenversiegelungen oder die lokale Zunahme von Hitzeinseln aufgrund der Bebauung von Kaltluftkorridoren.

Da die Klimaveränderungen je nach Region und lokalen Rahmenbedingungen zu unterschiedlichen Herausforderungen führen, sind nachfolgende Aussagen nicht allgemein gültig. Daher sind stets individuelle Analysen und Bewertungen durchzuführen, um die Vulnerabilität einzelner Teilbereiche, Sektoren bzw. Handlungsfelder in Bezug auf eine oder mehrere Klimaveränderungen im Detail spezifisch zu ermitteln.

Starkregenereignisse

Schon heute verursachen lokal auftretende Starkregenereignisse zum Teil erhebliche Sach- und Personenschäden. Durch die zu erwartende Zunahme der Häufigkeit und Intensität wird sich die Gefahr von Überflutungsschäden an Gebäuden, gewerblichen Anlagen und Teilen der kritischen Infrastruktur weiter erhöhen. Insbesondere der Energiesektor stellt hier einen sensiblen Bereich dar, da durch Stromausfälle viele weitere Sektoren indirekt durch Kaskadeneffekte betroffen werden können.

Der Schutz vor Überflutungen – sei es durch ein Flusshochwasser oder nach einem Starkregen – beginnt mit der Sensibilisierung und Bewusstseinsbildung in der Stadtverwaltung und der Bevölkerung (Groth et al. 2020).

Als Grundlage für Simulationsrechnungen, um mögliche überschwemmungsgefährdete Bereiche von Fließgewässern identifizieren zu können, dienen vielfach 100jährige (HQ100) (Stadt Mannheim 2019, Hagen 2018, Frankfurt 2016, Neuss 2016, Göttingen 2015, Münster 2015, Karlsruhe 2013) beziehungsweise 200jährige Hochwasserereignisse (HQ200) (Hansestadt Lübeck 2019, Stadt Saarbrücken 2012). Da viele Abflussaufzeichnungen bestenfalls 100 Jahre zurückreichen, werden Extremereignisse wie Jahrhundert- oder Jahrtausendereignisse ausgehend von den vorliegenden Daten extrapoliert, was zu deutlichen Unsicherheiten bei den Aussagen führt, da es nicht möglich ist, alle relevanten Rahmenbedingungen (Landnutzungsänderungen, bauliche Maßnahmen) über den gesamten Zeitraum zu berücksichtigen (Bender & Jacob 2017). Generell lässt sich feststellen, dass die klimawandelbedingten Änderungen im Wasserkreislauf die bisher berechneten Jährlichkeiten hin zu extremeren Ereignissen verschieben werden (Bender et al. 2017).

Ein wichtiges Element zur Anpassung an die Folgen von Überflutungen sind bauliche Schutz- und Vorsorgemaßnahmen – einschließlich des Katastrophenschutzes. Diese sollten mit Frühwarnsystemen und Hochwasserrisikomanagementplänen kombiniert werden. Bauliche Maßnahmen zielen im Allgemeinen auf:

- die Verlängerung von Deichanlagen (Landeshauptstadt Hannover 2017),
- die Aufweitung des Abflussquerschnittes vornehmlich durch Renaturierungsmaßnahmen (Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH et al. 2008),
- die Entsiegelung öffentlicher und privater Flächen (Freie Hansestadt Bremen 2018, Landeshauptstadt Magdeburg 2012),
- die Schaffung eines größeren funktionstüchtigen Rückhaltevermögens beispielsweise durch neue Regenrückhaltebecken, Zisternen oder durch den Einsatz von Gründächern) (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin 2011),
- den Bau temporärer Abflusswege und Retentionsräume (Mehrfachnutzung von Grün-, Sport-, Spiel- oder Verkehrsflächen, Umgestaltung von Straßenprofilen) (HSE & BUE 2015).

Untersuchungen in Köln (LANUV 2019, 2013) heben die Bedeutung von Grünflächen sowie eine Kombination von Maßnahmen im Kanalnetz und auf der Oberfläche hervor. Dazu müssen Maßnahmen der Stadtentwässerung mit Maßnahmen der Stadtplanung und -entwicklung verbunden werden, wie es in der nachfolgenden Abbildung schematisch verdeutlicht wird (Abb.8). Eine wichtige Rolle spielen hierbei auch die standortspezifischen Rahmenbedingungen, die maßgeblich die Vulnerabilität einzelner Komponenten, Sektoren beziehungsweise Handlungsfelder bestimmen und stets individuell bewertet werden müssen.

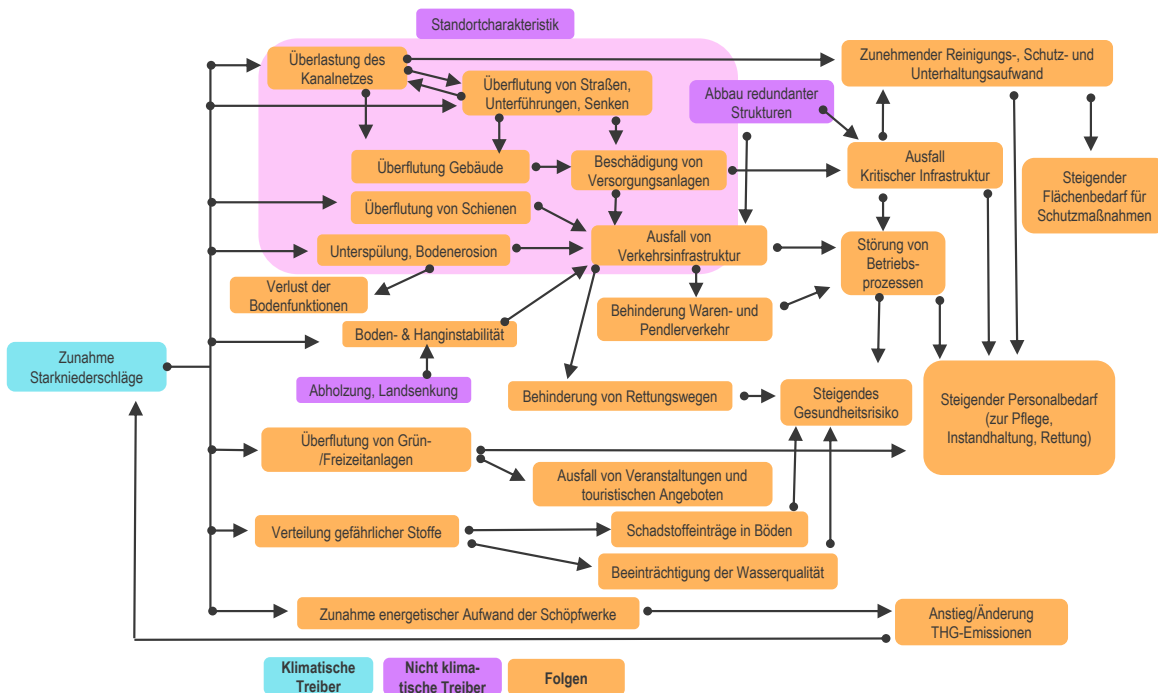


Abb.8: Systemkarte Starkregen (eigene Darstellung)

Bei der Planung von Objektschutzmaßnahmen gilt es insbesondere auf die Lage von Lichtschachtöffnungen und Bereichen unterhalb der Rückstauenebene zu achten. Ein weiteres Hauptaugenmerk sollte auf der überflutungssicheren Unterbringung technischer Einrichtungen versorgungsrelevanter Anlagen liegen. Dies gilt nicht nur für Hauseigentümer, sondern auch für die Sicherstellung der Energieversorgung kritischer Infrastrukturelemente, wie Wasserversorgung, Kommunikation oder städtische Krankenhäuser sowie die Energieanlagen selbst.

In Bezug auf die Straßenentwässerung gilt es in den bereits bekannten gefährdeten Bereichen die Entwässerungssysteme für eine höhere Wasserableitung auszulegen, wozu beispielsweise der Einbau zusätzlicher Straßenabläufe oder Pumpen in Geländedepressionen geeignete Maßnahmen darstellen. Aber auch eine Erhöhung der Reinigungs- und Instandhaltungszyklen von Entwässerungssystemen kann die Gefahr des Systemversagens verringern. Für Einsatzfahrzeuge und Rettungsdienste müssen schon im Vorfeld Alternativrouten festgelegt werden, um stark überflutungsgefährdete Unterführungen umfahren zu können. Für den Busverkehr können Notfallregeln, wie beispielsweise Sicherheitshinweise für Fahrgäste oder Alternativrouten, entwickelt und eingeführt werden.

Eine weitere Folge von Starkregenereignissen ist die Zunahme der Bodenerosion. Hierzu sind Maßnahmen zur Minimierung der Materialausträge erforderlich, wie beispielsweise Dauerbegrünungen oder die Untergliederung von Flächen. Neben dem Bodenverlust ist auch ein Sedimenttransport in die Entwässerungssysteme möglich, was unter Umständen zu deren Ausfall führen kann.

Hitzewellen

Neben Starkregenereignissen zählen Hitzewellen zu den Klimawandelfolgen, die in fast jeder Anpassungsstrategie genannt werden (Freie Hansestadt Bremen 2015, Landeshauptstadt Düsseldorf 2017a, Hannover 2017, Potsdam 2015, Stadt Freiburg i. Br. 2019, Kaiserslautern 2019, Kassel 2019, Mühlheim an der Ruhr 2019, Leverkusen 2018, Osnabrück 2017, Leipzig 2016, Neuss 2016, Essen 2014, Karlsruhe 2013, Köln (LANUV 2013), Gelsenkirchen 2012, Nürnberg 2012, Solingen und Remscheid 2012, Saarbrücken 2012).

Durch den zunehmenden Hitzestress steigen die Anforderungen an den Gesundheitssektor, aber auch die Ansprüche an den Bausektor nehmen zu, um den thermischen Komfort in Gebäuden und im öffentlichen Raum aufrechtzuerhalten (Abb.9). Grundsätzlich erwärmen sich dichter bebaute, nahezu vollständig versiegelte Bereiche insgesamt stärker – insbesondere an Hitzetagen – als Einzel- und Reihenhausbauung oder innerstädtische Grünflächen (LUBW 2018).

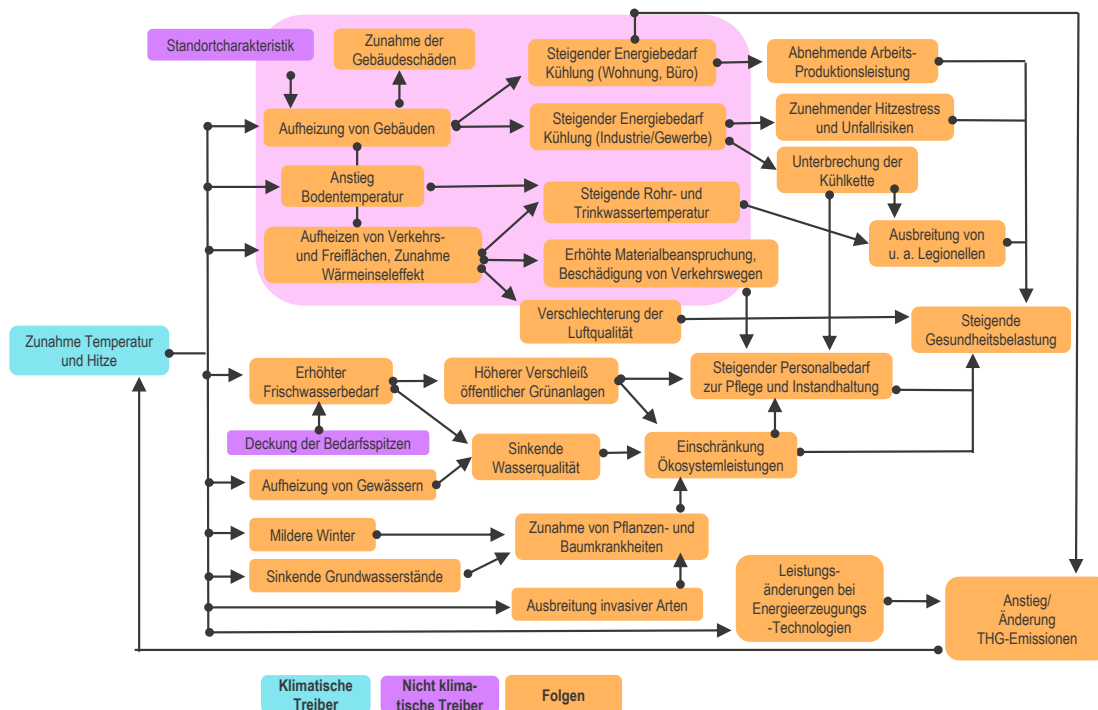


Abb.9: Systemkarte Temperaturzunahme und Hitze (eigene Darstellung)

Obwohl einige Kommunen seit 2000 schon mehr als fünfmal von Hitzeperioden betroffen waren, besitzt nur ein sehr geringer Anteil einen Hitzeaktionsplan oder ein ähnliches Instrument zur Hitzevorsorge, um durch präventive Maßnahmen hitzebedingte Erkrankungen oder Todesfälle zu vermeiden (Hagelstange et al. 2021).

