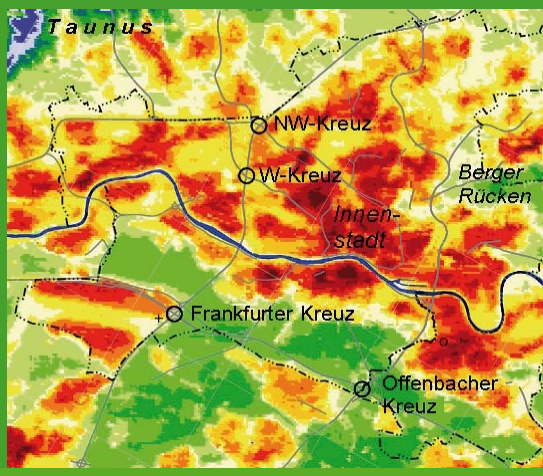

klamis

KLIMA MORO

Modellvorhaben der Raumordnung zur Klimaanpassung in Mittel- und Südhessen

Kommunen im Klimawandel – Wege zur Anpassung

Regionalverband FrankfurtRheinMain

Das Produkt **Kommunen im Klimawandel – Wege zur Anpassung** ist ein eigenständiges Ergebnis des Modellvorhabens der Raumordnung zur Klimaanpassung in Mittel- und Südhessen (MORO KLAMIS), unterstützt mit Mitteln des Modellvorhabens der Raumordnung »Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel« (KlimaMORO). Modellvorhaben der Raumordnung (MORO) ist ein Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), betreut durch das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Das Modellvorhaben KLAMIS ist ein Projekt des Regierungspräsidiums Gießen (Federführung), des Regierungspräsidiums Darmstadt und des Regionalverbandes FrankfurtRheinMain.

Gefördert durch

KLIMA MORO

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung

Inhalt

1. Einführung – warum diese Handlungsempfehlungen? 5

2. Der Klimawandel und dessen Folgen für die Kommunen 7

2.1 Siedlungsklima allgemein 7

2.2 Auswirkungen des Klimawandels auf die Kommunen 8

2.2.1 Hitzebelastung 9

2.2.2 Trockenheit 10

2.2.3 Extremniederschläge 10

2.2.4 Starkwindböen und Stürme 11

2.2.5 Kumulative Effekte 12

2.3 Lokale Klimaprojektionen des Deutschen Wetterdienstes zur zukünftigen Wärmebelastung in Städten 13

3. Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel 17

3.1 Hitzebelastung 18

3.2 Trockenheit 28

3.3 Extremniederschläge 32

3.4 Starkwindböen und Stürme 39

3.5 Maßnahmen, die mehrere Klimawirkungen betreffen 40

4. Instrumente zur Umsetzung 44

4.1 Gesetzliche Grundlagen im Raumordnungs- und Baurecht 44

4.2 Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten in Bauleitplänen 48

5. Zusammenfassung 55

6. Checkliste zur kommunalen Anpassung an den Klimawandel 56

7. Glossar 57

8. Literatur, Links und weitere Informationsquellen 61

1. Einführung – warum diese Handlungsempfehlungen?

Der Klimawandel ist ein weltweites Phänomen, vom dem die Medien fast täglich berichten. Die überwiegende Zahl der Wissenschaftler geht davon aus, dass der Klimawandel in dem Ausmaß, wie er sich seit Beginn des letzten Jahrhunderts vollzieht, durch den Menschen beeinflusst ist. Nur wenn jetzt entsprechende Maßnahmen ergriffen werden, gibt es überhaupt die Chance, die Klimaveränderungen in einem handhabbaren Maß zu halten. Aber auch eine Begrenzung der Erderwärmung um maximal 2°C wird dazu führen, dass eine Anpassung unumgänglich ist. Die prognostizierten Auswirkungen des Klimawandels sind bereits heute an vielen Orten und in vielen Bereichen erkennbar. Die Häufung immer stärker auftretender Extremwetterereignisse wie die Hitzewellen der Sommer 2003 und 2006 in Mittel- und Westeuropa oder schwere Unwetter und sintflutartige Regenfälle, wie sie wiederholt im Grenzgebiet von Tschechien, Deutschland und Polen aufgetreten sind, und die damit verbundenen Flutkatastrophen können als Anzeichen des Klimawandels gedeutet werden, und sie betreffen auch unsere Breiten. Grundsätzlich ist ein zweigleisiges Vorgehen im Kampf gegen den Klimawandel erforderlich. Die Klimaschutzmaßnahmen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen sind weiterhin unerlässlich, werden aber nicht ausreichen, um den Klimawandel aufzuhalten. Daher ist es an der Zeit, neben dem Klimaschutz die **Anpassung an die Folgen des Klimawandels** als zweite Strategie im Umgang mit dem Klimawandel stärker in den Vordergrund zu rücken.

Zudem macht es nicht nur aus ökologischer, sondern auch aus ökonomischer Sicht Sinn, die Anpassung an den Klimawandel frühzeitig anzugehen (Stern 2007). Je früher Maßnahmen geplant und berücksichtigt werden, desto eher ist es möglich, diese mit geringerem finanziellen Aufwand, beispielsweise zusammen mit Sanierungs- oder Stadtentwicklungsmaßnahmen, die ohnehin anstehen und gegebenenfalls bereits gefördert werden, durchzuführen. Hier liegt die große Chance der frühzeitigen Anpassung. Gelder, die jetzt für Anpassungsmaßnahmen ausgegeben werden, können schon heute Schäden verhindern oder zumindest reduzieren, die zu viel größeren volkswirtschaftlichen Belastungen führen würden. So sorgt beispielsweise die Installation einer Rückschlagklappe dafür, dass bei der Überlastung der Kanalisation in Folge eines Starkregenereignisses der Eintritt von Niederschlagswasser in das Gebäude verhindert wird.

Die vorliegenden Handlungsempfehlungen sind im Rahmen des Forschungsvorhabens KLAMIS (Klimaanpassung Mittel- und Südhessen) entstanden, das vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) gefördert und durch das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) betreut wird. KLAMIS ist eines von acht Projekten bundesweit, die sich als Modellvorhaben der Raumordnung (MORO) mit den Möglichkeiten der Regionalplanung im Zuge der Anpassung an den Klimawandel beschäftigen.

Die hier von der Arbeitsgruppe Siedlungsklima des MORO KLAMIS vorgelegten Handlungsempfehlungen sollen zum **vorsorgenden Handeln** in unseren hessischen Städten und Gemeinden anregen. Ziel ist es dabei, die Weichen für die Zukunft frühzeitig zu stellen und die Lebens- und Umweltqualität unter Berücksichtigung des Klimawandels zu sichern. Die Handlungsempfehlungen sollen einen ersten Schritt auf dem Weg zur klimaangepassten hessischen Kommune darstellen und zum Nach- und

Weiterdenken anregen. Daher zeigt diese Publikation Schwerpunkte auf, die im Einzelfall für kommunenspezifische Fragestellungen konkretisiert und vertieft werden können.

In Kapitel 2 dieser Handlungsempfehlungen werden zunächst die Auswirkungen des Klimawandels auf die Siedlungsgebiete der Kommunen betrachtet. In Kapitel 3 werden Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel auf kommunaler Ebene sowie einige Beispiele aufgezeigt. Kapitel 4 behandelt Instrumente zur Umsetzung und geht dabei insbesondere auf die Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten im Raumordnungs- und Baurecht ein. Kapitel 5 fasst die wesentlichen Aussagen dieser Handlungsempfehlungen zusammen. Eine übersichtliche Checkliste zu den Folgen des Klimawandels (Kapitel 6), ein Glossar mit den wichtigsten Begriffen (Kapitel 7) und weitere Literaturhinweise (Kapitel 8) schließen den Text ab.

2. Der Klimawandel und dessen Folgen für die Kommunen

Aus den typischen Eigenschaften des Stadtklimas ergeben sich unterschiedliche Herausforderungen, die sich durch den Klimawandel noch verstärken können. In diesem Kapitel werden die Besonderheiten des Siedlungsklimas beschrieben, das sich in vielen Punkten vom Klima im ländlich geprägten Raum unterscheidet. Danach werden die für Siedlungsgebiete wesentlichen Auswirkungen des Klimawandels eingehend betrachtet: Wärmebelastung, Trockenheit, Extremniederschläge sowie Starkwindböen und Stürme und die Effekte, die sich aus der Überlagerung dieser Auswirkung ergeben können. In einem Beitrag des Deutschen Wetterdienstes (DWD) werden sodann lokale Klimaprojektionen für die zukünftig erwartete Wärmebelastung in der Metropolregion Frankfurt/Rhein-Main vorgestellt.

2.1 Siedlungsklima allgemein

Das Siedlungsklima, insbesondere in Ballungsräumen, unterscheidet sich in verschiedenen Aspekten vom Klima in ländlich geprägten Regionen. Die hauptsächlichen Gründe für diese unterschiedlich ausgeprägten Klimate liegen in der wesentlich dichteren Bebauungsstruktur, dem höheren Versiegelungsgrad, einem geringeren Vegetationsbestand und einer viel höheren Zahl von Emissionsquellen. Die höheren Emissionen resultieren aus einem erhöhten Verkehrsaufkommen, dem für Städte typischen Hausbrand und der zum Teil großen Anzahl an Industrie- und Gewerbebetrieben. Sind bestimmte Eigenschaften des Siedlungsklimas stark ausgeprägt, so können diese negative Folgen für die dort lebenden Menschen sowie für Flora und Fauna haben. Ebenso kann sich das Siedlungsklima negativ auf die Infrastruktur auswirken, indem beispielsweise ein erhöhter Kühlbedarf in Krankenhäusern und Altenheimen durch höhere Temperaturen im Sommer entsteht. Das Siedlungsklima wird durch eine Vielzahl von Klimafaktoren geprägt. Diese sind für die Stadtplanung von großer Bedeutung und werden im Folgenden beschrieben. Durch den Klimawandel ist zusätzlich mit einer ungünstigen Veränderung einiger dieser Faktoren zu rechnen.