Zur Anpassung an steigenden Hitzestress ist es sinnvoll, in einem ersten Schritt die aktuellen und zukünftigen thermischen Belastungszonen und Hot-Spots in der Stadt zu ermitteln. Hierzu eignen sich beispielsweise „Klimatopkarten“, „Planungshinweiskarten“ oder Simulationen mit Stadtklimamodellen. (Stadt Freiburg i. Br. 2019, Hagen 2018). Darauf aufbauend können Anpassungsmaßnahmen (hitzeangepasste Haltestellengestaltung, ausreichend Schattenplätze, Trinkwasserspender etc.) oder Monitoring-Systeme („Gesundheits-Monitoring Hitzewarnung“) (Landeshauptstadt Stuttgart 2012) entwickelt werden, um hierzu eine kontinuierliche Datenerhebung zu gewährleisten. Die Informationen aus den Modellen können auch als Input für Planungs-

und Abwägungsprozesse, beispielsweise hinsichtlich des notwendigen Freiflächenanteils oder für Ventilationsachsen, verwendet werden.

Eine wirksame bauliche Maßnahme zur Reduzierung der Hitze in der Stadt ist die Entsiegelung des Bodens, um die Bodenfunktionen (Kühlung, Wasserspeicherung, etc.) nutzen zu können (LUBW 2018, LANUV 2013). Darüber hinaus kann schattenspendendes Grün in Außenanlagen, Innenhöfen, öffentlichen Plätzen oder Parks zur Kühlung herangezogen werden. Dieses leistet auch Beiträge zur Verbesserung des Stadtklimas und zur Minderung von Lärmbelastungen. Die Gesamtwirkung von Grünflächen hängt hierbei stark von der Größe ab. Ideal sind verschattete Grünflächen oder die Verbindung von natürlichen oder auch künstlichen Wasserflächen mit Grünzonen. Um die Behinderung der Durchlüftung zu vermeiden, ist es zu empfehlen, höher wachsende Bäume nur auf Plätzen und breiteren Straßen zu pflanzen. Auch Haltestellen können klimagerecht ausgebaut werden (Verschattung, Grünbedachung, mögliche Stromerzeugung durch PV-Anlagen) (Stadt Herne 2019).

Für Neubaugebiete sind energieoptimierte Bauweisen und die Nutzung von Beschattungselementen zu wählen. Beim Bestand kann die Dämmung verbessert werden. Auf eine klassische Klimatisierung mit stromintensiven Klimaanlage sollte aus Klimaschutzgründen verzichtet werden, solange der Strom nicht regenerativ gewonnen wird. Dagegen sollte man innere Wärmequellen reduzieren. Beim Einsatz einer Erdwärmeanlage zu Heizzwecken bietet sich auch die Option der Nutzung dieser Anlage für Kühlzwecke im Sommer. Dazu wird die überschüssige Raumwärme aus den Räumen abgeführt und in den Boden geleitet. Dies erhöht die Effizienz der Anlage, da der Boden, dem im Winter Wärme entzogen wird, so regeneriert wird.

Im Gebäudebereich kann durch die passende Ausrichtung von Arbeits- und Aufenthaltsräumen sowie Lageräumen, außenliegendem Sonnenschutz oder freier Nachtlüftung der sommerliche Wärmeschutz verbessert werden.

Mit Blick auf die gesundheitlichen Herausforderungen durch Hitzewellen spielen zudem die Erstellung von Rettungsplänen und Anlaufstellen zur Abkühlung und/oder medizinischen Behandlung eine wichtige Rolle (Stadt Mannheim 2019). Ein besonderes Augenmerk gilt auch Arbeitnehmern, für welche die gesetzlich vorgeschriebenen Arbeitsbedingungen sowohl im Außenbereich, wie auch in geschlossenen Gebäuden und Büros durch wirkungsvolle Maßnahmen (Sensibilisierung für mögliche gesundheitliche Folgen der Hitze, Gleitzeitregelung, Klimatisierung von Fahrzeugen, Beschaffung leichter Schutzkleidung, Sonnenschutzeinrichtungen etc.) eingehalten werden müssen. Eine weitere Möglichkeit um Hitzestress zu minimieren ist die Verlagerung der Arbeitszeit sowie eine Verlegung von Öffnungszeiten für Geschäfte, Praxen und Ämter in die Morgen- und Abendstunden, außerhalb der größten Hitzephase zur Mittagszeit.

Trockenperioden

Während Hitzewellen überwiegend im Sommer auftreten, sind länger anhaltende Trockenperioden nicht auf bestimmte Jahreszeiten festgelegt. Die größten Herausforderungen ergeben sich während der Vegetationsperiode, wovon städtische und private Grünflächen gleichermaßen betroffen sind. Hierbei entsteht ein Konflikt zwischen Bewässerung und Trinkwassernutzung, wobei die Abdeckung der Bedarfsspitzen bislang die größte Herausforderung für den Wasserversorger darstellt (Landeshauptstadt Hannover 2017; Stadt Münster 2015). Zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung sollte deshalb ein Überwachungskonzept erarbeitet werden, um im Bedarfsfall den Wasserverbrauch zur Bewässerung von Gärten und anderen privaten Grünflächen sowie andere Verwendungszwecke (häufigeres Duschen, Befüllung von Swimming-Pools) steuern und gegebenenfalls einschränken zu können. Diese Maßnahme kann im Vorfeld durch die Bereitstellung von Informations- und Beratungsangeboten gestützt werden. Generell ist es ratsam, Trink- und Grundwasser so wenig wie möglich für die Bewässerung von Grünflächen zu benutzen. Hier ist gespeichertes Regenwasser eine Alternative, um längere Trockenperioden überbrücken zu können. Im öffentlichen Bereich ist zu prüfen, ob es technisch und wirtschaftlich geeignete Standorte für Zisternen oder andere unterirdische Speichereinrichtungen gibt (LA-

NUV 2013, Stadt Nürnberg 2012).

Bei Neuanpflanzungen von Bäumen und Sträuchern sollte darauf geachtet werden, winterharte Arten zu wählen, die auch an sommerliche Trocken- und Hitzeperioden angepasst sind (vgl. dazu Klima-Arten-Matrix (Roloff et al. 2008)). Dazu können Kommunen auch eine stadtsspezifische Liste für die Baumauswahl bei Neupflanzungen erstellen, damit lokale Gegebenheiten bei der Auswahl miteinfließen (Landeshauptstadt Magdeburg 2017, Stadt Kaiserslautern 2019, Mannheim 2019, Münster 2015). Bei Neuanpflanzungen von Bäumen sollte jeweils ein ausreichend großer Wurzelraum zur Wasserspeicherung eingeplant werden.

Da Böden im Zuge von Trocknungsprozessen und anschließender Wiederaufnahme von Wasser ihr Volumen ändern können, ist die Erstellung einer „Risiko-Bodenkarte (Trockenrisse/Senkungen)“ ein hilfreiches Werkzeug für Planungsprozesse, um potentielle Senkungs- und Hebunggebiete auszuweisen (Stadt Münster 2015). Die Bedeutung dieser Planungsgrundlage wird zukünftig weiter zunehmen, da sich in einigen Regionen höhere Grundwasserschwankungsbreiten einstellen können, die bodenverändernde Effekte verstärken werden. Dazu zeigte sich im trockenen Sommer 2018, dass sich in einigen deutschen Städten – wie in Unterfrintrop, Offenbach und Wolfsburg – die Tragfähigkeit der bindigen Böden insofern verschlechtert hatte, dass es zu Bodensenkungen kam, die zu Rissen in Gebäuden führten.

Niedrige Wasserstände in Oberflächengewässern werden in Verbindung mit hohen Temperaturen über längere Zeiträume zu Sauerstoffdefiziten und einer Zunahme von Wasserstress führen. Darüber hinaus sind sie auch eine Herausforderung für Betreiber von Wasserkraftanlagen, Kraftwerken und Gewerben, die Brauchwasser zu Kühlzwecken oder als Rohstoff verwenden (Landeshauptstadt Magdeburg 2017). Weitere Einschränkungen ergeben sich bei langanhaltenden Trockenperioden auch für den Waren- und Rohstofftransport, da bei Niedrigwasser Wasserwege nur eingeschränkt schiffbar sein können.

Sturmereignisse

Auch wenn die Aussagen über die zukünftigen Veränderungen bei Sturmereignissen für weite Bereiche Deutschlands unsicher sind (Pinto & Reyers 2016), sollten Gebäude und andere Objekte an eine mögliche Zunahme von Starkwindereignissen und Spitzengeschwindigkeiten vorsorglich angepasst werden. Besonderes Augenmerk gilt hier Kuppenlagen oder stark verdichteten Siedlungsbereichen mit engen Straßenfluchten. Wald oder generell Bäume sind Gefahrenquellen, die für ein höheres Sturmwurfisiko sorgen (Städte Solingen und Remscheid 2012). Proaktive Anpassungsmaßnahmen beginnen schon bei der Planung von Gebäuden, wobei Gebäudeform und -ausrichtung sowie Dimensionierung der Dach- und Fassadenbauteile inklusive Jalousien, PV-Anlagen und Thermokollektoren zu berücksichtigen sind. Hinsichtlich der Vorsorge- und Verkehrssicherungspflicht von Stadtverwaltungen ist ein höherer Kontroll- und Pflegeaufwand bei Stadtbäumen einzuplanen, um beispielsweise die Zuwegung und die Verfügbarkeit von Dienstleistungen der sozialen Infrastruktur sowie Rettungswege (Krankenhäuser, Polizei, Feuerwehr, Rettungsdienst) gewährleisten zu können (Stadt Münster 2015) (Abb. 10).

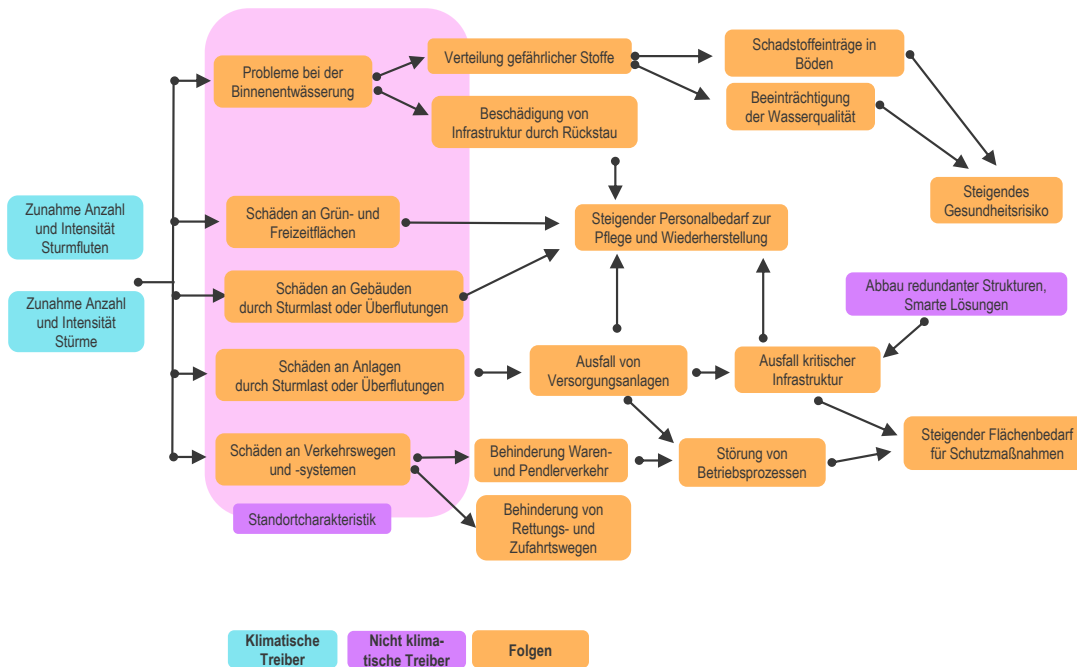


Abb.10: Systemkarte Stürme und Sturmfluten (eigene Darstellung)

Steigende Durchschnittstemperaturen und veränderte Niederschlagsmuster

Im Gegensatz zu Extremereignissen, werden schleichende Veränderungen, wie steigende Durchschnittstemperaturen und sich verändernde saisonale Niederschlagsverteilungen, nur wenig in Anpassungsstrategien aufgenommen, obwohl sie große Auswirkungen haben können (Abb.11). Bezüglich der Veränderungen des lokalen Wasserkreislaufs wird in einigen Fällen darauf hingewiesen, dass ein Grundwassermonitoring von Vorteil wäre, um auf lokale Veränderungen rechtzeitig reagieren zu können (Landeshauptstadt Hannover 2017).

In Bezug auf invasive Arten wird ebenfalls ein Monitoring zur Überwachung von Schadenerregern vorgeschlagen. Dies umfasst auch eine praxisorientierte Dokumentation wirksamer Gegenmaßnahmen, um darauf im Bedarfsfall schnell zurückgreifen zu können (Landeshauptstadt Magdeburg 2012; Stadt Karlsruhe 2013).