Aufgrund der sich im Sommer durch die Sonneneinstrahlung stark aufheizenden dichten Bebauung, insbesondere in Städten, kommt es zu einer Speicherung der Tageshitze. In der Nacht kühlt die Siedlung kaum ab und heizt sich in den darauf folgenden Tagen immer weiter auf. Dies führt zum sogenannten **Wärmeinseleffekt**. Beobachtungen zeigen, dass sich die Temperaturen zwischen den Stadtkernen und dem Umland vor allem in Sommernächten häufig um mehrere Grad Celsius unterscheiden. Auch im Winter ist es in Städten wärmer als im Umland, da die Dichte an beheizten Räumen sehr hoch ist und somit viel Wärme an die Umgebung abgegeben wird.

Bedingt durch einen niedrigeren Anteil an Grün- und Wasserflächen haben Städte in Deutschland im Allgemeinen eine geringere **Luftfeuchtigkeit** als das Umland. Da durch die Versiegelung innerhalb der Siedlungsbereiche auch weniger oberflächennahes Wasser für die Verdunstung verfügbar ist, ist die **abkühlende Wirkung der Verdunstung** (Verdunstungskälte) deutlich geringer als im Umland. Dies verstärkt den Wärmeinseleffekt.

Trotz der geringeren Luftfeuchte sind Niederschlagsereignisse im Siedlungsbereich oftmals länger und intensiver als im ländlichen Raum. Dies liegt daran, dass sich durch die höheren Emissionen von Partikeln in der Luft leichter Regentropfen bilden, die dann die Wolken zum Abregnen bringen. Die höheren Temperaturen in den Siedlungsbereichen führen zu einem Aufsteigen der Luft. Diese kühlt hierbei ab, was ebenfalls die **Wolken- und Niederschlagsbildung** begünstigt. Hinzu kommt, dass durch den hohen Versiegelungsgrad anfallendes Wasser nicht versickert. Dies führt bei Starkregen häufig zu Überschwemmungen und Überlastungen der Kanalisation, die oftmals nicht auf extreme, kurzzeitige Niederschlagsereignisse ausgelegt ist.

Eine hohe Verkehrsdichte, Industrieansiedlungen und Hausbrand führen in Siedlungsgebieten zu einer vermehrten Entstehung von gas- und partikelförmigen **Luftschadstoffen**. Zusätzlich wird durch die dichte Bebauung die Luftzirkulation erschwert. Somit verbleiben die Schadstoffe meist in der Stadtluft und sammeln sich dort an, wodurch die Schadstoffkonzentration weiter ansteigt. Dies kann zu gesundheitlichen Problemen für die Bevölkerung führen.

Die **Windgeschwindigkeiten** in Siedlungen sind aufgrund dichter Bebauung im Mittel geringer als im Umland. Dies führt zu einem geringeren Luftaustausch und somit zu höheren Luftschadstoffkonzentrationen. Jedoch können im Einzelfall zwischen hohen Gebäuden Düseneffekte auftreten, die dort zu dementsprechend hohen bodennahen Windlasten führen.

Geographische Faktoren wie beispielsweise die Höhenlage, die Nähe zu größeren Gewässern oder Gebirgen, die Höhendifferenz im Stadtgebiet und die Nähe zu ausgedehnten Waldgebieten oder Feldfluren sind ebenfalls zu berücksichtigen. Feldfluren und Waldgebiete etwa wirken als **Kalt- und Frischluftentstehungsgebiete**. Sind diese über Luftleitbahnen mit den Siedlungsbereichen verknüpft, übernehmen sie eine wichtige Funktion zur Durchlüftung des Siedlungskörpers. Somit ist zur Sicherung von Luftleitbahnen bei jeder Planung die Strömungssituation zu berücksichtigen. Dabei sind Hauptwindrichtung und Lokal- bzw. Regionalströmung nicht immer deckungsgleich. Für die Wirksamkeit gegen die Überwärmung von Siedlungsbereichen sind die Geschwindigkeit und die vertikale Mächtigkeit der Kaltluftströmung sowie der Temperaturunterschied zwischen Kaltluftentstehungsgebiet und Siedlung von Bedeutung (VDI 2007).

2.2 Auswirkungen des Klimawandels auf die Kommunen

Im Zuge des Klimawandels sind für die Kommunen vor allem die steigenden Temperaturen und je nach geographischer oder topographischer Lage die häufiger auftretenden Extremwetterereignisse wie etwa Trockenheit, Starkregen oder Stürme von Relevanz, denen gegenüber Siedlungsbereiche besonders verwundbar sind. Durch die Besonderheiten des Siedlungsklimas ist zu erwarten, dass die genannten Klimawirkungen in den Städten deutlich größere Auswirkungen haben werden als in eher locker bebauten, ländlichen Gebieten.

2.2.1 Hitzebelastung

Durch den allgemeinen Anstieg der Durchschnittstemperatur wird es in Zukunft auch zu immer höheren Temperaturmaxima kommen. Ebenso steigt die Wahrscheinlichkeit lang anhaltender Hitzewellen, die laut allgemeinem Verständnis dann gegeben sind, wenn die Tagesmaximum-Temperatur an mehreren aufeinander folgenden Tagen hohe Werte erreicht[1]. Da durch den Klimawandel die Temperaturen sowohl im Umland als auch in der Stadt ansteigen werden, kann der Wärmeinseleffekt in künftigen Sommern sich zu einem Hitzeinseleffekt ausweiten und das Wohlbefinden in den Siedlungsbereichen in der warmen Jahreszeit spürbar beeinträchtigen. Der Wärmeinseleffekt in Städten wirkt sich besonders dramatisch aus und schließt einen deutlichen Anstieg der Sommertage (Tage mit mehr als 25°C), der heißen Tage (Tage mit mehr als 30°C) und der Tropennächte (Nächte nicht unter 20°C) sowie der Tage mit Schwüle ein. Die aufgrund der Versiegelung geringe Verdunstung und die oftmals nur schwache Luftzirkulation verstärken diesen Effekt. Die gefühlte Temperatur in Städten wird durch die kombinierte Wirkung von hoher Temperatur, niedriger Windgeschwindigkeit und hoher thermischer und solarer Strahlung besonders hoch liegen und als Hitzestau empfunden werden. Klimaforscher gehen bis zum Jahr 2100 von einem Anstieg der Jahresdurchschnittstemperatur von bis zu 3,5°C in Deutschland aus (UBA 2005).

Negative Auswirkungen des Temperaturanstiegs sind in erster Linie auf die Gesundheit zu erwarten. Besonders alte und kranke Menschen, aber auch kleine Kinder werden unter der Hitze in den Städten zu leiden haben, da sie in der Regel körperlich weniger belastbar sind. Dies kann zu Hitzestress führen. Daher ist unter Hitzebelastung immer darauf zu achten, dass genügend getrunken wird. Im Zuge der steigenden Temperaturen und der damit verbundenen Hitzebelastung ist in Zukunft – auch vor dem Hintergrund der Änderung der Altersstruktur der Bevölkerung – mit einem Anstieg der Sterblichkeitsrate (Mortalität) zu rechnen. Im Sommer des Jahres 2003 sind schätzungsweise über 20.000 Menschen in Europa (ca. 7000 davon in Deutschland) an den Folgen der damaligen Hitzewelle gestorben (UBA 2005). Bei der Belastung durch Hitzewellen kommt es auch darauf an, wann es im Jahresverlauf zu einer Hitzewelle kommt. Je früher im Jahr eine Hitzewelle eintritt, desto höher ist die Gefahr für den menschlichen Körper, weil sich dieser noch nicht an die hohen Temperaturen gewöhnt hat (UBA 2005). Auch die höheren Nachttemperaturen im Zuge einer Hitzewelle können problematisch sein, denn die Regenerationsfähigkeit des Körpers während des Schlafs ist dadurch eingeschränkt. Höhere Temperaturen begünstigen auch die Ausbreitung von Krankheitserregern.

Zudem ist die Verkehrsinfrastruktur durch eine steigende Hitzebelastung gefährdet. So können Straßenbeläge bei zu großer Hitze weich werden oder Schienen sich unter zu großer Hitzebelastung verziehen. Dies führt zu Behinderungen des Verkehrsflusses, hohen Belastungen der Verkehrsteilnehmer und beeinträchtigt auch Industrie und Gewerbe, weil Güter möglicherweise nur eingeschränkt

[1] Es gibt keine allgemein anerkannte Definition für eine Hitzewelle. Die Amerikanische Gesellschaft für Meteorologie (American Meteorological Society) spricht von einer Hitzewelle, wenn an drei aufeinander folgenden Tagen ein Temperaturhöchstwert von über 32,2°C (90° Fahrenheit) erreicht wird.

transportiert bzw. verarbeitet werden können. Für Industrie und Gewerbe ist ferner relevant, dass aufgrund des höheren Kühlbedarfs möglicherweise der Wasserbedarf steigt.

Wichtig wird in Zukunft die Stadtgestaltung sein. Aus stadtplanerischer Sicht ist auf eine möglichst natürliche Belüftung von Straßen und Plätzen zu achten. Wichtige Themenfelder sind ferner die Erhaltung sowie die strategisch günstige Verteilung von Freiraum und bebautem Raum, die Gebäudestruktur, die Aufgliederung der Gesamtstadt, aber auch die Anpassung von Bestand und Neubauten. Die Ausweitung grüner Strukturen und die Entsiegelung von Flächen können das Stadtklima positiv beeinflussen.

2.2.2 Trockenheit

Der Klimawandel zeigt sich in Deutschland nicht nur in einem Anstieg der Temperaturen und einer Zunahme von Extremwetterereignissen, mit ihm verbunden ist eine Verschiebung der Niederschläge. So ist damit zu rechnen, dass die Niederschlagsmengen im Sommerhalbjahr zurückgehen, während sie im Winterhalbjahr ansteigen werden. Diese Niederschlagsverschiebungen fallen von Region zu Region unterschiedlich aus. Allgemein ist jedoch davon auszugehen, dass der Anstieg der Niederschläge im Winter etwas höher ausfallen wird als die Abnahme im Sommer (UBA 2005).

Mit dem Anstieg der Temperaturen und der Niederschlagsverschiebungen vom Sommer in den Winter wird häufiger als bisher mit extremen Trockenperioden zu rechnen sein. Dies kann zu erheblichen Auswirkungen auf grüne Strukturen wie Parkanlagen, innerstädtische Wälder und Pflanzanlagen führen, weil Dürreerscheinungen an Grünflächen, Bäumen oder Pflanzen auftreten. Besonders im Frühjahr, zu Beginn der Vegetationszeit, können länger anhaltende Trockenperioden auch ohne Hitze zu schweren Schäden am Siedlungsgrün führen. Trockenheit führt zu einem erhöhten Trockenstress und somit zu einem erhöhten Bewässerungsbedarf. Pflanzanlagen, aber auch Baumscheiben sind oftmals so angelegt, dass den Pflanzen nicht genügend Wurzelraum zur Verfügung steht und die Wasserspeicherkapazität im Boden dadurch beeinträchtigt wird.

Neben Trockenstress bedingt Trockenheit eine steigende Brandgefahr. Dies gilt einerseits für Wälder und Grünflächen, aber auch für Baumaterialien wie Holz. Ebenso kann lang anhaltende Trockenheit zum Absinken des Grundwassers und zu Niedrigwasserständen in Steh- und Fließgewässern führen. Dadurch sind negative ökologische Auswirkungen insbesondere an kleineren Gewässern möglich, weil erhöhte Nährstoffkonzentrationen in Gewässern auftreten können. Wenn geklärte Abwässer nicht mehr genügend verdünnt werden, verstärkt sich dieser Effekt. Niedrigwasserstände beeinträchtigen auch die Schifffahrt. Für Industrie und Energieversorgung sind lang anhaltende Trockenperioden problematisch, wenn nicht genügend Kühlwasser zur Verfügung steht. Ansonsten sind durch Trockenheit vor allem Einschränkungen für die Land- und Forstwirtschaft zu erwarten.

2.2.3 Extremniederschläge

Niederschläge können in Siedlungsbereichen häufig länger und intensiver sein als im Umland. Bedingt durch den Temperaturanstieg im Zuge des Klimawandels ist die Luft in der Lage, mehr Feuchtigkeit und somit mehr Energie zu speichern. Mit jedem Grad Celsius Lufterwärmung kann die Luft ca.

7 % mehr Wasserdampf speichern. Daher gehen Forscher davon aus, dass es zukünftig generell zu häufigeren und vor allem intensiveren Regenfällen kommen wird. Beobachtungen der letzten Jahre weisen bereits auf eine solche Tendenz hin. Starkniederschläge treten besonders im Sommer oft in Verbindung mit Gewittern auf. Der Trend zu häufigeren und heftigeren Unwettern im Sommer steht dabei nicht der grundsätzlichen Abnahme der Sommerniederschläge entgegen. Laut dem DWD handelt es sich um ein Starkregenereignis, wenn in fünf Minuten 5 l/m² oder in zwanzig Minuten 10 l/m² Niederschlag fallen. Der DWD spricht von einem Unwetter, wenn innerhalb von einer Stunde 25 l/m² oder in sechs Stunden 35 l/m² Niederschlag fallen. Daneben wird es auch in Zukunft Hochwasserereignisse geben, die auf lang anhaltende Niederschläge oder abschmelzenden Schnee zurückzuführen sind. Solche Ereignisse werden tendenziell im Winter auftreten und könnten sich im Zuge der klimawandelbedingten Niederschlagszunahme in dieser Jahreszeit verstärken. In diesen Handlungsempfehlungen stehen jedoch die eher kurzzeitigen Überschwemmungen nach Starkregenereignissen im Fokus.

Durch Starkregenereignisse, die oftmals nur kleinräumig auftreten, fallen in relativ kurzer Zeit große Wassermengen an, die sich je nach Topographie schnell zu Sturzfluten entwickeln können. Problematisch sind in diesem Zusammenhang kleine Bäche und Flüsse, die binnen kürzester Zeit anschwellen und zu Überschwemmungen führen können. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass Sturzfluten nicht an Fließgewässer gebunden sind, sondern auch jederzeit in Hanglagen auftreten können. In Siedlungsbereichen sind besonders die hohe Bebauungsdichte und der hohe Versiegelungsgrad problematisch, weil dadurch verhindert wird, dass das anfallende Niederschlagswasser versickern kann. Kommt es zu einer Kapazitätsüberschreitung der Kanalisation, sind Überschwemmungen von Straßen und Plätzen, Überflutungen von Kellern sowie tief liegenden baulichen Anlagen mögliche Folgen. Auch in Hessen hat es in der Vergangenheit immer wieder Schäden und Behinderungen durch Starkregenereignisse gegeben. So ist beispielsweise die Stadt Viernheim im Landkreis Bergstraße, die ein ungünstiges Relief mit vielen Mulden hat, regelmäßig mit erheblichen Schäden nach Starkregenereignissen konfrontiert. Im Raum Ober-Ramstadt, Reinheim, Groß-Umstadt im Landkreis Darmstadt-Dieburg wurden bei einem Starkregenereignis Anfang August 2010 in einer halben Stunde ungefähr 40 l/m² Niederschlag gemessen, die zu Schäden in diesen Städten führten.

Weiterhin kann die Nutzung von Verkehrsinfrastruktur durch extreme Niederschläge stark beeinträchtigt werden. Es kann zu Unter- oder Überspülungen von Straßen, Unterführungen und Gleisen kommen, sodass diese Verkehrswege unpassierbar werden. Die verbunden mit Starkregen häufig auftretenden Bodenerosionen oder Hangrutschungen sind eher für landwirtschaftlich geprägte Bereiche typisch, jedoch führen sie auch an Siedlungsrändern oft zu großen Schäden.

2.2.4 Starkwindböen und Stürme

Eine Zunahme der Anzahl wie auch der Intensität von Stürmen durch den Klimawandel lässt sich zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht eindeutig aus den Klimaprojektionen herleiten. Es wird jedoch angenommen, dass sich die typischen Zugbahnen von Stürmen ändern können. Allgemein sollten im Zuge der Anpassung an den fortschreitenden Klimawandel daher häufigere und stärkere Stürme und vor allem eine mögliche Zunahme der Windlasten berücksichtigt werden. Besonders im Zusammenhang

mit Unwettern kommt es oftmals zu Starkwindböen. Beobachtungen zeigen, dass einem aufziehenden Gewitter häufig sehr starke Windböen vorgelagert sind, die auch in kurzer Zeit zu Schäden führen können. Bereits unter aktuellen Klimabedingungen treten jedes Jahr im Sommer kleinere oder größere Tornados auf, die enorme Windgeschwindigkeiten entwickeln und Schneisen der Verwüstung hinterlassen.

In Siedlungsbereichen sind daher vor allem das private und öffentliche Eigentum, aber auch verschiedene Infrastrukturen von zunehmenden Schäden bedroht. Dächer können abgedeckt, leichte Bauteile oder Materialien abgerissen oder aufgewirbelt und durch die Luft geschleudert werden. Auch herabstürzende Bäume und Äste gefährden einerseits die Bevölkerung direkt, anderseits kann es dadurch zu Verkehrsbeeinträchtigungen kommen. Oberleitungen und somit die Energieversorgung können durch Stürme geschädigt werden.

2.2.5 Kumulative Effekte

Von kumulativen Effekten ist die Rede, wenn unterschiedliche Wetterphänomene oder Extremereignisse zeitgleich oder in zeitlich enger Abfolge eintreten und sich somit gegenseitig verstärken. Dies führt zu Wirkungsketten, die große Schäden zur Folge haben können.

Kumulative Effekte ergeben sich besonders zwischen der Zunahme der Temperaturen und den mit Hitzewellen häufig einhergehenden Trockenperioden. Je heißer und trockener es ist, desto größer wird der Trockenstress für Pflanzen, Bäume und Grünflächen. Stehen Bäume bereits durch lang anhaltende Trockenheit unter Stress und kommt es in dieser Situation zu einem Sturmereignis, so ist die Gefahr für Windbruch deutlich erhöht, weil die Schwächung zur Instabilität beiträgt. Bei Hitze und Trockenheit steigt automatisch der Bedarf nach Wasser zur Abkühlung, gleichzeitig verringert sich jedoch das Wasserdargebot und durch den Anstieg der Wassertemperaturen sinkt zusätzlich die Wasserqualität. Lang anhaltende Trockenheit führt zu erhöhter Staubbildung. Diese sorgt in Verbindung mit den im Sommer häufig bestehenden Feinstaubbelastungen zu einer Verschlechterung der Luftqualität in Städten. Bei hohen Temperaturen sorgen Regenschauer oder auch Starkregenereignisse für kurzzeitige Abkühlung. Allerdings steigt dadurch auch die Luftfeuchtigkeit an, was wiederum den Schwüleeffekt verstärkt und schließlich das Wohlbefinden beeinträchtigen kann.