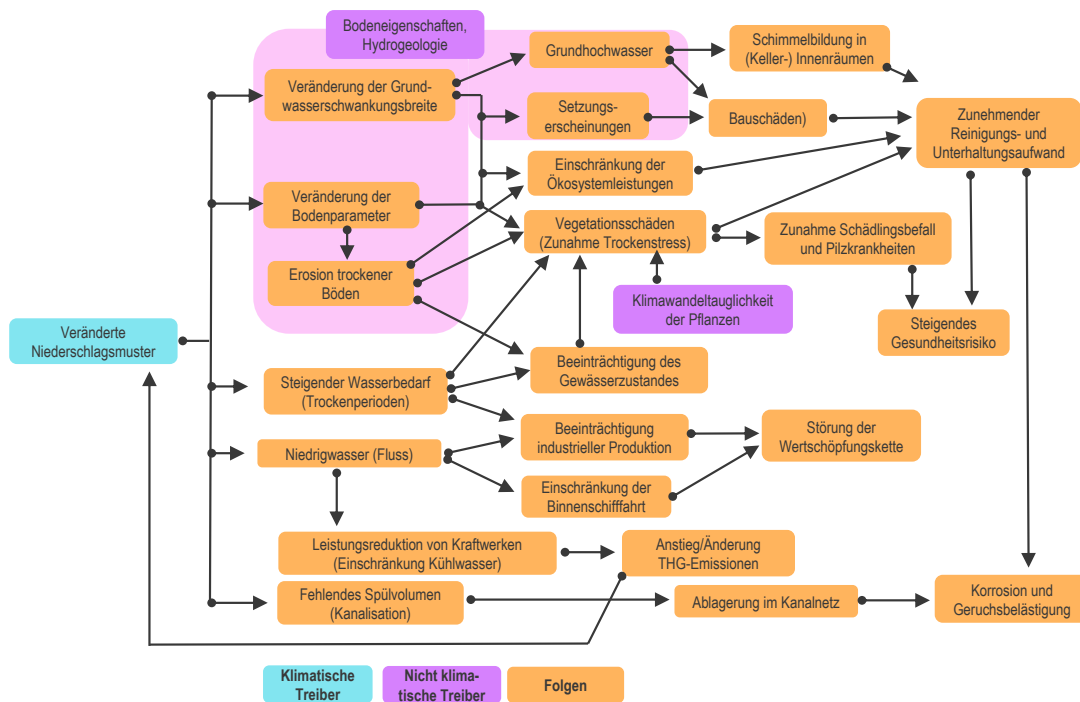


Abb. 11: Systemkarte Veränderte Niederschlagsmuster (eigene Darstellung)

Eis- und Frosttage

Auch wenn zu erwarten ist, dass die Anzahl der Frost- und Eistage in Deutschland zukünftig abnehmen wird (Jacob et al. 2014), heißt das nicht, dass ihre Anzahl zukünftig auf null sinken wird. Somit ist es auch wichtig, sich weiterhin an mögliche Kälteextreme anzupassen (Landeshauptstadt Potsdam 2015; Stuttgart 2012), um beispielsweise bei Streumitteln nicht in Versorgungsengpässe zu geraten. Im Zuge eines sich ändernden Mobilitätsverhaltens müssen darüber hinaus auch Anpassungen beim Winterdienst erfolgen, wie z.B. die Planung einer möglicherweise erhöhten Ressourcenbereitstellung, der Einlagerung einer Salzreserve und der Ausweitung des Streumiteleinsatzes im Radwegenetz. Im Gebäudebereich gilt es zu bedenken, dass durch den Anstieg feuchter Schneefallmengen Schneelasten auf beispielsweise Dächern zunehmen können.

Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten

Für alle Kommunen an der Küste gilt es auch die Folgen des Meeresspiegelanstiegs und mögliche Sturmfluten sowohl in den Planungen als auch hinsichtlich der Umsetzung von Maßnahmen zu berücksichtigen (Hansestadt Lübeck 2019, Stadt Rostock 2012). Unter der Annahme der Deichsicherheit können steigende Sturmwasserstände in Verbindung mit dem Meeresspiegelanstieg auch zukünftig den Küstenschutz und Hafenbetreiber herausfordern, bestehende Schutzbauwerke an die Folgen des Klimawandels anzupassen. Insbesondere langfristig könnte hier erheblicher Handlungsbedarf entstehen. Darüber hinaus werden sich Wasserversorger in Küstennähe darauf einstellen müssen, dass Seewasser zunehmend einen versalzenden Einfluss auf das Grundwasser in Küstenregionen haben wird (Freie Hansestadt Bremen 2018).

Kombinierte Betrachtung von Klimafolgen

Nicht nur aus städtebaulicher Sicht ist es sinnvoll einzelne Herausforderungen gebündelt und gemeinsam zu betrachten, um effiziente Anpassungsmaßnahmen für den urbanen Raum entwickeln zu können. Dies ist besonders deshalb wichtig, da viele sektorale Betrachtungen keine Interdependenzen berücksichtigen. So können beispielsweise die Kombination von ausgetrockneten Böden und Starkregenereignissen die Negativfolgen (Oberflächenabfluss, Erosion) verstärken.

Dazu werden in einzelner Anpassungsstrategien Produkte, wie eine kombinierte „Klima-Gefahrenkarte“, „Fachkarten Klimaanpassung“, „Planungshinweiskarten“, „Umweltatlas“, „Maßnahmen-Datenbank“, „Potenzialkarten“ oder ähnliches als Datengrundlage vorgeschlagen (Landeshauptstadt Hannover 2017, Stadt Kassel 2019, Köln (LANUV 2019), Bochum 2018, Magdeburg 2017, Halle/Saale 2016), um auf einen Blick Hots-Spots oder potenzielle Betroffenheiten, beispielsweise im Bereich der kritischen Infrastruktur oder in ausgesuchten Sektoren, strukturiert zu erfassen. Als mögliche thematische Darstellungen werden dazu genannt: i) Gefährdungsgebiete wassersensibler Bereiche für Überschwemmungen (Flusshochwasser, Starkregen, Grundhochwasser), ii) festgesetzte Überschwemmungsgebiete, iii) thermische Belastungszonen, iv) bioklimatische stark belastete Bereiche, v) Bereiche mit erhöhter Setzungsgefahr und vi) Bereiche mit klimarelevanten Böden. Zusätzlich können in den Karten Hauptbelüftungsachsen, nächtliche Frisch-/Kaltluftbahnen und relevante Kaltluftentstehungsgebiete verzeichnet werden, da sie für die Planung von Anpassungsmaßnahmen und zur Nutzung von Synergien eine zentrale Rolle spielen. In Bezug auf Klimaschutzmaßnahmen können darüber hinaus auch die Potenziale für den Einsatz erneuerbarer Energien (z.B. zeit- und realitätsnahe Aktivierung von solaren Dachflächenpotentialen) erfasst werden (Stadt Bochum 2018).

Das erstellte Karten- und Informationsmaterial sollte neben den Fachämtern auch der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden, um damit Grundstückseigentümer und Hausbesitzer für eine Stärkung der Eigenvorsorge zu sensibilisieren und konkret auf mögliche Gefahren hinzuweisen. Allerdings geben weniger als die Hälfte der in der Umfrage des DIFU befragten Kommunen an, Grundlagen für eine Bewertung der Vulnerabilität und Betroffenheiten zu besitzen. Zur Verbesserung seien allerdings Vulnerabilitätsanalysen, Gefahrenkarten oder regionale Klimakarten geplant (Hagelstange et al. 2021).

6. FORTSCHREIBUNG UND CONTROLLING

Da das Wissen im Bereich der regionalen Klimamodellierung und der Anpassung an die Folgen des Klimawandels sowie das Verständnis systemischer Zusammenhänge im urbanen Raum stetig wächst und auch die Anzahl von Good-Practice-Maßnahmen zunimmt, sollte jedes bestehende Klimaschutz- sowie auch jedes existierende Anpassungskonzept regelmäßig überprüft und gegebenenfalls aktualisiert werden. Deshalb ist eine weitere wichtige Komponente für eine erfolgreiche Umsetzung der Aufbau eines dauerhaften Controllings. Die Vorgehensweise unterteilt sich in die Teilbereiche Monitoring und Qualitätskontrolle. Um Synergien zu nutzen, kann das individuell zu entwickelnde Monitoringprogramm mit anderen Maßnahmen, wie dem Umweltmonitoring kombiniert werden (Landeshauptstadt Potsdam 2015).

Mögliche Ansatzpunkte für ein entsprechendes Controlling sind a) eine kontinuierliche Überprüfung der Zielerreichung, b) die Analyse der jeweiligen Wirkung und c) die Ermittlung langfristiger Folgen auf die städtischen Handlungsfelder (Stadt Offenbach 2017). Zur Qualitätskontrolle werden Indikatoren benötigt, mit deren Hilfe konkrete Betroffenheiten in Bezug auf die Folgen des Klimawandels benannt werden können. Geeignete Indikatoren sollten a) möglichst repräsentativ sein, b) jetzt und in Zukunft nach vergleichbarem Standard verfügbar sein und c) ein praktikables Verhältnis zwischen Aussagekraft und Komplexität ihrer Erhebung haben. Dabei muss die Erhebung und Verarbeitung der Daten transparent erfolgen und es muss ein eindeutiger und

unmittelbarer Bezug zur Wetterwirkung herstellbar sein. Als Controlparameter eignen sich meteorologische, hydrologische oder physikochemische Kenngrößen sowie Gesundheits- und Risiko-Indikatoren (Tab.4).

Die aktuellen Erkenntnisse sollten in einem regelmäßigen Fortschrittsbericht veröffentlicht werden, der über eine reine Daten- und Faktensammlung hinausgeht. Hierzu sollten im Fortschritt die einzelnen Maßnahmen bewertet, gegebenenfalls erkannte Hemmnisse benannt und – wenn möglich – Vorschläge zu deren Lösung aufgezeigt werden (Stadt Osnabrück 2017).

Tab.4: Auswahl möglicher Indikatoren für ein Controlling

Bereich	Indikatoren (Beispiele)	Datenquellen
Klimadaten	<ul style="list-style-type: none"> • Durchschnittstemperatur (°C) • Niederschlagsmenge (mm) • Sonnenscheindauer (h) • Globalstrahlung (kWh/m²) • Gradtagzahlen (°C) • Extremwettertage • Windgeschwindigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Deutscher Wetterdienst • Privater Wetterdienst
Gewässer- und Wasserdaten	<ul style="list-style-type: none"> • Wassergüte • Anzahl Algenwarnungen • Ökologischer Zustand Oberflächengewässer • Auswertung Hoch- und Niedrigwassersituation 	<ul style="list-style-type: none"> • Zuständige Ministerien und Landesbehörden • Umweltbundesamt
Gesundheitsrelevante Daten	<ul style="list-style-type: none"> • Luftqualität (NO_x, Ozon, Feinstaub) • Allergieinformationen • UV-Index • Waldbrand-Index 	<ul style="list-style-type: none"> • Zuständige Ministerien und Landesbehörden • Umweltbundesamt
Stadtgebiet	<ul style="list-style-type: none"> • Flächennutzung (ha) (inkl. Veränderungen) • Straßen-, Rad- & Nahverkehrsnetz (km) • Fußgängerzonen (km) • Haltestellen • PKW-/Carsharing-Stellplätze 	<ul style="list-style-type: none"> • Statistisches Landesamt (Verkehrsplanung und Straßenbau) • Lokale Stadtwerke
Einwohnerentwicklung	<ul style="list-style-type: none"> • Einwohnerstatistik (nach Geschlecht und Altersklassen) • Haushalte • Haushaltsgrößen 	<ul style="list-style-type: none"> • Statistisches Landesamt • Kommunale Statistiken
Gebäude-, Wohnungs- und Heizungsbestand	<ul style="list-style-type: none"> • Wohn- und Nichtwohngebäude • Gebäude- und Wohnungstypologie • Wohnungen (Anzahl und Fläche) • Feuerungsanlagen nach BImSchV 	<ul style="list-style-type: none"> • Statistisches Landes-/Bundesamt • Landesinnungsverband des Schornsteinfegerhandwerks
Kraftfahrzeugbestand	<ul style="list-style-type: none"> • Krafträder und PKW (nach Fahrzeugsegment, Antriebsart, Emissionsgruppe, Haltergruppe, Alter) • LKW und Omnibusse • Sonstige Nutzfahrzeuge • Car-Sharing-Fahrzeuge 	<ul style="list-style-type: none"> • Kraftfahrtbundesamt • Regionale Zulassungsstelle • Car-Sharing-Anbieter

Tab.4: Fortsetzung Auswahl möglicher Indikatoren für ein Controlling

Bereich	Indikatoren (Beispiele)	Datenquellen
Wirtschaftsdaten	<ul style="list-style-type: none"> • Erwerbstätige am Arbeitsort • Betriebe nach Wirtschaftszweigen 	<ul style="list-style-type: none"> • Statistische Ämter des Bundes und der Länder • Bundesagentur für Arbeit • Unternehmensregister
Energieerzeugungsanlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl und Anlagenbezeichnung • Energieträger • Inbetriebnahme • Elektrische & Thermische Nennleistung (MW) • Installierte Fläche (Solarthermie) • Beteiligungshöhe der Kommune/ Stadtwerke 	<ul style="list-style-type: none"> • Stadtwerke • Übertragungsnetzbetreiber • Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle • Unternehmensregister

7. FAZIT

Die Analyse der Anpassungsstrategien und Klimaschutzkonzepte zeigt, dass sich bereits viele Kommunen mit Maßnahmen zur Minderung von CO₂-Emissionen und zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels auseinandergesetzt haben. In einigen Fällen werden langjährige Bemühungen im Bereich Klimaschutz durch Anpassungskonzepte ergänzt. Als Grundlagen für letztere werden überwiegend die Analyse regionalklimatischer Änderungen und handlungsfeldübergreifende Sensitivitäten verwendet, aus denen Betroffenheiten abgeleitet werden.

Wie praktische Erfahrungen zeigen, ist es wichtig, die Ursachen für die Gefährdung städtischer Strukturen und Funktionen zu ermitteln und zu beseitigen. Es ist langfristig nicht zielführend, nur die Symptome zu bekämpfen.