Weitere kumulative Effekte treten im Zuge von Unwettern auf. Hier fallen starker Regen, Hagel und Sturmböen zusammen, was zu verschiedenen Problemen und zahlreichen Schadensbildern (beispielsweise Überschwemmungen) führen kann. Tritt ein Starkregenereignis nach einer längeren Trockenperiode auf, wie es im mitteleuropäischen Sommer recht häufig vorkommt, so sind die Böden oft so trocken, dass sie die plötzlich anfallenden Wassermengen nicht schnell genug aufnehmen können und der überwiegende Teil des Niederschlags oberflächig abgeführt wird. Dies führt oftmals zu Erosionserscheinungen. Starkregen in Verbindung mit Sturm oder Windböen wird Schlagregen genannt. Dieser kann je nach Intensität Schäden an Fassaden oder Glasflächen verursachen.

2.3 Lokale Klimaprojektionen des Deutschen Wetterdienstes zur zukünftigen Wärmebelastung in Städten[2]

Globale und regionale Klimamodelle lassen für die nächsten Jahrzehnte deutliche Klimaänderungen erwarten. Die zukünftig erwartete Zunahme der Wärmebelastung im Sommerhalbjahr wird in den Ballungsräumen, wegen des städtischen Wärmeinseleffekts, deutlich stärker sein als im Umland. Dies ist von besonderer Bedeutung, da bereits heute mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung in Städten lebt. Um die Städte als Orte hoher Lebensqualität zu erhalten, muss daher für die Zukunft ein verträgliches Stadtklima geschaffen bzw. gesichert werden.

Um sich frühzeitig auf den erwarteten Klimawandel einstellen zu können, haben in einem Pilotprojekt das Umweltamt der Stadt Frankfurt am Main und der Deutsche Wetterdienst (DWD) vereinbart, auf der Grundlage regionaler Klimaszenarien gemeinsam Planungsunterlagen für das Stadtgebiet zu erarbeiten. Basis für die Untersuchungen bildet das Stadtklimamodell MUKLIMO_3 des DWD. Bei den für Frankfurt durchgeführten Modellsimulationen wird besonderer Wert auf die detailgenaue Modellierung der unterschiedlichen Bebauungsstrukturen innerhalb des Stadtgebietes gelegt.

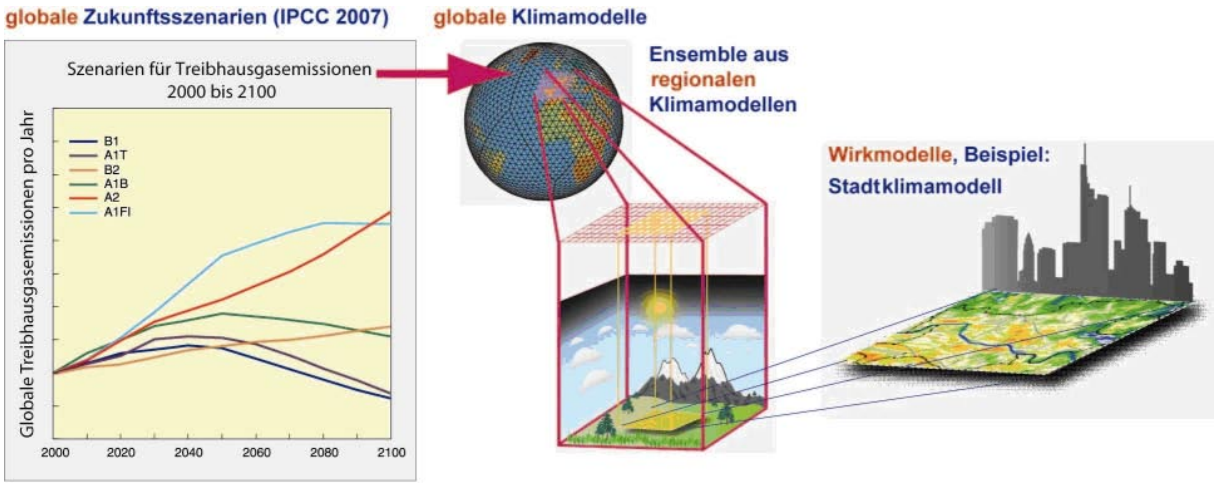

Abb. 1: **Von globalen Emissionsszenarien zu lokalen Auswirkungen des Klimawandels in Städten.** Auf IPCC – Emissionsszenarien basierende globale Klimasimulationen dienen als Eingabedaten für höher auflösende regionale Klimamodelle. Der DWD nutzt das so von verschiedenen Forschungsgruppen simulierte Regionalklima zur Berechnung der Änderung des urbanen Klimas mit Stadtklimamodellen.

Um die Güte der Simulationen mit MUKLIMO_3 und des Auswerteverfahrens abschätzen zu können, wird zunächst das regionale Klima der Umgebung Frankfurts durch Beobachtungsdaten vom Rhein-Main-Flughafen vorgegeben (Abb. 2). Die simulierte Anzahl an Sommertagen (mit Höchsttemperaturen von mindestens 25°C) für den Zeitraum von 1971 bis 2000 weicht weniger als 15% von den beobachteten Werten ab. Wegen der dichteren Bebauung tritt im Innenstadtbereich mit mehr als 50 Tagen pro Jahr die höchste Anzahl an Sommertagen auf.

[2] Weitere Details in: Früh et al. 2011

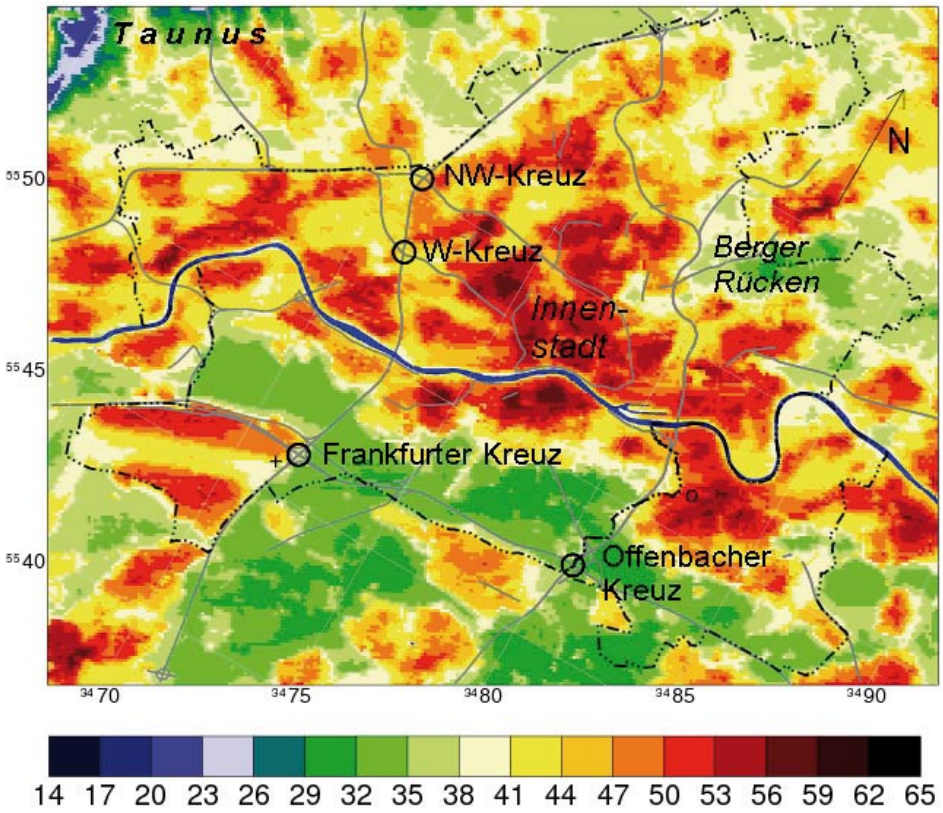

Abb. 2: Karte **der mittleren jährlichen Anzahl Sommertage für den Zeitraum 1971-2000 aus Simulationen mit dem Stadtklimamodell MUKLIMO_3.** Die horizontale Auflösung der Kartenwerte beträgt 100 m. Das Klima der Region um Frankfurt wurde durch Messwerte an der Flugwetterwarte Frankfurt am Main (+) vorgegeben.

Zur Bestimmung der zukünftigen Änderung der Anzahl an Sommertagen wird anstelle der Beobachtungsdaten ein Ensemble regionaler Klimaprojektionen mit numerischen und statistischen Modellen als Eingabedaten für MUKLIMO_3 verwendet. Aus der Differenz der MUKLIMO_3 – Auswertungen für die Zukunft (2021 – 2050) und Vergangenheit (1971 – 2000) ergibt sich bis zur Mitte des Jahrhunderts eine jährliche Zunahme von etwa 5 bis 31 Sommertagen (bei einem statistischen Vertrauensbereich von 90%).

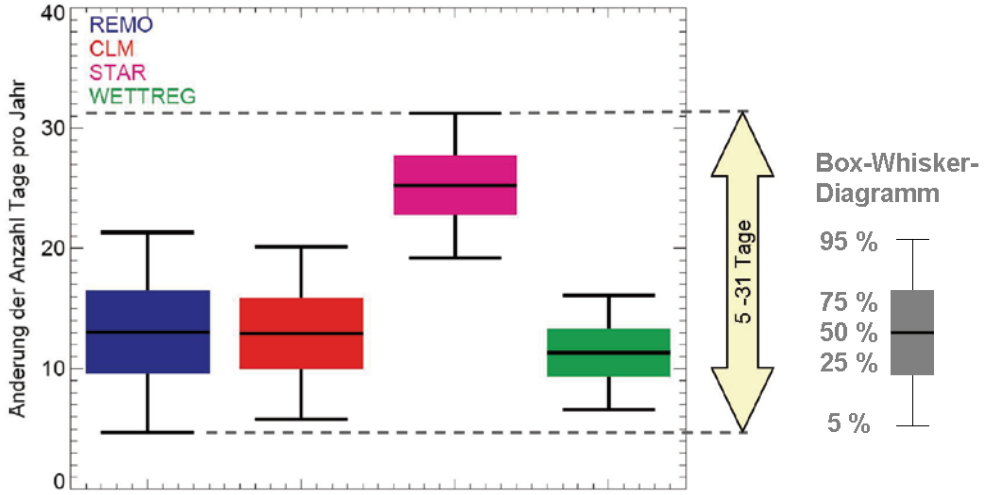

Abb. 3: **Änderung der mittleren jährlichen Anzahl Sommertage im Stadtgebiet von Frankfurt für den Zeitraum 2021 bis 2050 relativ zum Zeitraum 1971 bis 2000.** Das Klima der Region um Frankfurt wurde durch Projektionsrechnungen mit regionalen Klimamodellen (REMO, CLM, WETTREG, STAR) für das IPCC – Szenario A1B vorgegeben. Die Box-Whisker-Diagramme geben die statistisch ermittelten Vertrauensintervalle wieder.

Die Ergebnisse zur Änderung der Wärmebelastung in Frankfurt sind tendenziell auch in anderen Städten Mitteleuropas zu erwarten. Da sich aber der Versiegelungsgrad, die Bebauungsdichte und -höhe und die umgebende Landschaft unterscheiden, sind entsprechende stadtklimatologische Untersuchungen jeweils vor Ort erforderlich.

Abb. 4: **Frankfurt am Main (**© DWD**)**: Der Blick über den Main auf die Innenstadt und das Bankenviertel zeigt die große Vielfalt der Bebauungsstrukturen. Die Berechnung der städtischen Wärmebelastung erfordert daher eine detaillierte und räumlich hoch aufgelöste Simulation des Stadtklimas.

Ein ähnliches Projekt mit dem Schwerpunkt Wärmebelastung unter Verwendung des urbanen Bioklimamodels UBIKLIM des DWD für Berlin ist bereits abgeschlossen (DWD 2010). Für die Städte Wien und Köln sind Untersuchungen zum zukünftigen Stadtklima in Kooperation mit dem österreichischen Wetterdienst (ZAMG) und dem Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) in Arbeit.

Ansprechpartner für das Pilotprojekt des Deutschen Wetterdienstes und der Stadt Frankfurt am Main sind:

DWD:

Dr. Meinolf Koßmann
Deutscher Wetterdienst
Klima- und Umweltberatung
Frankfurter Straße 135
63067 Offenbach am Main
Tel.: 069 / 8062-2969
E-Mail: meinolf.kossmann@dwd.de

Stadt Frankfurt am Main:

Hans-Georg Dannert
Magistrat der Stadt Frankfurt
Umweltamt / Planungsteam Umwelt
Galvanistraße 28
60486 Frankfurt a. M.
Tel.: 069 / 212-39476
E-Mail: hans-georg.dannert@stadt-frankfurt.de

3. Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel

Es gibt eine Vielzahl von geeigneten Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel – nicht alle können hier aufgezeigt werden. Insofern erhebt die folgende Liste keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern möchte einen Überblick ermöglichen und Anstöße zum Weiterdenken geben. Dieses Anliegen hat zu der hier gewählten Form einer stichpunktartigen Auflistung von Maßnahmen geführt, die punktuell durch Beispiele ergänzt wird.

Die Maßnahmenliste ist nach den eingangs beschriebenen Folgen des Klimawandels strukturiert: Hitzebelastung, Trockenheit, Extremniederschläge, Starkwindböen und Stürme sowie Maßnahmen, die mehrere Klimawirkungen betreffen. Zur besseren Übersicht wird jede der Maßnahmen einer von vier Kategorien zugeordnet. So wird deutlich, ob sich eine Anpassungsmaßnahme

- auf die Stadtstruktur der gesamten Kommune,
- auf die Infrastruktur,
- die Freiflächen und den öffentlichen Raum oder
- das einzelne Gebäude

bezieht und welche Akteursgruppe für die Umsetzung zuständig ist. Nicht immer können die zum Teil sehr komplexen Zusammenhänge in Gänze aufgezeigt werden. Vielmehr werden hier mit den Erfordernissen der Klimaanpassung Wege und Handlungsempfehlungen aufgezeigt. Diese Ansätze müssen sich allerdings der Abwägung mit anderen städtebaulichen, wirtschaftlichen oder sonstigen Belangen stellen. Fest steht, dass es in Zukunft wichtiger wird, klimatische Veränderungen in der Planung und Stadtgestaltung zu berücksichtigen. Dafür sind durchaus auch bereits bekannte und erprobte Maßnahmen (wie etwa die Dachbegrünung) geeignet. Drei zentrale Aspekte für die Umsetzung von Maßnahmen zur Klimaanpassung seien an dieser Stelle hervorgehoben:

- Wesentlich für die Klimaanpassung ist einmal mehr **das vernetzte Denken.** Verschiedene Abteilungen der Stadtverwaltungen müssen eng zusammenarbeiten, etwa bei einer integrierten vorsorgenden Planung, um Schäden durch Starkregenereignisse gering zu halten.

- Doch **nicht nur öffentliche, sondern auch private Akteure** sind hier angesprochen. Unternehmen und Bürger sollten sich beispielsweise in ihrer Rolle als Grundstücks- und Hauseigentümer an den Klimawandel anpassen. Die öffentliche Verwaltung kann hierbei eine wichtige Funktion einnehmen. Sie kann verschiedene Zielgruppen sensibilisieren und aktivieren, indem sie Informationen liefert oder Anreize setzt.

- Nicht zuletzt ist die frühzeitige Anpassung an den Klimawandel **aus finanziellen Gründen sinnvoll**. Denn die Kosten für vorsorgende Maßnahmen sind in vielen Fällen deutlich geringer als die im Schadensfall. Nicht selten können Maßnahmen zur Klimaanpassung sogar ohne Zusatzkosten realisiert werden, beispielsweise durch die Wahl geeigneter Bauteile und Materialien.

3.1 Hitzebelastung

Hitzebelastung		
geeignete Anpassungsmaßnahme	**weitere Pluspunkte**	**mögliche Konflikte**
Anpassung der Stadtstruktur (verantwortlich: Kommunen)		
Stadt- und Bioklimakarten als Informations- und Entscheidungsgrundlage erstellen (Beispiel 1)		
Frischluft- und Kaltluftentstehungsgebiete sowie Luftleitbahnen freihalten (z.B. durch Sicherung von Grün- und Freiflächen wie Parkanlagen, land- und forstwirtschaftliche Flächen, Wasserflächen)	Sicherung von wohnortnahen Freizeit- und Naherholungsmöglichkeiten, regionale Versorgung mit landwirtschaftlichen Produkten	Baulandkonkurrenz, Verwertungsdruck
Gewährleistung einer ausreichenden Durchlüftung der Siedlungsstruktur durch bauleitplanerische Festsetzungen (z.B. Festsetzung von Maß der baulichen Nutzung, Baulinien und Baugrenzen, Bauweise, Mindestmaße der Grundstücke, kleinräumig wirksame Frischluftschneisen)	Verbesserung der Luftqualität und des Wohnumfeldes	Erhöhte Flächeninanspruchnahme gegenüber dem Ziel kompakter Siedlungen
Grünflächen schaffen, erhalten und vernetzen (Beispiel 2)	Lebensraum für Flora und Fauna, Steigerung der Erlebnis- und Aufenthaltsqualität im Wohnumfeld	Konflikt mit dem Ziel Innen- vor Außenentwicklung
Anpassung der Infrastruktur (verantwortlich: Kommunen, öffentliche/private Träger, Träger der jeweiligen Straßenbaulast bzw. Verkehrsgesellschaften)		
Hitzefrühwarnsystem einrichten (z.B. für Altersheime, Krankenhäuser, Kinderbetreuungseinrichtungen)		
Beschattung von Verkehrsflächen bzw. des öffentlichen Raums durch Schatten spendende Elemente und Begrünung (Beispiel 3)	Verbesserung der Aufenthaltsqualität und des Straßenbildes	Verschattung von Gebäuden und Photovoltaikanlagen