Häufig dienen die Anpassungskonzepte als Grundlage und Auftakt zur Planung und Entwicklung einer klimawandelgerechten Stadt. Weitere wichtige Bausteine sind das Einbeziehen eines umfangreichen Akteurswissens und planerische Ansätze der Stadtentwicklung. Chancen dazu bieten bereits vorhandene Instrumente, wie Bauleitplanverfahren, städtebauliche Verträge oder quartiersbezogene Entwicklungskonzepte. Die Herausforderung ist dabei, angesichts begrenzter Personalkapazitäten in den Verwaltungen und Verfahren mit großem Zeitdruck, eine systematische Integration der Klimaanpassungsaspekte in die Verfahren durch Prüfschritte und ergänzende Gutachten im Bauleitplanverfahren sowie durch entsprechende Textbausteine für städtebauliche Verträge zu gewährleisten.

In vielen Fällen kann man dabei aber auf langjährige Vorarbeiten zurückgreifen: Untersuchungen und Bestandsaufnahmen zum Flächensparen, raumstrukturelle Konzepte und bestehende Grünordnungen sind hierzu geeignet.

Aus Sicht der kommunalen Verwaltungen sollte jedoch stets berücksichtigt werden, dass neue wissenschaftliche Erkenntnisse und Methoden dazu führen können, auch bei bereits umgesetzten Maßnahmen unter Umständen Feinjustierungen oder Neubewertungen vornehmen zu müssen. Dies gilt auch dann, wenn innerhalb des komplexen kommunalen Systems Rahmenbedingungen beispielsweise durch Baumaßnahmen verändert werden. Es gilt also, sich fortlaufend mit dem Thema Klimawandel und seinen Folgen auseinanderzusetzen und neue Erkenntnisse in der kommunalen Praxis anzuwenden, denn mit der Erstellung einer Anpassungsstrategie fängt die eigentliche Arbeit erst an (Bender et al. 2020).

Bei der Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen im urbanen Raum sind die Ansätze zu bevorzugen, die eine multifunktionale Wirkung entfalten können und darüber hinaus geeignet sind, Synergien in mehreren Bereichen gleichzeitig auszuschöpfen: Klimaschutz und -anpassung, Umweltschutz und Nachhaltigkeit. Dadurch ermöglichen sie einen Nutzen, der unabhängig von der aktuellen und zukünftigen Betroffenheit durch den Klimawandel und seine Folgen ist.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Schaffung eines politischen und gesellschaftlichen Bewusstseins, um die Bereitschaft zu erhöhen, sich an die Folgen des Klimawandels anzupassen. Dabei basiert jeglicher Erfolg auf der Kommunikationsbereitschaft und Offenheit aller Beteiligten sowie auf gegenseitigem Vertrauen.

Ebenso wichtig ist es, möglichst früh mit den Planungen von Maßnahmen zu beginnen, wobei es zielführend ist, diese mit anderen Vorhaben zu verbinden. So kann beispielweise die Entwicklung und Umsetzung von Anpassungs- und Klimaschutzmaßnahmen im Rahmen von ohnehin anstehenden – auch in bereits geförderten – Sanierungs- oder Stadtentwicklungsmaßnahmen erfolgen. Sofern bereits ein Klimaschutzkonzept vorliegt, sollte dieses bei der Erarbeitung eines ergänzenden Klimaanpassungskonzeptes mit berücksichtigt und Querbezüge hergestellt werden. Liegen noch keine Konzepte vor, ist eine integrierte Betrachtung von Klimaschutz und Klimaanpassung von vorneherein anzustreben, um Konflikte und Synergien frühzeitig zu identifizieren. Dies findet auch in der Förderung zunehmend Berücksichtigung und wird explizit in den Förderrichtlinien angeregt.

Erfahrungen aus dem Bereich des Klimaschutzes, die auch für die Anpassung an den Klimawandel genutzt werden können, zeigen auf, dass drei Maßnahmen besonders zur Verankerung von Themen in der Kommune geeignet sind: a) die Durchführung einer besonders sichtbaren Maßnahme mit hoher Erfolgswahrscheinlichkeit, b) eine intensive Öffentlichkeitsarbeit einschließlich der Bekanntmachung der Person, die für die Aktivitäten vor Ort verantwortlich ist und c) der Aufbau eines Netzwerkes an Unterstützenden und Veränderungswilligen (Ifeu 2020, Hertle et al. 2019).

LITERATUR

- AK Kommunalen Klimaschutz (2020): Energie- und CO₂-Bilanz als wirksames Instrument für Klimaschutz in Kommunen. – Impulspapier des Arbeitskreises Kommunalen Klimaschutz, 7 S.
- BBSR (2017): Klimaresilienter Stadtumbau – Bilanz und Transfer von StadtKlimaExWost, 30 S. (Hrsg. Bundesinstitut für Bau, Stadt und Raumforschung (BBSR)).
- Beck, Marie-Luise & Formayer, Herbert (Hrsg.) (2018). Klimakommunikation. – Promet, Heft 101, 98 S. (Hrsg.: Deutscher Wetterdienst Fachinformationsstelle und Deutsche Meteorologische Bibliothek).
- Bender S., Groth, M. & Viktor, E. (2021): Auswirkungen des Klimawandels auf die zukünftige Grundwassernutzung – Betroffenheiten, Handlungsbedarfe und Lösungsansätze. – Grundwasser, 26(1), 61-72.
- Bender S., Cortekar J., Groth M. & Sieck K. (2020): Why There Is More to Adaptation Than Creating a Strategy. – In: Leal Filho W. & Jacob D. (eds.) Handbook of Climate Services. 67-83., Springer.
- Bender, S., Butts, M., Hagemann, S., Smith, M., Vereecken, H. & Wendland, F. (2017): Der Einfluss des Klimawandels auf die terrestrischen Wassersysteme in Deutschland. Eine Analyse ausgesuchter Studien der Jahre 2009 bis 2013. – Report 29, Climate Service Center Germany, 77 S.
- Bender S. & Jacob, M. (2017): Extremereignisse in der Zukunft – Welche Aussagen sind durch Klimaprojektionen möglich? – gwf-Wasser/Abwasser, 07_08/2017, 85-88.
- Bertelsmann-Stiftung 2020: Monitoring Nachhaltige Kommune – Bericht 2020, Schwerpunktthema Klima und Energie. 139 S.
- BMU (2021): Förderrichtlinie: Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels. – 21S. (Stand 19.07.2021) (Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)).
- BMU (2021): Klimapakt Deutschland. 3 S. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimapakt_deutschland_bf.pdf . (abgerufen 26.08.2021), (Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)).
- BMU (2020): Klimaschutzbericht 2019 zum Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 der Bundesregierung, 150 S. (Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)).
- BMU (2019): Klimaschutzplan 2050 – Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung, 2. Aufl., 91 S. (Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)).
- BMVBS (2013): Alles im Wandel: Demografische und klimatische Veränderungen im Kontext der integrierten Stadtentwicklung. – BMVBS-Online-Publikation, Nr. 23/2013, 95 S. (Hrsg.: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)). (abgerufen 26.08.2021).
- Deutschländer, T & Mächel, H. (2017) Temperatur inklusive Hitzewellen. In: Brasseur, G. P., D. Jacob, S. Schuck-Zöller (2017): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven, 48-56.
- Difu (2020): OB-Barometer 2020. – Difu-Umfrage, 4 S. (Hrsg.: Kühl, C. & Grabow, B., Deutsches Institut für Urbanistik (Difu)).
- DWD (2017): Nationaler Klimareport (3. Korr. Auflage), 46 Seiten. (Hrsg.: Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main (DWD)).

EEA (2020): Urban adaptation in Europe: how cities and towns respond to climate change. - EEA Report No 12/2020, 186 S. European Environment Agency. Copenhagen.
<https://www.eea.europa.eu/publications/urban-adaptation-in-europe>. (abgerufen 26.08.2021).

Fischer, E. M. & Knutti, R (2016): Observed heavy precipitation increase confirms theory and early models. - Nature Clim. Change 6, 986–991, <https://doi.org/10.1038/nclimate3110>.

Freie Hansestadt Bremen (2015) (Hrsg.): Klimaanpassungsstrategie extreme Regenerereignisse KLAS, 77 S.

Freie Hansestadt Bremen (2018) (Hrsg.): Klimaanpassungsstrategie Bremen. Bremerhaven, 160 S. (Auftraggeber: Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr Freie Hansestadt Bremen, Umweltschutzamt Bremerhaven, Bearbeitung durch: MUST Städtebau, BPW baumgart+partner, GEO-NET, Dr. Pecher AG, unterstützt durch DWD).

Freie und Hansestadt Hamburg (2019) (Hrsg.): Erste Fortschreibung des Hamburger Klimaplan, 63 S. (Online-Dokument).

GERICS (2020) (Hrsg.): Gesundheit und Klimawandel – 2. Überarbeitete Auflage, 37 S.

Groth, B.J., Groth, M. & Bender, S. (2021): Kommunalen Klimanotstand – Eine Kurzübersicht aus rechtlicher Perspektive. Hintergrundpapier der Helmholtz Klima-Initiative. 10 S., https://www.helmholtz-klima.de/sites/default/files/medien/dokumente/Case-Study-I_Klimanotstand_Hintergrundpapier_2021_06_23.pdf. (abgerufen 26.08.2021).

Groth, M., Bender, S. & Wübbelmann, T. (2020): Starkregen und Sturzfluten – Anwendung des GERICS-Stadtbaukasten in Bleckede – Report 34, 53 S., Climate Service Center Germany, Hamburg.

Hagelstange, J., Rösler, C. & Runge K. (2021): Klimaschutz, erneuerbare Energien und Klimaanpassung in Kommunen – Maßnahmen, Erfolge, Hemmnisse und Entwicklungen, Difu Papers., 22 S.

Hansestadt Lübeck (Hrsg.) (2019): Klimaanpassungskonzept für die Hansestadt Lübeck – Grundlage zur Aktualisierung und Erweiterung des Thematischen Landschaftsplans Klimawandel, 193 S. (Auftraggeber: Hansestadt Lübeck, Bearbeitung durch: Andresen Landschaftsarchitekten, gruppe F Landschaftsarchitekten, hydro&meteo GmbH & Co. KG).

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

Hasse, J. & Willen, L. (2019): Umfrage Wirkung der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) für die Kommunen. Teilbericht. - UBA-Bericht, 116 S. (Hrsg. Umweltbundesamt).

Hertle, H., Dünnebeil, F., Gugel, B., Rechsteiner, E. & Reinhard, C. (2019): BSKO Bilanzierungs-Systematik Kommunal – Ifeu- Bericht, 30 S. (Aktualisierung vom 11/2019, Hrsg.: Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH).

Hirschl, B. & Pfeifer, L. (2020): Kommunen im Klimanotstand. Wichtige Akteure für kommunalen Klimaschutz. Kurzstudie zu Prozessen, Eigenschaften und Schwerpunkten. Ein Eigenprojekt des IÖW in Zusammenarbeit mit der Volksinitiative Klimanotstand Berlin. - Diskussionspapier des IÖW 71/20, 44S. https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Publikationen/2020/IOEW_DP71_Klimanotstand_in_Kommunen.pdf (abgerufen 26.08.2021).

HSE & BUE (2015): RISA Strukturplan Regenwasser 2030 – Ergebnisbericht des Projektes RISA, 268 S. (Hrsg: Hamburger Stadtentwässerung AöR (HSE) und Behörde für Umwelt und Energie (BUE)).

Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, FH Aachen & Deutscher Wetterdienst (2008): Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten (URBAS) - Ergebnisse des Forschungsvorhabens, Abschnitt E: Fallstudien und Untersuchungsschwerpunkte 193 S.

Ifeu (2020): Klimaschutzmanagement verstetigen. Leitfaden für Klimaschutzmanager*innen, 19 S. (Hrsg.: Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH).

IPCC (2021): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University.

IPCC (2018): Global warming of 1.5°C. Special Report. IPCC with World Meteorological Organisation (WMO), and United Nations Environmental Program (UNEP), Geneva, Switzerland 2018.

IPCC, 2014: Summary for Policymakers. - In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Jacob, D., Görl, K., Groth, M., Haustein, K., Rechid, D., Sieck, K. und Wolff, W. (2021): Naturwissenschaftlicher Hintergrund der Erderwärmung: Wo stehen wir zurzeit? In: Wirtschaftsdienst – Zeitschrift für Wirtschaftspolitik, 101 (5): 330-334.

Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, A.B., Bouwer, L.M., Braun, A., Colette, A., Deque, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Hänsler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., Kroner, N., Kotlarski, S., Kriegsmann, A., Martin, E., van Meijgaard, E., Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussanna, J-F., Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B., Yiou, P.: EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research Regional Environmental Changes. 14, (2), pp. 563–578 (2014).

Kaspar, F. & Friedrich, K. (2020): Rückblick auf die Temperatur in Deutschland im Jahr 2019 und die langfristige Entwicklung. DWD (Stand 02.01.2020), 6 S. https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20200102_bericht_jahr2019.pdf?__blob=publicationFile&v=4 ((abgerufen 26.08.2021).

KfW (2021): Merkblatt: Energetische Stadtsanierung - Zuschuss Klimaschutz und Klimaanpassung im Quartier. - 13 S. (Stand 10/2021).

Landeshauptstadt Dresden (2013) (Hrsg.: REGKLAM Konsortium): REGKLAM Regionales Klimaanpassungsprogramm Modellregion Dresden. REGKLAM-Heft 7, 332 S. (Auftraggeber: Landeshauptstadt Düsseldorf, Bearbeitung durch: GEO-NET, MUST Städtebau, Dr. Pecher AG, In Koop. mit DWD).