geeignete Anpassungsmaßnahme	weitere Pluspunkte	mögliche Konflikte
Fahrbahnbeläge und Schienen auf stärkere Temperaturschwankungen auslegen (z.B. Verzicht auf Dünnschichtbeläge bzw. an strapazierten Punkten robustere grobkörnige Straßenbeläge verwenden, Begrünung der Gleisanlagen, hellere Fahrbahnbeläge verwenden)	Geringerer Instandhaltungsaufwand, weniger Baustellen	Lärmminderungseffekte durch feinkörnige Straßenbeläge gehen verloren
Klimatisierung der öffentlichen Verkehrsmittel und bessere Wärmeschutzisolierung	Nutzung des ÖPNV wird attraktiver	Zusätzlicher Energiebedarf Warme Luft wird nach außen abgeleitet und senkt u. U. dort die Aufenthaltsqualität
Für besonders verwundbare soziale Infrastruktureinrichtungen (z.B. Betreuungs- und Pflegeeinrichtungen) begrünte und gut durchlüftete Standorte wählen	Weniger Energiebedarf für Gebäudekühlung	Gegebenenfalls schlechtere Erreichbarkeit von Versorgungseinrichtungen
Einrichten kombinierter Nahwärme- bzw. Kühlungsnetze		
Anpassung der Freiflächengestaltung und des öffentlichen und privaten Raums (verantwortlich: Kommunen, Hauseigentümer)		
Brunnen und andere Wasserflächen schaffen und unterhalten (Beispiel 4)	Erholungswert	
Entsiegelung und Begrünung von Innenhöfen zur Verbesserung des Mikroklimas und der Aufenthaltsqualität		Flächenkonkurrenz (z.B. Stellplätze), z.T. hohe Investitionskosten für den Hausbesitzer

geeignete Anpassungsmaßnahme	weitere Pluspunkte	mögliche Konflikte
Anpassung im Gebäudebereich (verantwortlich: Eigentümer)		
Gebäudeausrichtung bezüglich Sonneneinstrahlung und Windrichtung optimieren (Beispiel 5)		
Wärmeschutz durch geeignete Dämmung der Gebäudehülle sowie außen liegenden Sonnenschutz (Beispiel 6)	Höhere Energieeffizienz durch weniger Kühlbedarf im Sommer und weniger Heizbedarf im Winter	Zum Teil hohe Investitionskosten
Intelligenter Einsatz von Glasflächen (z.B. Sonnenschutzgläser, Dreifachverglasung, Dimensionierung und Art)	Höhere Energieeffizienz durch weniger Kühlbedarf im Sommer und weniger Heizbedarf im Winter	Sonneneinstrahlung ist im Winter möglicherweise erwünscht
Für eine gute natürliche Lüftung des Gebäudes sorgen (Kombination mit passiver Kühlung)	Energieeinsparung	Muss abgestimmt werden mit Raumkonzept und Gebäudeaufteilung sowie bauökonomischen Fragen
Helle Baumaterialien verwenden, damit wenig Sonneneinstrahlung absorbiert wird (Beispiel 7)		
Begrünung von Dächern und Fassaden zur Kühlung von Gebäuden (ggf. über § 9 Abs. 1 Nr. 25 BauGB festsetzen)	Ein Teil des Niederschlagswassers wird vom Gründach aufgenommen und entlastet so das Kanalnetz	Flachdächer problematisch bei Starkregen, da gestautes Wasser zu Feuchteschäden und statischen Problemen führen kann (bei Neubauten i.d.R. kein Problem) Evtl. Bewässerung in Trockenperioden notwendig

Beispiel 1: Stadt- und Bioklimakarten als Informations- und Entscheidungsgrundlage erstellen

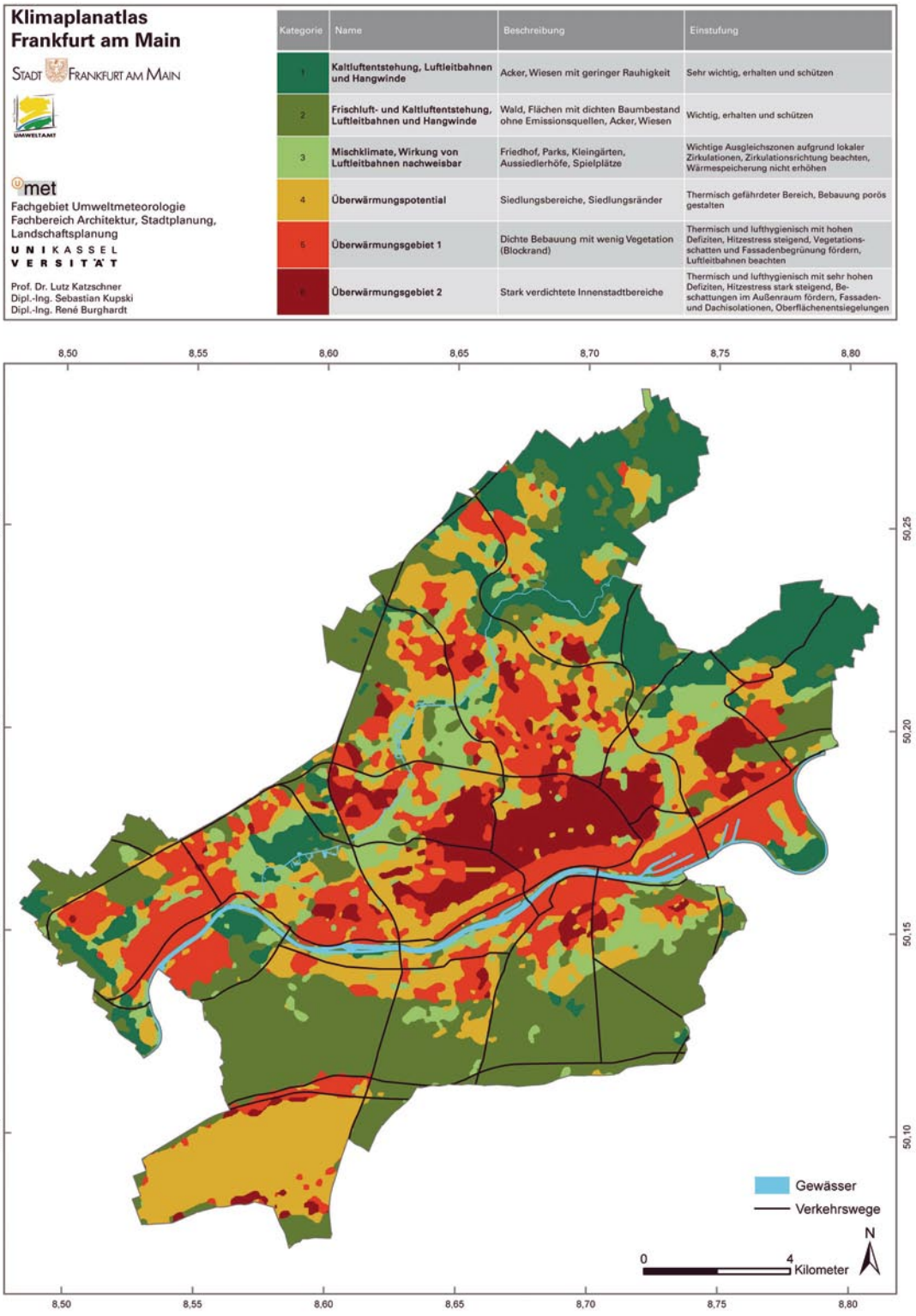

Abb. 5: Klimaplanatlas der Stadt Frankfurt am Main, Quelle: Magistrat der Stadt Frankfurt am Main

Für das Stadtgebiet der Stadt Frankfurt am Main liegt seit dem Jahr 2009 ein Klimaplanatlas in digitaler Form vor. Ein erstes Werk dieser Art aus dem Jahr 1995 wurde auf der Grundlage thermischer und dynamischer Analysen (Temperatur und Wind) erstellt. Die aktuelle Version ist in das städtische Geographische Informationssystem integriert und liefert aufgrund der Darstellung von Überwärmungs- und Kaltluftentstehungsgebieten sowie Luftleitbahnen wichtige Anhaltspunkte und Hinweise für die Stadtplanung. Unterschieden werden insgesamt 6 Kategorien, die jeweils näher beschrieben und denen entsprechende Planungshinweise zugeordnet sind. In der planerischen Praxis hat sich der Klimaplanatlas als einfach handhabbare Planungsgrundlage bewährt.

Beispiel 2: Freiflächen schaffen, erhalten und vernetzen

Abb. 6: Schema der klimatisch wirksamsten Durchgrünung, Quelle: Bernatzky 1985

Abb. 7: Freiflächen sind wertvolle Schattenspender und attraktive Aufenthaltsorte, © Terry U. Weller / www.pixelio.de

Attraktive öffentliche Grünflächen sind für die Mehrheit der Bürger ein hohes Gut und für potenzielle Neubürger ein entscheidendes Kriterium bei der Wohnortwahl. Baumbestand auf Freiflächen ist zudem ein probates Mittel, um Hitzeinseleffekte zu minimieren und innerstädtische Gebiete mit Überwärmungserscheinungen zu reduzieren, weil sie Schatten spenden und Verdunstungskälte erzeugen. Insbesondere nachts wird dort Kalt- bzw. Frischluft produziert. Sie beeinflussen somit auf positive Weise das Mikroklima und sind in erster Linie für die angrenzende Nachbarschaft in einem Umkreis von bis zu 300 m wirksam. Weil auch schon kleinere Parkanlagen von der Größe eines Fußballfeldes diesen Kühleffekt aufweisen, könnten bei entsprechender Verteilung solcher Flächen viele Menschen in den Genuss kühler Luft in heißen Sommermonaten kommen (TU Berlin 2007). Eine andere Studie des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung weist einen ähnlichen Effekt nach. Dort wird von einer Verringerung des Hitzeinseleffekts in bis zu 150 m Entfernung ausgegangen, wenn die Freifläche mindestens 2,5 ha groß ist (PIK 2009). Teils beschattete, teils durch Wiesen geprägte Parks mit geringen Rauigkeiten am Übergang zum Baukörper sind optimal für eine gute Kühlleistung während der Nachtstunden und um einen Austausch zwischen den unterschiedlichen Klimatopen zu ermöglichen. Aber auch kleinere, isolierte Freiflächen (beispielsweise begrünte Innenhöfe), die diese über

die Fläche hinausgehende Wirkung nicht entfalten, nehmen als Klimaoase in dicht besiedelten Innenstädten eine wichtige Funktion war.

Für die englische Großstadt Manchester konnte überdies gezeigt werden, dass die Vergrößerung der dortigen Freiflächen um nur 10 % den Temperaturanstieg, der aufgrund des Klimawandels bis 2080 erwartet wird, ausgleichen kann (Shaw et al. 2007). Besondere Beachtung haben Grünflächen an Hängen oberhalb oder in Tallagen talaufwärts der Stadt, weil der Zufluss von Kalt- und Frischluft von hier in die Stadt bei windschwachen Wetterlagen meist noch besonders gut ausgeprägt ist. Während Hitzeperioden sind Grünflächen mit Schatten spendenden Bäumen zudem die Orte in der Stadt, in denen der Aufenthalt im Freien tendenziell noch erträglich ist. Freiflächen zu schaffen bzw. zu erhalten ist daher auch ein vielversprechender Ansatz, um Naherholungsräume für die Bevölkerung bereitzuhalten. Die Vernetzung von Freiflächen ist wichtig, weil sie als Teil des lokalen Freiraumsystems eine bedeutende Funktion für die Zirkulation von Kalt- und Frischluft übernehmen. Aus diesem Grund sind Grünstrukturen, die bis in die Innenstädte hineinreichen, aus stadtklimatologischer und lufthygienischer Sicht besonders zu befürworten.

Beispiel 3: Beschattung von Verkehrsflächen bzw. des öffentlichen Raums

Abb. 8: Begrünung von Verkehrswegen zur Beschattung, © Mario K. / www.pixelio.de

Abb. 9: Solar-Carport auf dem Firmengelände der Energieversorgung Offenbach AG (EVO), © EVO

Ähnlich wie Grünflächen und Baumvegetation entlang von Straßen können auch Elemente wie Sonnensegel, Markisen, Dachvorsprünge etc. für Schatten sorgen, wobei inzwischen sehr attraktive und innovative Lösungen möglich sind: etwa halbdurchlässig oder kombiniert mit Photovoltaikanlagen. Sie sind dann nicht nur bloßer Schattenspender, sondern als Stadtmöbel bewusstes gestalterisches Element des öffentlichen Raums und produzieren mitunter sogar Strom. Der überdachte Parkplatz auf dem EVO-Gelände in Offenbach produziert mit einer etwa 800 m² großen Photovoltaikanlage rund 80.000 Kilowattstunden Solarstrom im Jahr und verfügt über zwei Stromzapfanlagen.

Derartige Schattenspender erhöhen die Aufenthaltsqualität des öffentlichen Raums in heißen Sommertagen und sorgen an Straßen, Radwegen, Fußwegen und Haltestellen für einen „kühlen Kopf“ bei

den Verkehrsteilnehmern. Soll die Beschattung von Verkehrsflächen durch die Bepflanzung mit Bäumen erfolgen, sind einige Aspekte zu beachten: Zusätzliche Bäume bedeuten erhöhten Pflegeaufwand, wobei gleichzeitig die Verkehrssicherheit gewährleistet sein muss und die Interessen privater Anlieger beachtet werden müssen. Weil Bäume im Gegensatz zu künstlichen Beschattungselementen wie Markisen den vertikalen Wärmedurchfluss erlauben, liegt das thermische Komfortempfinden (Wahrnehmung) bei ihnen höher. Jedoch kann es unter einem geschlossenen Baumkronendach (Kronenschluss) bei hohem Verkehrsaufkommen zu einer Anreicherung von Luftschadstoffen kommen.

Beispiel 4: Brunnen und andere Wasserflächen schaffen und unterhalten

Abb. 10/11: Brunnen sorgen für Abkühlung und Erfrischung, © Rainer Sturm / www.pixelio.de; © flytime / www.fotolia.de

Brunnen sind nicht nur aus gestalterischer Sicht attraktiv, sie können durch die Verdunstungskälte auch in gewissem Umfang für Abkühlung sorgen. Nicht zu vernachlässigen ist ihre Funktion als Erfrischungsquelle, denn viele Menschen trinken zu wenig, was gerade an heißen Tagen zur Dehydration des Körpers führen kann. Wenn für die Brunnen das Wasser aus Trinkwasserleitungen genutzt wird, kann die Trinkqualität gewährleistet werden, während die Zusatzkosten im Rahmen bleiben. Allerdings müssen die üblichen Kosten für die Instandhaltung der Brunnen beachtet werden, die vielerorts bereits zu deren Stilllegung geführt haben.

Beispiel 5: Gebäudeausrichtung bezüglich Sonneneinstrahlung optimieren

Abb. 12: Optimierte Fassadengestaltung: JUWI in Wörrstadt, © Umweltforum Rhein-Main e.V. 2010

Abb. 13: Technikerschule in Butzbach: Vorgelagerte Bauelemente erlauben die energetische Nutzung der Sonneneinstrahlung und gewährleisten zugleich Verschattung im Hochsommer, © Umweltforum Rhein-Main e.V. 2010

Mit der Überwärmung von Siedlungsgebieten sowie der Möglichkeit, Strom aus Sonnenkraft zu gewinnen, rücken verstärkt Belange in den Fokus, die Stadtplanung und Projektentwickler bei der Entscheidung über städtebauliche Entwürfe und Gebäudeausrichtung unbedingt beachten müssen. Hier sind in erster Linie Neubaugebiete angesprochen, die hinsichtlich Straßenführung und Gebäudeausrichtung klimabezogen zu optimieren sind. Patentrezepte gibt es hier nicht, die örtlichen Gegebenheiten müssen jeweils analysiert werden: die lokale Strömungssituation kann durch Hanglagen und spezifische Nutzungen bestimmt sein, wobei ferner zu bedenken ist, dass Luftströme am Tage anders ausgerichtet sein können als am späten Abend oder in der Nacht. Für die Solarstromproduktion wiederum sollten reine Ost-West-Lagen vermieden werden. Hier ist auch der Sonnenstand zu beachten, der im Sommer höher ist als im Winter und somit zu einem anderen Einfallswinkel der Sonneneinstrahlung führt. An dieser Stelle kann ein Konflikt zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung entstehen. Eine Lösung könnte wie folgt aussehen: Im Hinblick auf den Klimaschutz wird zunächst eine Ausrichtung nach Süden angestrebt, um die passive und aktive Nutzung der Sonnenenergie zu optimieren. In einem zweiten Schritt ist dann für die nötigen Verschattungsmöglichkeiten im Hochsommer zu sorgen. Zu berücksichtigen ist auch, dass diese klimatologischen Aspekte neben anderen Interessenlagen und Notwendigkeiten, wie etwa einer optimalen Verwertung des Grundstücks, stehen.

Beispiel 6: Wärmeschutz durch geeignete Dämmung der Gebäudehülle sowie außen liegenden Sonnenschutz

Abb. 14: Neubau in Passivhausbauweise in Frankfurt am Main, © Magistrat der Stadt Frankfurt am Main

Abb. 15: Intelligenter Sonnenschutz am Neuen Rathaus in Gießen, © Magistrat der Universitätsstadt Gießen

Höhere Temperaturen in Verbindung mit direkter Sonneneinstrahlung können sich in Zukunft vermehrt nachteilig auf das Innenraumklima von Gebäuden und damit den Aufenthaltskomfort auswirken. Dies betrifft Wohngebäude, Einrichtungen der sozialen Infrastruktur wie Kindergärten, Schulen oder Pflegeheime, aber auch Arbeitsstätten und Bürogebäude. Besonders problematisch ist die Überhitzung, wenn die Gebäude vorrangig von gefährdeten Bevölkerungsgruppen wie Kindern oder Senioren genutzt werden. Mit der Passivhaus-Technologie, die ursprünglich im Sinne des Klimaschutzes zur Steigerung der Energieeffizienz entwickelt wurde, hat sich inzwischen ein Baustandard etabliert, der nicht nur den Verlust von Wärme nach außen, sondern anders herum auch das Eindringen von Wärme in das Gebäudeinnere verringern kann. Die einschlägigen Prinzipien wie hohe Wärmedämmung verbunden mit hoher Luftdichtheit, Fenster mit gedämmten Fensterrahmen und Lüftungstechnik mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung dienen somit auch der Anpassung an veränderte klimatische Bedingungen. Solche bautechnischen Lösungen sind inzwischen nicht mehr nur im Neubau, sondern auch bei der Bestandssanierung einsetzbar (Passivhaus Institut 2010). Sinnvoll ist es überdies – insbesondere bei großen Fensterflächen – einen außen liegenden Sonnenschutz anzubringen. Außen liegende Markisen, Sonnensegel oder auch Dachvorbauten und Arkaden etc. sind innen angebrachten Bauteilen, wie etwa Jalousien oder Gardinen, vorzuziehen, weil nur so verhindert werden kann, dass die Wärme in das Gebäudeinnere eindringt.