Landeshauptstadt Düsseldorf (2017a) (Hrsg.): KAKDUS Klimaanpassungskonzept für die Landeshauptstadt Düsseldorf. - Kurzfassung 36 S. (Auftraggeber: Landeshauptstadt Düsseldorf, Bearbeitung durch: GEO-NET, MUST Städtebau, Dr. Pecher AG, In Koop. mit DWD).

Landeshauptstadt Düsseldorf (2017b) (Hrsg.): Klimaschutzkonzept 2025: Handlungsprogramm 2025. 193 S. (Auftraggeber: Landeshauptstadt Düsseldorf, Bearbeitung durch: Gertec GmbH Ingenieurgesellschaft, in Zusammenarbeit mit ifeu GmbH, Jung Stadtkonzepte Stadtplaner & Ingenieure Partnerschaftsgesellschaft).

Landeshauptstadt Erfurt (2012) (Hrsg.): Klimaschutz in Erfurt – Leitbild, Ziele und Handlungskonzept, 49 S.

Landeshauptstadt Hannover (Hrsg.) (2017): Leben mit dem Klimawandel – Hannover passt sich an. – Schriftenreihe kommunaler Umweltschutz, Heft 53, 47 S., 2. Geänderte Auflage.

Landeshauptstadt Magdeburg (Hrsg.) (2017): Klimaanpassungskonzept für die Landeshauptstadt Magdeburg, 193 S. (Auftraggeber: Landeshauptstadt Magdeburg Umweltamt, Bearbeitung durch: ThINK – Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz).

Landeshauptstadt München (Auftraggeber) (2016): Konzept zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels in der Landeshauptstadt München, 134 S. (Auftraggeber: Landeshauptstadt München, Referat für Gesundheit und Umwelt, Bearbeitung durch: bifa Umweltinstitut GmbH Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), in Zusammenarbeit mit dem DWD).

Landeshauptstadt Potsdam (Auftraggeber) (2015): Klimaschutzteilkonzept - Anpassung an den Klimawandel in der Landeshauptstadt Potsdam, 149 S. (Auftraggeber: Stadtverwaltung der Landeshauptstadt Potsdam Koordinierungsstelle Klimaschutz, Bearbeitung durch: LUP - Luftbild Umwelt Planung GmbH, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) e.V., RegioFutur Consult, PROJEKTKOMMUNIKATION Hagenau GmbH).

Landeshauptstadt Stuttgart (Auftraggeber) (2012): Klimaanpassungskonzept Stuttgart KLIMAKS, 75 S.

Landkreis Reutlingen (Hrsg.) (2018): Handlungsstrategie Klimaschutz „Wege entstehen dadurch, dass man sie geht!“ 46 S. (Hrsg.: Landkreis Reutlingen Kreisamt für nachhaltige Entwicklung, zusammen mit AG Energie und Klimaschutz mit Vertretern aus dem Kreistag des Landkreises Reutlingen, KlimaschutzAgentur Reutlingen gGmbH, Klima Kommunal Udo Schmermer).

LANUV (Hrsg.) (2019): Fachbeitrag Klima für die Planungsregion Köln, 192 S. (Hrsg.: Landesamt für Natur, Umwelt- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV)), korr. Fassung.

LANUV (Hrsg.) (2013): Klimawandelgerechte Metropole Köln – Abschlußbericht, Fachbericht 50, 146 S., (Hrsg.: Landesamt für Natur, Umwelt- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), in Kooperation mit DWD, Stadt Köln und StEB Köln).

LUBW (Hrsg.) (2018): Zielkonflikt Klimakomfort – Nachverdichtung: Entwicklung von Lösungsstrategien zur klimawandelangepassten Siedlungsentwicklung der Stadt Singen. – KLIMOPASS-Berichte, 111 S. (Hrsg.: LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg).

MWIDE (2020): Klimaschutz in Nordrhein-Westfalen, Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen, Ziele und Strategien, Instrumente und Perspektiven. – Report 32 S., (Hrsg. Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen).

Papalexiou, S. M. & Montanari, A. (2019): Global and Regional Increase of Precipitation Extremes under Global Warming. – Water Resources Research, 55, 4901–4914, <https://doi.org/10.1029/2018wr024067>.

Pinto, J.G. & Reyers, M. (2016): Winde und Zyklonen. In: Brasseur, G.P., Jacob, D. & Schuck-Zöller, S. (Hrsg.) Klimawandel in Deutschland, 68-76.

Reiß, P. & Krüger, C. (2018): Fokus: Energie- und Treibhausgasbilanzierung für Kommunen. Erste Schritte und Hilfestellungen. 12 S. (Hrsg.: Service- und Kompetenzzentrum Kommunaler Klimaschutz).

Reusswig, F., Becker, C., Lass, W., Haag, L., Hirschfeld, J. Knorr, A., Lüdeke, M.K.B., Neuhaus, A., Pankoke, C., Rupp, J., Walther, C., Walz, S., Weyer, G. & Wiesemann, E. (2016): Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Berlin (AFOK). Klimaschutz Teilkonzept. Teil I: Hauptbericht; Teil II: Materialien, Zusammenfassung 26 S.

Revi, A., Satterthwaite, D.E., Aragón-Durand, F., Corfee-Morlot, J., Kiunsi, R.B.R., Pelling, M., Roberts, D.C. & Solecki, W. (2014): Urban areas. – In: (Field et al.) 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, pp. 535-612

Rosenzweig, C.; et al., (eds.) (2011): Climate Change and Cities – First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network. New York: UCCRN, 354p.

Semmling, E., Peters, A., Marth, H., Kahlenbirt, W. & de Haan, P. (2016): Rebound-Effekte: Wie können sie effektiv begrenzt werden? – UBA-Bericht, 35 S. (Hrsg. Umweltbundesamt).

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin (2011): Stadtentwicklungsplan Klima – Urbane Lebensqualität im Klimawandel sichern, 79 S.

Sinning, H., Steil, Ch. & Kreft, H. (2011): Klimaschutz in Städten und Gemeinden optimieren – Kommunales Klimaschutzmanagement als Strategie. Ein Handlungsleitfaden. ISP-Schriftenreihe – Band 3, 70 S.

Stadt Aachen (2014) (Hrsg.): Anpassungskonzept an die Folgen des Klimawandels im Aachener Talkessel, 14 S. (Hrsg.: Aachen, Bearbeitung durch: BKR Aachen Noky & Simon Partnerschaft, in Koop. mit RWTH Aachen).

Stadt Berlin (2016a) (Hrsg.): Stadtentwicklungsplan Klima – KONKRET Klimaanpassung in der wachsenden Stadt, 90 S. (Hrsg.: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Berlin).

Stadt Berlin (2016b) (Hrsg.): Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Berlin – AFOK. – Zusammenfassung des Berichts: von dem Forschungskonsortium unter der Leitung des Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK): Reusswig, F.; Becker, C.; Lass, W.; Haag, L.; Hirschfeld, J.; Knorr, A.; Lüdeke, M.K.B.; Neuhaus, A.; Pankoke, C.; Rupp, J., Walther, C.; Walz, S.; Weyer, G.; Wiesemann, E. (2016): Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Berlin (AFOK). Klimaschutz Teilkonzept. Teil I: Hauptbericht; Teil II: Materialien. Potsdam, Berlin. Juli 2016.

Stadt Bochum (2018) (Auftraggeber): Stadt Bochum – Klimaschutzteilkonzept Klimafreundlicher Verkehr Bochum 184 S. (Auftraggeber: Stadt Bochum, Bearbeitung durch: Planersocietät – Stadtplanung, Verkehrsplanung, Kommunikation Dr.-Ing. Frehn, Steinberg Partnerschaft, Stadt- und Verkehrsplaner).

Stadt Bottrop (2011) (Hrsg.): Integriertes Klimaschutzkonzept der Stadt Bottrop. – Langfassung zum Klimabericht 158 S.

Stadt Chemnitz (2014) (Hrsg.): Integriertes Klimaschutzprogramm für die Stadt Chemnitz, 139 S.

Stadt Darmstadt (2013) (Hrsg.): Integriertes Klimaschutzkonzept für die Wissenschaftsstadt Darmstadt. – Kurzfassung 252 S. (Auftraggeber: Stadt Darmstadt, Bearbeitung durch: Institut für Wohnen und Umwelt GmbH, memo-consulting).

Stadt Dortmund (2017): DAS: Klimafolgenanpassungskonzept für den Stadtbezirk Dortmund-Hörde: Schlussbericht, 160 S. (Bearbeitung durch: Stadt Dortmund, TU Dortmund, Emschergenossenschaft).

Stadt Essen (2014) (Hrsg.): Stadt begegnet Klimawandel – Integrierte Strategien für Essen, 173 S. (Auftraggeber: Stadt Essen, Bearbeitung durch: Universität Duisburg-Essen, DWD, Stadt Essen).

Stadt Frankfurt (2016) (Hrsg.): Frankfurter Anpassungsstrategie an den Klimawandel, 18 S.

Stadt Freiburg i.Br. (2019) (Hrsg.): Klimaanpassungskonzept – Ein Entwicklungskonzept für das Handlungsfeld „Hitze“, 191 S. (Auftraggeber: Stadt Freiburg i.Br., Bearbeitung durch: berchtold space&options, GEO-NET).

Stadt Gelsenkirchen (2012) (Hrsg.): 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, 190 S. (Bearbeitung durch: Kuttler et al., Universität Duisburg Essen).

Stadt Göttingen (2015) (Hrsg.): Städtebauliche Klimaschutz- und Anpassungsstrategie der Stadt Göttingen, 25 S.

Stadt Hagen (2018) (Hrsg.): Integriertes Klimaanpassungskonzept Stadt Hagen, 162 S. (Auftraggeber: Stadt Hagen, Bearbeitung durch: TU Dortmund, IRPUD).

Stadt Halle/Saale (2016) (Hrsg.): Umsetzungsplan zum Integrierten kommunalen Klimaschutzkonzept, 26 S.

Stadt Hamm (2019) (Hrsg.): Der kommunale Klimaaktionsplan Hamm 2020-2025, 87 S. (Online-Dokument).

Stadt Hamm (2015) (Hrsg.): Stadt.Klima.Ich. – Integriertes Klimaschutzkonzept für die Stadt Hamm, 153 S. (Auftraggeber: Stadt Hamm, Bearbeitung durch: pro:21 GmbH, B.&S.U. Beratung- und Service-Gesellschaft Umwelt mbh).

Stadt Heidelberg (2014): Konzept für den Masterplan 100% für die Stadt Heidelberg, 126 S. + 146 S. Anhang (Auftraggeber: Stadt Heidelberg, Bearbeitung durch: ifeu GmbH).

Stadt Heilbronn (2010): Klimaschutzkonzept für die Stadt Heilbronn, 198 S. (Auftraggeber: Stadt Heilbronn, Bearbeitung durch: EEB Enerko, AVISO, Ingenieurbüro Rau).

Stadt Herne (2019): Integriertes Klimaschutzkonzept – Maßnahmen Klimaschutz / Gesundheitsförderung / Umweltgerechtigkeit, 126 S. (Auftraggeber: Stadt Herne, Bearbeitung durch: Gertec GmbH Ingenieurgesellschaft, Hochschule für Gesundheit Bochum).

Stadt Kaiserslautern (Hrsg.) (2019): Klimaanpassungskonzept Kaiserslautern (KLAK): Kaiserslautern im Klimawandel –Wir gestalten unsere Zukunft! (Kurzfassung), 31 S. (in Kooperation mit Stadtentwässerung

Kaiserslautern, Bearbeitung durch: Gutachterbüro Dahlem, GEO-NET, MUST Städtebau).

Stadt Karlsruhe (Hrsg.) (2013): Anpassung an den Klimawandel – Bestandsaufnahme und Strategie für die Stadt Karlsruhe 223 S. (Bearbeitung durch: Stadt Karlsruhe, Umwelt- und Arbeitsschutz).

Stadt Kassel (Hrsg.) (2019): Wie sich Kassel an den Klimawandel anpasst, 21 S.

Stadt Koblenz (Hrsg.) (2011): Integriertes Klimaschutzkonzept für die Stadt Koblenz - Endbericht, 160 S., (Auftraggeber: Stadt Koblenz, Bearbeitung durch: ifeu GmbH).

Stadt Krefeld (Hrsg.) (2010): Erstellung eines Klimaschutzkonzeptes und Erarbeitung eines Klimaschutzmanagements für die Stadt Krefeld, 108 S. (Auftraggeber: Stadt Krefeld, Bearbeitung durch: EST Gesellschaft für Energiesystemtechnik mbH).

Stadt Leipzig (Hrsg.) (2016): Klimawandel – Anpassungsstrategie für Leipzig, 34 S.

Stadt Leverkusen (Hrsg.) (2018): Strukturkonzept Klimafolgenanpassung – Stadt Leverkusen, 21 S. (Auftraggeber: Stadt Leverkusen, Bearbeitung durch: energielenker Beratungs GmbH).

Stadt Ludwigshafen am Rhein (Hrsg.) (2010): Klimaschutzkonzept für die Stadt Ludwigshafen am Rhein, vorläufige Kurzfassung, 14 S. (Auftraggeber: Stadt Ludwigshafen am Rhein, Bearbeitung durch: ifeu GmbH).

Stadt Mannheim (Hrsg.) (2019): Konzept „Anpassung an den Klimawandel in Mannheim“, 72 S. (Auftraggeber: Stadt Mannheim, Fachbereich Grünflächen und Umwelt, Klimaschutzleitstelle, Bearbeitung durch: INFRASTRUKTUR & UMWELT Professor Böhm und Partner).

Stadt Mülheim an der Ruhr (Auftraggeber) (2019): Klimaanpassungskonzept Mülheim an der Ruhr, 72 S. (Auftraggeber: Stadt Mülheim an der Ruhr, Stabstelle Klimaschutz und Klimaanpassung, Bearbeitung durch: GEO-NET Umweltconsulting GmbH, MUST Städtebau, Dr. Pecher AG, in Zusammenarbeit mit dem DWD).

Stadt Münster (Hrsg.) (2015): Klimaanpassungskonzept, 227 S. (Auftraggeber: Stadt Münster, Amt für Grünflächen, Umwelt und Nachhaltigkeit, Bearbeitung durch: BKR Aachen Noky & Simon Partnerschaft Stadtplaner, Umweltplaner, Landschaftsarchitekt, in Kooperation mit RWTH Aachen, Geographisches Institut).

Stadt Neuss (Hrsg.) (2016): Klimaanpassungskonzept für die Stadt Neuss, 124 S. (Auftraggeber: Stadt Neuss, Bearbeitung durch: Geographisches Institut der Ruhr-Universität Bochum).

Stadt Nürnberg (Hrsg.) (2012): Handbuch Klimaanpassung - Bausteine für die Nürnberger Anpassungsstrategie, 95 S. (Hrsg: Stadt Nürnberg, Umweltamt).

Stadt Oberhausen (2013): Anpassung an den Klimawandel in der Stadt Oberhausen – Logbuch einer Workshopreihe. - dynaklim-Publikaton, No 36, 61 S. (Bearbeitung durch: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie).

Stadt Offenbach am Main (Auftraggeber) (2017): Integriertes Klimaschutzkonzept – Teilkonzept – kommunale Gesamtstrategie Anpassung an den Klimawandel Stadt Offenbach am Main, 94 S. (Auftraggeber: Stadt Offenbach am Main, Amt für Umwelt, Energie und Klimaschutz, Bearbeitung durch: INFRASTRUKTUR & UMWELT Prof. Böhm und Partner).

Stadt Osnabrück (Auftraggeber) (2017): Konzept zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels der Stadt Osnabrück, Teil B: Klimaanpassungsstrategie, 61 S. (Auftraggeber: Stadt Osnabrück Fachbereich Umwelt und Klimaschutz, Fachdienst Umweltplanung, Bearbeitung durch: GEO-NET Umweltconsulting GmbH).

Stadt Recklinghausen (Auftraggeber) (2017): Klimaanpassungskonzept für Recklinghausen - Katalog der Maßnahmensteckbriefe zur Klimaanpassung, 86 S. (Auftraggeber: Stadt Recklinghausen, Bearbeitung durch K.Plan Klima Umwelt & Planung GmbH, EPC).

Stadt Regensburg (Hrsg.) (2017): Klimaschutzaktivitäten in der Stadt Regensburg, 107 S. (Auftraggeber: Stadt Regensburg, Umweltamt).

Stadt Rostock (Hrsg.) (2012): Rahmenkonzept zur Anpassung an den Klimawandel in der Hansestadt Rostock, 23 S.

Stadt Saarbrücken (Auftraggeber) (2012): Städtische Freiraumplanung als Handlungsfeld für Adaptionsmaßnahmen, 128 S. (Auftraggeber: Landeshauptstadt Saarbrücken, Amt für Grünanlagen, Forsten und Landwirtschaft, Bearbeitung durch agl | Hartz • Saad • Wendl).

Städte Solingen und Remscheid (Auftraggeber) (2012): KlimaschutzTeilkonzept „Anpassung an den Klimawandel für die Städte Solingen und Remscheid“, 209 S. (Auftraggeber: Stadt Remscheid, Bearbeitung durch RWTH Aachen Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr).

Stadt Ulm (Auftraggeber) (2015): Klimaschutzkonzept Ulm (Entwurfassung 16.10.2015), 127 S. (Auftraggeber: Stadt Ulm, Bearbeitung durch Universität Ulm, Institut Nachhaltige Unternehmensführung).

Stadt Wolfsburg (Hrsg.) (2018): CO₂ - Bilanz und Minderungskonzept der Stadt Wolfsburg (2.Aufl) 28 S. (Hrsg.: Stadt Wolfsburg Umweltamt, zusammen mit Stadtplanung, Grundstücks und Gebäudemanagement, Straßenbau und Projektkoordination, Wolfsburger Entwässerungsbetriebe, LSW, Neuland Wohnungsgesellschaft mbH, Volkswagen Immobilien, Allertal Immobilien e.G.).

Stadt Würzburg (Hrsg.) (2016): Klimaschutz und Klimaanpassung in Würzburg. - Erster Fortschrittsbericht, 48 S.

Umweltbundesamt (2019): Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung, Dessau-Roßlau, 2019.

Weber, S. & W. Kuttler (2003): Analyse der nächtlichen Kaltluftdynamik und -qualität einer stadt-klima-relevanten Luftleitbahn. In: Gefahrenstoffe - Reinhaltung der Luft 63, S. 381-386.

S. Westra, Fowler, H.J., Evans, J.P., Alexander, L.V., Berg, P., Johnson, F., Kendon, E.J., Lenderik, G., & Roberts, N.M. (2019): Future Changes to the Intensity and Frequency of Short-Duration Extreme Rainfall. - Rev. Geophys., 52,522-555, doi:10.1002/2014RG000464.

World Economic Forum (2020): The Global Risks Report 2020, 15th Edition, 102 p.

Anhang 0: Kommunale Anpassung an die Folgen des Klimawandels – Wegweiser zu wichtigen Antworten

Kommunale Anpassung an die Folgen des Klimawandels Wegweiser zu wichtigen Antworten

10 exemplarische Fragen, die Sie stellen sollten, wenn Sie die Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Ihrer Kommune weiter optimieren möchten.

- | | | | |
|----|---|--------------------------|---|
| 1 | Gibt es in Ihrer Kommune kein Integriertes Klimaschutz- bzw. Klimaschutzteilkonzept? | <input type="checkbox"/> | siehe „Kapitel 2“ |
| 2 | Möchten Sie den Klimaschutz in ihrer Kommune stärken bzw. benötigen sie einen Startpunkt für Aktionen? | <input type="checkbox"/> | siehe „Das Instrument Klimanotstand“ |
| 3 | War Ihre Kommune in den letzten Jahren von den Folgen von Extremwetterereignissen (Starkregen, Hitzewellen, Trockenperioden betroffen? | <input type="checkbox"/> | siehe „Kapitel 3.1“ |
| 4 | Kennen Sie alle kommunalen Handlungsfelder, die von den Folgen des Klimawandels betroffen werden können? | <input type="checkbox"/> | siehe „Kapitel 3.2“ |
| 5 | Kennen Sie die Grundprinzipien, die es zu beachten gilt, wenn sie in Ihrer Kommunen erfolgreich Anpassungsmaßnahmen umsetzen wollen? | <input type="checkbox"/> | siehe „Anpassung als Managementaufgabe“ |
| 6 | Kennen Sie die Synergie- und Konfliktpotentiale, mit denen Sie sich bei der Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen auseinander setzen sollten? | <input type="checkbox"/> | siehe „Box 1“ und „Kapitel 4“ |
| 7 | Kennen Sie die Anpassungsmaßnahmen, mit denen Sie die größte Raumwirkung in Ihrer Kommune erzielen können? | <input type="checkbox"/> | siehe „Box 4“ |
| 8 | Fallen Ihnen keine Anpassungsmaßnahmen für Ihre Kommune ein, die auch einen Beitrag zum Klimaschutz leisten können? | <input type="checkbox"/> | siehe: Anhang 2-8 |
| 9 | Haben Sie in ihrer Kommune schon einzelne Anpassungsmaßnahmen umgesetzt, mussten aber feststellen, dass dies nicht ausreicht, um sich anzupassen? | <input type="checkbox"/> | Siehe „Kapitel 5“ |
| 10 | Kennen Sie den aktuellen Funktionszustand und den Grad der Wirksamkeit Ihren umgesetzten Anpassungsmaßnahmen? | <input type="checkbox"/> | Siehe „Kapitel 6“ |

Anhang 1: Kriterien zur ersten Einschätzung der Anfälligkeit von Flächen und Objekten für Klimafolgen (nach Landeshauptstadt Stuttgart 2012, verändert)

Extremwetterereignis	Hohe Anfälligkeit der Fläche beziehungsweise des Objektes
Starkregen/Überflutungen	<ul style="list-style-type: none"> • Lage: am Hang, in einer Senke, in einer Fluss- oder Küstenniederung • Erreichbarkeit (keine alternativen Zufahrtswege) • Geringe Grundwasserflurabstände • Hoher Anteil versiegelter und bebauter Fläche in der Umgebung • Ebenerdige Zugänge in Gebäude • Empfindliche Nutzungen beziehungsweise hohe Sachwerte in Erd- und Untergeschossen (Technik, Heizung, Server, Maschinen, ...) • Geringe Rückhaltekapazität des vorhandenen Kanalisationssystems
Hitze	<ul style="list-style-type: none"> • Standort in windstillen Tal- oder Kessellagen mit starker Sonneneinstrahlung • Lage innerhalb dicht bebauter Besiedlung • Beschränktes Angebot an Grün- und Wasserflächen in der Umgebung • Dunkle Gebäude und Oberflächen mit geringem Rückstrahlvermögen • Schlecht isolierte Gebäude • Mangel an schattenspendenden Elementen • Ausrichtung der Fensterfronten in Südrichtung • Brandgefährdete Böschungen und Vegetation in unmittelbarer Objektnähe
Windlasten	<ul style="list-style-type: none"> • Standort in windausgesetzter Lage (Küsten, Höhenlage über 500 m, auf Bergkuppen, angrenzend an große Freiflächen) • Windfördernde Baustruktur und Geländerauhigkeit (Straßenzüge mit Tunnelwirkung, Gebäude die aus geschlossener Bebauung herausragen), starke Dachneigungen, breite Dachüberstände • Hochragende Anlagen oder Dachbauten mit geringem Eigengewicht • Großflächig verglaste Gebäudefassaden quer zur Hauptwindrichtung • Fassaden- bzw. Dachbauteile aus bruchgefährdeten Materialien • Winddurchlässige Öffnungen (Tore, Einfahrten) • Große Bäume in unmittelbarer Objektnähe
Hagel	<ul style="list-style-type: none"> • Lage an einem schneereichen Standort (Höhenlage, Bergkuppe, witterungsexponierte Hanglage, Gebäude quer zur Windrichtung) • Große (nicht begehbare) Dachflächen mit hohen Stützweiten • Dachformen: große Auskragungen oder stark überhängende Traufen und Vordächer • Hohe dem Wind ausgesetzte Gebäude (Verwehungsgefahr) • Hoher Anteil geneigter Glasflächen oder nicht begehbare Oberlichter • Lastenempfindliche Dachaufbauten • Hohe Bäume oder Leitungsmasten in unmittelbarer Objektnähe
Schneelasten	<ul style="list-style-type: none"> • Lage im Gebirge, auf einer Anhöhe oder Bergkuppen an einem wind- und niederschlags-exponierten Prallhang • Einzelstehende Gebäude oder Objekte, die die Umgebung überragen (Türme, Kamine) • Herausragende Anlagen auf Dachflächen • Hohe Bäume oder Leitungsmasten in unmittelbarer Objektnähe
Blitzschlag	<ul style="list-style-type: none"> • Lage im Windschatten eines Gebirges • Erosionsgefährdete Böden am Standort • Hoher Anteil an Vegetation und bewässerungsintensiver Grünflächen • Lage in einem stark bewaldeten Gebiet beziehungsweise brandgefährdete Böschungen und Vegetation in Objektnähe
Dürre	<ul style="list-style-type: none"> • Lage im Windschatten eines Gebirges • Erosionsgefährdete Böden am Standort • Hoher Anteil an Vegetation und bewässerungsintensiver Grünflächen • Lage in einem stark bewaldeten Gebiet beziehungsweise brandgefährdete Böschungen und Vegetation in Objektnähe

Anhang 2: Beispiele für Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen für den Sektor Gesundheit

Gesundheit		
Klimaschutz	Klimaschutz und Anpassung	Anpassung
Begrenzung konventioneller Klimaanlagen mit hohem Strombedarf	Gesteigerte Nutzung der Beschattungsmöglichkeiten von urbanem Grün	Erstellung von Klimatopkarten
	Einbau einer freien Nachtlüftung	(zur Analyse der thermischen Belastung und zukünftiger Gefährdungspotentiale)
	Gewährleistung einer ausreichenden Kühlung von Speisetransporten (Cook & Chill Versorgung, einschließlich Redundanzen, um beim technischen Ausfall die erforderliche Kühlung aufrechterhalten zu können).	Vorsorgeempfehlungen und Informationen (zu klimarelevanten Infektionskrankheiten durch das Gesundheitsamt)
	Nutzung von Geothermie-Elementen zur Kühlung und zum Heizen	Anpassung/Verbesserung des Arbeitsschutzes (Beschaffung alternativer leichter Arbeits- und Schutzkleidung für Beschäftigte im Freien; Flexibilisierung von Arbeitszeiten, Nutzung der Gleitzeitregelung)
	Förderung energieeffizienter Kühlsysteme	Beschattung von Straßen, Wegen, Haltestellen
	Mit Photovoltaik überdachte Flächen (PV-Überdachter Parkplatz, PV-Pergola, PV-Carport, PV-Sonnensegel, Aufenthaltsflächen) für Witterungsschutz	Bereitstellen von kühlen Räumen in öffentlichen Gebäuden
		Ausweitung der Kooperation: Rettungsdienste, Katastrophenschutz
		Entwicklung/Ausbau eines abgestimmten Frühwarnsystems „Hitze“ (ggf. mit Ozonwarnung für Krankenhäuser, Kitas, Alten- und Pflegeheime, Träger ambulanter Pflege),
		Entwicklung/Ausbau eines Gesundheitsmonitorings (einschließlich der Erstellung von Notfallplänen und häufigere Kontrollen sensibler Einrichtungen)
		Organisation von Trinkpatenschaften
		Installation von Trinkwasserspendern in öffentlichen Gebäuden und ausgewählten Plätzen
		Sicherung der Abfallsammlung bei anhaltender Hitze

Anhang 3: Beispiele für Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen für den Sektor Raum- und Stadtplanung

Raum- und Stadtplanung		
Klimaschutz	Klimaschutz und Anpassung	Anpassung
Entwicklung von Energiekonzepten für Bebauungspläne neuer Baugebiete und zur energetischen Stadterneuerung	Integration energetischer und klimarelevanter Standards in bestehende kommunale Planungsinstrumente, Prüf- und Genehmigungsverfahren (Klimafolgen und Klimaschutz bei Ausweisung von Neustandorten berücksichtigen; Anpassung der Baumliste für B-Pläne)	Planerische Begrenzung von städtischen Wärmeinseln (intensive Begrünung, Bewässerung von Grünanlagen, Neuanlage von Brunnen, Innenhofentsiegelungen)
Erstellung eines Gebäudekatasters zur Ableitung emissionsreduzierter Maßnahmen	Entwicklung einer systematischen Strategie für Dach- und Fassadenbegrünungen in Kombination mit Solaranlagen (Einführung einer Gründach- oder PV-Pflicht für Flachdächer)	Strategie zum Management von Extremereignissen erarbeiten (Bewässerung bei Trockenperioden, Beseitigung/Minimierung von Sturmschäden)
Entwicklung autofreier Stadteile/Straßen	Renaturierung von Fließgewässern	Förderanreize für Investoren schaffen
Erhalt und Stärkung der kompakten Stadtstruktur als Grundlage für Energieeffizienz. (Leitbild "Stadt der kurzen Wege"; kompakt, gemischte städtische Strukturen)	Anlage von Wasserelementen	Aufbau von Planungsinformationssystemen (zur Integration der Informationen in öffentliche Planungsprozesse; Übersichtskarten, Kataster zur Bioklimatischen Situation, Ermittlung klimasensitiver Bereiche, Hot-Spot-Analysen)
Nachverdichtung mit verstärktem Einsatz von BHKWs kombinieren	Steigerung des innerstädtischen Grünvolumens mit multifunktionaler Nutzung (Schaffung von Dezentralem Grün für alle (Brachflächen, Schulhöfe, Parkplätze); Gezielte Entwicklung von Gewerbebrachflächen zu Grünflächen)	Entwicklung eines klimawandeltauglichen Regenwassermanagements (Umsetzung neuer Bemessungsgrundlagen für (Not-)Entwässerung, Gezielte Mulden- oder Teichversickerung, Planung (temporärer) Retentionsräume und Notwasserwege)
Nutzung regenerativer Energiequellen für Strom- und Wärmeversorgung	Neugestaltung von Parks (Ziel: Optimum an Verschattung, Kaltluftentstehung und geringe Beeinträchtigung der Luftströmung, Biodiversität fördern)	Vorbehaltsflächen für Hochwasserschutz festlegen (Eingeschränkte Nutzungen überflutungsgefährdeter Flächen)
Anschluss von Neubaugebieten an das öffentliche Verkehrsnetz	Kleingärten als wichtigen Bestandteil gesamtstädtischer Freiraumsysteme erhalten und weiterentwickeln	Bau von Wasserspeichern und Zisternen im Bereich innerstädtischer Grünflächen (Nutzung von Wasser bei Hitzeperioden, Entlastung der Wasserableitungssysteme bei Starkregen)

Anhang 3: Fortsetzung

Raum- und Stadtplanung		
Klimaschutz	Klimaschutz und Anpassung	Anpassung
	Pflanzungen klimawandeltauglicher Bäume an Straßen und Plätzen (Ausweisung thermischer Belastungszonen in denen das Anpflanzen nichtheimischer Gehölzarten sinnvoll ist)	Anteil unversiegelter Flächen erhöhen (Stadtumbaubedingte Abrissmaßnahmen zur Freiraumentwicklung nutzen; Rasengittersteine auf Parkplätze; „Schwammstadt“-Prinzip umsetzen (unter- und oberirdische Speichermöglichkeiten erhöhen, Flächen entsiegeln und begrünen); Mehrfachnutzung von Grün- und Verkehrsflächen als Rückstaumöglichkeit; Indirekte Förderung der Entsiegelung privater Flächen durch Gebührensplittling)
	Private Patenschaften für Bäume initiieren	Sicherung von Frischluft-, Kaltluft- und Belüftungsbahnen und klimatischer Entlastungsräume
	Planung von Gebäuden mit hoher Verfügbarkeit von Verschattungen	Anpassungsmaßnahmen auf Quartiersebene bündeln (Neubewertung von Quartierparks)
	Umsetzung „Grüner Schienentrassen“	Klimaerträgliche Nachverdichtung im Bestand (Priorität vor Außenentwicklung, im Innenbereich eine angemessene bauliche Dichte einhalten)
	Bei neuen Kleingärten, Sportflächen, Parkplätzen, etc. Kombination mit Geothermie/Solaranlagen prüfen	Vermeidung geschlossener Blockrandbebauung (Verbesserung der Durchlüftung und Abbau von Hitze-stau)
	Infrastrukturbaugeräte wie Lärmschutzwände mit PV und Begrünung kombinieren	Prüfung der Ausweisung neuer klimawandelgerechter Gewerbegebiete
		Auf-/Ausbau des kontinuierlichen Monitorings der stadtklimatischen Situation (Ermittlung von Flächen mit hoher thermischer Belastung)
		Berücksichtigung der Albedo bei der Gestaltung von Oberflächen

Anhang 4: Beispiele für Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen für den Sektor Gebäude und Quartiere

Gebäude und Quartiere		
Klimaschutz	Klimaschutz und Anpassung	Anpassung
Erarbeitung integrierter Konzepte zur energetischen Quartiersanierung unter Berücksichtigung sozialer Aspekte (Energie als Bestandteil der Daseinsvorsorge)	Kombination von Beschattungsmöglichkeiten und ausreichender Luftbewegung in Quartieren	Gebäudeanpassung mit Bauleitplanung, Bauordnung und besonderem Städtebaurecht verbindlich festsetzen
Ausbau von Nah- und Fernwärmenetzen (bei der Quartiersanierung) (Aufbau netzreaktiver Speichertechnologien; Einsatz effizienter gasbetriebener Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung; Einsatz von Mini- und Mikro-BHKW (Mehrfamilienhäuser und gewerbliche Objekte)	Entsiegelung von Parkflächen und Garagenzufahrten (permeable Oberflächen)	Optimierung des Fensterflächenanteils, auf Verschattung sowie Ausrichtung von Arbeits- und Aufenthaltsräumen achten
Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden (schrittweiser Umstieg auf erneuerbare Energie bei allen Neubau-, Umbau- und Sanierungsmaßnahmen)	Einsatz von EE-Anlagen für Heiz- und Kühlzwecke (Installation auf bereits vorbelasteten Flächen, um neue Versiegelung zu vermeiden)	Optimierung von Verschattungselementen (Überdachungen, Pagoden, Zeltplanen, verschattete Außenbereiche)
Erstellung eines Gebäudekatasters (zur Ableitung energie- und emissionsreduzierender Maßnahmen)	Steigerung der Gebäudebegrünung (Dach- und Fassadenbegrünung, „Vertical gardens“) (positiv für thermisches, lufthygienisches und energetisches Potential, Regenwasserrückhalt und -speicherung)	Einführung heller Oberflächen an Fassaden und Dächern (zur Erhöhung der Rückstrahlung und Verminderung der Aufheizung)
Bei der Bauplanung: Stellung der Baukörper beachten (Orientierung von Fassaden und Fensterflächen zur Sonne, Vermeidung der Verschattung)	Pflanzen von Laubbäumen im Süden und Südwesten vor Gebäude (Sonnenschutz im Sommer, Nutzung der Wärmestrahlung im Winter)	Schutz technischer Anlagen (Andenken einer redundanten Stromversorgung; Überflutungssichere Unterbringung technischer Einrichtungen)
Erarbeitung kommunaler Vorgaben zu Baustandards für energie- und wärme-effiziente Bauweise (Passiv- oder Nullenergiehäuser, Gebäude-Effizienzstandards)	Verbesserung des Innenraumklimas (energieoptimierte Bauweise, Reduzierung innerer Wärmequellen, Tageslichtnutzung, keine Standby-Geräte, Einbau freier Nachtlüftmöglichkeiten)	Sturmsichere Dachgestaltung (Vermeidung und Sicherung schwingungsanfälliger Anlagen und Aufbauten)
Aufbau/Ausbau eines Kundenzentrums „Bauen, Energie und Klimaschutz“ (Verstärkte Energieberatung)	Großflächige Glasarchitektur nur bei energetisch optimierten Lösungen nutzen	Angepasste Keller- und Erdgeschossgestaltung (Verbesserung der privaten Hochwasservorsorge durch Rückstauklappen; Auftriebsicherung von Tanks; Sicherung von Gebäudeöffnungen; grundwasserangepasste Bauweisen)
Grüne Hausnummer (Vorbildlich sanierte Gebäude erhalten eine sichtbare symbolische Plakette)	Fortbildungsangebote für Berater, Architekten, Handwerker, Mieter	Optimierung der Regenentwässerung (Grauwassernutzung mit Zisterne, Anlegen von Wasserflächen)

Anhang 4: Fortsetzung

Gebäude und Quartiere		
Klimaschutz	Klimaschutz und Anpassung	Anpassung
Installation von Kleinwindanlagen	Aufbau von Netzwerken zur besseren Kooperation zentraler Akteure	Verstärkte wärmetechnische Sanierung bestehender Gebäude
Einführung eines Energiepasses	Entsiegelung und Begrünung von Innenhöfen	Verfüllung von Leitungsgräben mit geeigneten Materialien (reduziertes Wärmeleit- und -speichervermögen)
Förderung von Sanierungsmaßnahmen	Kombination Erneuerbare Energien mit Begrünung/ Regenwasserver-sickerung (Solar Gründach, begrünte Energiezentralen)	Einführung des Hochwasserpasses
Aufbau einer Dachflächenbörse für Photovoltaikanlagen (städtische Nicht-Wohngebäude, Schallschutzmauern, etc.)	Informationen zum richtigen Kühlen und Lüften bereitstellen (Sensibilisierung für energieeffiziente Kühl- bzw. Hitzeschutzmaßnahmen)	Sensibilisierung der Bevölkerung zu Eigenvorsorge und Objektschutz (Verstärkte (kostenfreie) Beratung von Gebäudeeigentümern und Bauherren zur Vorsorge von Extremereignissen)

Anhang 5: Beispiele für Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen für den Sektor Verkehr und Mobilität

Verkehr und Mobilität		
Klimaschutz	Klimaschutz und Anpassung	Anpassung
Verbesserte Fahrradinfrastruktur (Ausbau des Radwegenetzes (Schutzstreifen, Fahrradstraßen, Beschilderung); Erweiterung attraktiver Fahrradabstellmöglichkeiten; Integration von Serviceeinrichtungen an Mobilitätsknoten; Sichere Übergänge und Wege (im Dunkeln beleuchten))	Bau hochwertiger klimawandeltauglicher Abstellanlagen für Fahrräder an wichtigen Zielen zum Witterungs- und Hitzeschutz (Überdachung auch mit PV (Strom für Beleuchtung nutzbar) oder Gründach möglich)	Schutz von Verkehrsinfrastrukturen vor wetterbedingten Schäden (Test und Gewährleistung der Funktionsfähigkeit während und nach Wetterextremereignissen; Einbau von Pumpen in Tunnel und Unterführungen)
Regionale Vernetzung barrierefreier Fuß- und Radwegenetze	Erhöhung der Gehwegqualität (Barrierefreiheit und Entwässerung berücksichtigen, Albedomanagement, Verschattung, Überdachung)	Entwicklung von Regelungen zur Klimatisierung öffentlicher Verkehrsmittel
Verbesserung des ÖPNV (Ausbau des ÖPNV-Netzes, gute Anbindung von Neubaugebieten, Umsetzung von Busbeschleunigungsstreifen, Verkehrsmittelübergreifendes Ticketing, ÖPNV-Tickets für Hotelgäste und Touristen)	Klimawandeltaugliche Ausrüstung von Haltestellen (inklusive Photovoltaik-Anlage, Verschattung und Begrünung)	Bessere bauliche Überdachung im Verkehrsraum (Lichtsignalanlagen, Haltestellen, Betriebshöfe, Wartebereiche, Endstationen, P+R- und B+R-Plätze)
Ausbau von Alternativangeboten für Pendler (bessere Verknüpfung verschiedener Verkehrsmittel des ÖPNV und SPNV; Ausbau von P+R- bzw. B+R-Plätzen an Endhaltestellen, Reaktivierung von Schienenverbindungen)	Anlage von Rasengleisen (begrünte Gleisbereiche) (als Retentionsfläche, zur Bindung von Feinstaub, zur Minderung der Schallausbreitung, Kühlender Effekt durch Verdunstung)	Entwicklung von Notfallplänen bzw. Verkehrsmanagementstrategien ((ÖPNV, Rettungsdienste) zur Umfahrung klimaanfälliger, verkehrsrelevanter Bereiche (Windbruch, Starkregen))
Entwicklung/Förderung neuer Mobilitätskonzepte (Unterstützung von Konzepten wie Car-Sharing (ggf. mit neuen Energieträgern), Nachbarschaftsauto, Aufbau eines betrieblichen Mobilitätsmanagements)	Besser Beschattung von Straßen, Wegen, Parkplätzen und Haltestellen durch Bäume und Sträucher	Sicherstellung der schnellen Erreichbarkeit von Erholungsräumen für sensible Bevölkerungsgruppen
Entwicklung moderner City-Logistik-Konzepte zur Minderung der Lieferverkehre in Ballungsräumen (Lärm- und Abgasminimierung)	PV-überdachte Parkplätze mit Ladesäulen (Kombination mit Bepflanzung und versickerungsfähigem Pflaster möglich)	Klimawandeltaugliche Straßenplanung (Anpassung der Gestaltung von Straßenprofilen für größeres Stauvolumen von Regenwasser, versickerungsfähiges Pflaster)
Verstärkter Einsatzlärm- und emissionsverminderter Transportmittel (Elektrokleintransporter, Elektro-LKW, Lastenfahrräder; Elektrifizierung bisheriger Dieselstrecken in Ballungsräumen; Förderung von Elektro-Autos und Pedelecs mit Strom aus erneuerbarer Energie)	Bau von PV-Carports	Reduzierung der Aufheizung exponierter Verkehrs- und Freiflächen (Verschattung, Verwendung von hellem Asphaltbeton für Fahrbahnen)

Anhang 5: Fortsetzung

Verkehr und Mobilität		
Klimaschutz	Klimaschutz und Anpassung	Anpassung
Entwicklung neuer Parkkonzepte in Innenstadtbereichen (Verteuerung des Parkens, Ausweitung der Stellplatz- und Parkraumbewirtschaftung, Ausbau von Parkleitsystemen, Kostenloses Parken für E-Autos)	Geothermieanlage unter Parkplatz mit versickerungsfähigem Pflaster	Erstellung eines Katasters möglicher Überflutungsbereiche als Informationsgrundlage zur Entwicklung weiterer Maßnahmen
Aus- und Aufbau neuer klimafreundlicher Infrastruktur (Ladeinfrastruktur für Elektromobilität, (Elektro) Fahrradverleihsysteme, Wasserstoff-Infrastruktur (Erzeugung, Nutzung, Speicherung, Ausbau Wasserstoff-Busnetze)	Multifunktionale Nutzung von Lärmschutzwänden (Begrünung, Photovoltaik)	Überprüfung der Auswirkungen von Starkregen auf die Infrastruktur der Elektromobilität
Entwicklung neuer Konzepte für den öffentlichen Dienst/Arbeitgeber (Ausweitung der zentralen Fahrzeugbewirtschaftung; Jobtickets; Anreiz für umweltschonende Dienstreisen)		Versorgung mit Streumittel optimieren
Umrüstung der Straßenbeleuchtung und Lichtsignalanlagen auf energiesparende LED-Technologie		
Aktionstage (Mobil ohne Auto, Stadtradeln und Informationskampagnen)		
Mobilitätsberatung (in Schulen und Kindergärten („Laufender Schulbus“- Aktion zum betreuten gemeinsamen zur Schule gehen); in Betrieben (Jobtickets, Fahrradfreundlicher Arbeitsgeber); Energiespar-Fahrtraining		
Flächendeckende Einführung von Tempo-30-Zonen		

Anhang 6: Beispiele für Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen für den Sektor Kritische Infrastruktur

Kritische Infrastruktur		
Klimaschutz	Klimaschutz und Anpassung	Anpassung
Nutzung energieeffizienter (Nah-) Wärmenetze (Ausbau der Fernwärmenetze und BHKWs, BHKWs werden mit erneuerbaren Energien betrieben)	Eingliederung von Klimaschutz & Anpassung in alle infrastruktur-relevanten Entscheidungen	Klimaangepasste Standortsuche bei Planung von Einrichtungen mit sensiblen Nutzungen (Krankenhäuser, Altenheime, Schulen, Kindergärten)
Städtische Solarbörse (Bereitstellung von Dachflächen für Dritte)	Förderung des naturnahen Ausbaus von Rückhaltebecken und Gewässern	Ertüchtigung bestehender Mischwasserkanalisation (damit periodisch wiederkehrende Überläufe angeschlossene Gewässer weniger stark belasten)
Umstellung der Energieversorgung auf regenerative Energie		Ausbau Trennwassersysteme/ Reduzierung Mischwassersysteme
Aufbau einer effizienten und dezentralen Stromerzeugung (Smart Grid)		Anpassung und Ertüchtigung von Rückhaltebecken
Analyse vorhandener Notstromkapazitäten		Einplanung zusätzlicher Speicherkapazitäten beim Neubau von Kanalisationsanlagen
Sammeln und Nutzen von Deponie- und Faulgas		Sektorübergreifende, raumbezogene Betroffenheitsanalyse (kritische Infrastruktur)
Nutzung von Abwärme von Industrieanlagen (für Gebäude oder Nahwärmenetze)		Sicherstellung der Funktionsfähigkeit kritischer Infrastruktur während und nach Extremwetterereignissen
Energetische Nutzung von Abfällen und Abwasser (für Gebäude oder Nahwärmenetze)		Ausweitung der Kooperation: Rettungsdienste, Katastrophenschutz und Betreiber kritischer Infrastruktur
Erhöhung der Energieeffizienz in der Abwasserreinigung		Überflutungssichere Unterbringung technischer Geräte (zur Vermeidung des Ausfalls kritischer Strukturelemente)
		Planung von Objektschutzmaßnahmen in Bezug auf Extremwetter
		Sicherung der Infrastruktur-Funktionalität durch redundante Systeme
		Risikomanagement bei Großveranstaltungen gegenüber Extremwetterereignissen

Anhang 7: Beispiele für Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen für den Sektor Ökosysteme, Boden und Grundwasser

Ökosysteme, Boden, Grundwasser		
Klimaschutz	Klimaschutz und Anpassung	Anpassung
Straßenbaumkataster pflegen und weiterentwickeln	Durchführung naturschutzrechtlicher Ausgleichsverfahren (Flächenentsiegelung, Gehölzpflanzungen, Gewässerrenaturierung)	Überwachen der Ressource Grundwasser (Menge und Beschaffenheit) (Schutzkonzepte und Planungsempfehlungen für Grundhochwasser erstellen; Kartierung von Gefährdungsgebieten für Grundhochwasser und Setzungen)
Erstellung einer Systemkarte Boden (enthält u.a. Daten zur Kaltluftproduktion, Niederschlagsversickerung)	Schaffung kleiner, offener Wasserflächen im öffentlichen Raum (cool spots)	Schutz küstennahen Grundwassers vor Versalzung
Renaturierung von Moorstandorten	Erhöhung der Arten- und Baumsortenanzahl (um Gefährdungen durch Pflanzenschädlinge vorzubeugen)	Verbesserung der Wasserqualität von Oberflächengewässern (durch ausreichende Wasserzufuhr im Sommer; Entwicklung von Maßnahmen zur Verminderung solarer Erwärmung der Oberflächengewässer)
	Bepflanzung urbaner Flächen zur Verbesserung der Durchlässigkeit der oberen Bodenschicht	Vermeidung stehende Gewässer (Brutstätten für Mücken, einsetzende Fäulnisprozesse)
	Vergrößerung, Belüftung und Substrataustausch bei vorhandenen Baumscheiben (Bei neugepflanzten Bäumen auf ausreichend großen Wurzelraum achten)	Implementierung eines Monitoringprogramms „Wasserqualität“
	Defiziträume bei Stadtbäumen identifizieren und proaktiv neue Baumstandorte entwickeln	Förderung einer naturnahen Niederschlagsbewirtschaftung (Schaffung von Versickerungsflächen auch unabhängig vom Bauleitplanverfahren; Verbesserung der Niederschlagsversickerung vor Ort)
	Grünflächen und Straßenbäume klimaangepasst gestalten und pflegen (Neupflanzungen von Bäumen nach Empfehlungen der Klima-Arten-Matrix)	Erarbeiten einer Verwaltungsanleitung zur Erteilung wasserrechtlicher Genehmigungen unter Berücksichtigung des Klimawandels
	Private Patenschaften für Bäume initiieren	Erstellung von Bewässerungskonzepten unter Berücksichtigung der natürlichen Standorteigenschaften
	Anreize zu Begrünung von Privatgebäuden und Gewerbebauten schaffen	Kampagne zur Klimaanpassung in Kleingärten

Anhang 7: Fortsetzung

Ökosysteme, Boden, Grundwasser		
Klimaschutz	Klimaschutz und Anpassung	Anpassung
	Humusmehrende Bewirtschaftung kommunaler Grün- und Parkflächen (Erhalt bzw. Erhöhung von standort-typischen Humusgehalten)	Sicherung klimarelevanter Böden (Erhöhung der Wasserspeicherkapazität des Bodens durch Substrate von Baumbeeten; Erhöhung der Bodenkühlleistung bei Hitzeperioden durch Bewässerung; Bodenverbesserung durch Tiefenauflockerung; Kommunale Erosionsschutzberatung)
	Erprobung neuer einheimischer und mediterraner Baumarten hinsichtlich ihrer Eignung	Monitoring und Eindämmung der Einschleppung und Verbreitung invasiver Tier- und Pflanzenarten

Anhang 8: Beispiele für Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen für den Sektor Städtische Einrichtungen

Städtische Einrichtungen		
Klimaschutz	Klimaschutz und Anpassung	Anpassung
Entwicklung hin zu energieeffizienten kommunalen Gebäuden (Fortführung der energetischen Sanierung, bei Neubau; Bau von Energie-Plus Häusern)	Entwicklung alternativer Bewässerungskonzepte für innerstädtische Grünflächen (Alternativen zum Trinkwasser, Rückhaltung von Regenwasser)	Aufbau eines allgemeinen Informationspools zur Identifikation besonders anfälliger Bereiche (Stadtvertreter, Polizei, Feuerwehr, Katastrophenschutz)
Umstellung der Energieversorgung öffentlicher Gebäude auf regenerative Energienutzung (Schulen, Hallenbad, Feuerwache, etc.)	Förderung von Schulgärten	Einrichtung klimawandeltauglicher Schulhöfe (Entsiegelung, gezielte Versickerung)
Entwicklung neuer Mobilitätskonzepte für Mitarbeiter (Einführung eines regionalen Jobtickets, Überarbeitung der Dienstreiseregelung)	Sensibilisierung privater Bauherren zur Berücksichtigung der Folgen des Klimawandels bei der Planung von Bauvorhaben (Bereitstellung von Checklisten)	Integration von Wasserelementen und Grünflächen in die Gestaltung des öffentlichen Raums
De karbonisierung der behördlichen Fahrzeugflotte (Umrüstung der kommunalen Fahrzeugflotte auf Gas, H ₂ , Strom oder Hybrid)	Ermittlung des Einflusses von Streusalz auf temporäre Retentionsräume	Erarbeitung eines Nachtlüftungskonzeptes für öffentliche Gebäude
Doppelnutzung städtischer Verkehrs-, Dach- und Entsorgungsflächen zur Energieerzeugung (Installation großflächiger PV-Anlagen mit Solarkataster, Dachflächenvermittlung)	Schaffung hochwertiger Rückzugsorte („Pocket Parks“) für die Bevölkerung	Entwicklung eines Programms zur Entsiegelung öffentlicher Flächen (Kataster mit flächenbezogenen Informationen)
Einrichtung einer Ansprech- oder Beratungsstelle zum Themenschwerpunkt Klimaschutz	Entwicklung von Konzepten zur multifunktionalen Nutzung städtischer Freiflächen	
Entwicklung hin zur energieeffizienteren Verwaltung (effizienterer Papiereinsatz umweltverträgliche Beschaffungen)	Dach- und Fassadenbegrünung öffentlicher Gebäude	
Akzeptanz in der Verwaltung stärken	Schulungen und Weiterbildungen der MitarbeiterInnen	
Straßenbeleuchtung optimieren (Einschaltzeiten, Einsatz von LED)	Multifunktionale Nutzung von Flächen zur Energieerzeugung und als Witterungsschutz	
Wärmegewinnung aus Kanalisation, Kläranlage, Abwasser		

AUTORINNEN UND AUTOREN

Steffen Bender¹, Markus Groth¹, Peer Seipold¹,
Janna-Malin Gehrke¹

¹ Climate Service Center Germany (GERICS) |
Helmholtz-Zentrum Hereon

KONTAKT

Climate Service Center Germany (GERICS)
Helmholtz-Zentrum hereon GmbH

Chilehaus, Eingang B
Fischertwiete 1
D-20095 Hamburg

Tel.: 040-226 338-0
Fax: 040-226 338-163
www.climate-service-center.de

Die Helmholtz-Klima-Initiative (HI-CAM) wurde mit Mitteln des Impuls- und Vernetzungsfonds der Helmholtz-Gemeinschaft (IVF) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin / beim Autor.

Weitere Ergebnisse aus dem Projekt Netto-Null-2050 finden Sie hier:

www.netto-null.org
www.helmholtz-klima.de/presse/mediathek

Bildquelle: Adobe Stock

Beteiligte Zentren:



Eine Einrichtung des Helmholtz-Zentrums **Hereon**