Beispiel 7: Helle Baumaterialien verwenden, damit wenig Sonneneinstrahlung absorbiert wird

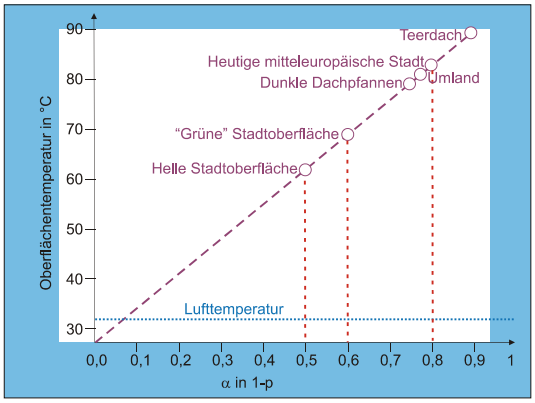

Abb. 16: Temperaturen verschiedener Oberflächen, Quelle: Sasaki 2007, verändert nach Kuttler

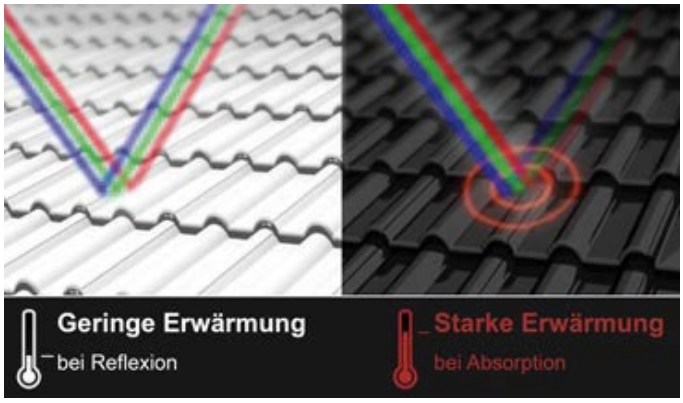

Abb. 17: Die Wirkungsweise des Albedo-Effekts, © Firma Brass

Da die Ausweitung von Freiflächen insbesondere in verdichteten Innenstadtbereichen wohl nur punktuell möglich ist, spielt die Berücksichtigung des Albedo-Effektes eine besondere Rolle (siehe auch Beispiel 12 und Glossar). Dieser Effekt bewirkt, dass helle Flächen die Sonneneinstrahlung zu einem großen Teil reflektieren, während dunkle Materialien die Sonnenenergie stärker aufnehmen und speichern und somit schließlich schneller überhitzen. Der Albedo-Effekt kann zugleich auch für den Klimaschutz nützlich sein, da eine im Sommer kühlere Stadt weniger Energie zur Kühlung von Gebäuden benötigt (Akbari et. al. 2008)

3.2 Trockenheit

Trockenheit		
geeignete Anpassungsmaßnahme	**weitere Pluspunkte**	**mögliche Konflikte**
Anpassung der Stadtstruktur (verantwortlich: Kommunen)		
Bewässerung bedeutender öffentlicher Grünflächen, um Austrocknung zu vermeiden und so ihre kühlende Belüftungsfunktion aufrecht zu erhalten	Erhalt der Erholungsfunktion der Grünflächen	Zusätzlicher Bewässerungsbedarf (Konkurrenz zur Wasserversorgung) und damit erhöhte Kosten für Wasser, Leitungen, Tankwagen etc. (der zusätzliche Wasserbedarf kann evtl. durch Rückhalt von Niederschlagswasser gemindert werden)
Anpassung der Infrastruktur (verantwortlich: Wasserver- und -entsorger)		
Sicherung der Trinkwasserversorgung durch regionale Verbundlösungen		
Bei reduziertem Mischwasserabfluss muss das Kanalnetz ggf. zusätzlich durchspült werden, um Rückstände in den Abwasserrohren zu beseitigen, bei Neubau ggf. hydraulisch effizientere Rohrprofile oder dezentrale Druckentwässerung		

geeignete Anpassungsmaßnahme	weitere Pluspunkte	mögliche Konflikte
Anpassung der Freiflächengestaltung und des öffentlichen Raums (verantwortlich: Kommunen)		
Für Grünflächen und Straßenbegleitgrün Baumarten bzw. Pflanzen auswählen, die längere Trockenperioden verkraften, zugleich aber auch winterhart sind; dabei ggf. auch nicht heimische Arten zulassen		Naturschutz: ggf. Verdrängung einheimischer Arten
Größeres Baumartenspektrum zulassen und ausreichend große Baumscheiben und Pflanzgruben zur Versickerung und Speicherung von Niederschlagswasser verwenden (Beispiel 8)		
Verzicht auf pflegeaufwendige Bepflanzung wie Blumenkübel bzw. Pflegepatenschaften mit Anliegern organisieren	Kostenersparnis für die Kommune, Patenschaften bieten Möglichkeiten, aktiv am Wohnumfeld mitzugestalten	Bei unterbauten Flächen (Tiefgarage) und z.B. Fußgängerzonen sind Blumenkübel oft die einzige Möglichkeit für Begrünung
Anpassung im Gebäudebereich (verantwortlich: Hauseigentümer)		
Einsatz von wassersparenden Technologien in Industrie, Gewerbe und privaten Haushalten		Umlegung der Kosten im Mietwohnungsbereich kann teilweise zu Akzeptanzproblemen führen, möglicherweise bezüglich der Auslastung von Wasserentsorgungsanlagen problematisch

Beispiel 8: Größeres Baumartenspektrum zulassen und ausreichend große Baumscheiben und Pflanzgruben zur Versickerung und Speicherung von Niederschlagswasser verwenden

Abb. 18: Eine mitwachsende Baumscheibe, die dem Baum ausreichend Raum gibt, © www.beton-pfennig.de/produkte

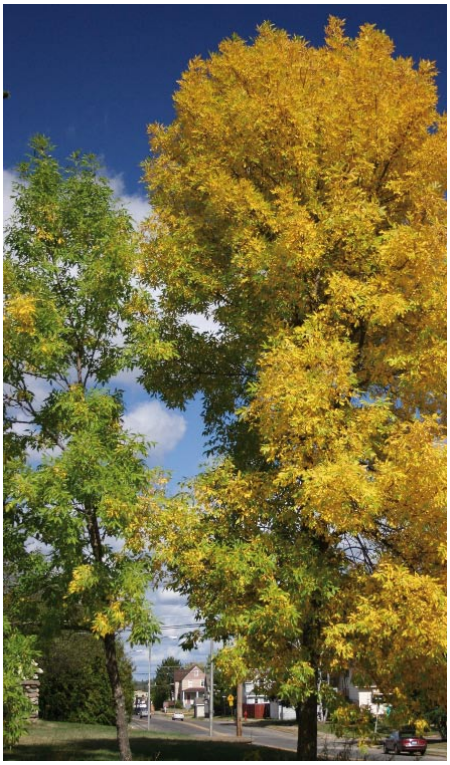

Abb. 19: Die Rotesche könnte hierzulande ein Baum der Zukunft sein, © Steven Katovich (USDA Forest Service)

Straßenbäume entlang von Verkehrsachsen und in Siedlungsbereichen sind ohnehin schon extremen Umweltbedingungen ausgesetzt und erreichen daher in aller Regel nicht das Alter ihrer Artgenossen in freier Natur. Im Zuge des Klimawandels wird die Trockenresistenz von Baumarten, also ihre Fähigkeit, längere Zeit ohne Wasser auszukommen, zu einem entscheidenden Kriterium. Erst recht, wenn aufgrund geringer öffentlicher Finanzmittel keine zusätzlichen Gelder für die Bewässerung vorhanden sind. Zugleich müssen Straßenbäume die nötige Winterhärte mitbringen, damit sie nach wie vor mögliche Fröste überstehen. Nach Möglichkeit sollten sie zusätzlich tiefe Wurzeln ausbilden, damit sie weniger sturmanfällig sind. Diese vielfältigen Ansprüche führen dazu, dass vermehrt neue Baumarten entlang unseren Straßen gepflanzt werden sollten – wenngleich die Belange des Naturschutzes dabei zu berücksichtigen sind. Eine Liste geeigneter Baumarten hat beispielsweise die Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz (GALK 2006) herausgegeben.

Bäume müssen die richtigen Wuchsbedingungen vorfinden. Die FLL[3]-Richtlinie „Empfehlungen für Baumpflanzungen – Teil 2: Standortvorbereitungen für Neupflanzungen“ gibt entsprechende Emp-

[3] FLL = Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.

fehlungen. Ungeachtet der besonderen Bedingungen in Siedlungsbereichen aufgrund von unterbauten Flächen und Leitungstrassen oder möglichen Konflikten mit Pkw-Stellplätzen, Haltestellen oder Radwegen müssen Pflanzgruben ausreichend dimensioniert sein, damit die Bäume optimal gedeihen können. Idealerweise sollten Pflanzgruben bei einer Tiefe von 1,50 m ein Volumen von 12 m³ umfassen. Bei diesen Maßen sollte die Pflanzscheibe nach Möglichkeit 8 m² groß sein, keinesfalls aber unter 4 m² betragen. Ebenso sind eine gute Qualität des Bodensubstrats und eine möglichst geringe Bodenverdichtung anzustreben.

3.3 Extremniederschläge

Extremniederschläge		
geeignete Anpassungsmaßnahme	**weitere Pluspunkte**	**mögliche Konflikte**
Anpassung der Stadtstruktur (verantwortlich: Kommunen)		
Informations- und Verhaltensvorsorge (Bereitstellung von Informationen, Sicherstellung eines Frühwarnsystems für Hochwassersituationen an den innerörtlichen Fließgewässern)		
Verzicht auf hochwassersensible Nutzungen in überschwemmungsgefährdeten Bereichen, um Schäden gering zu halten (z.B. keine Bebauung in Gewässerauen, strikte Handhabung der wasserrechtlichen Vorschriften)	Sicherung von Freiflächen für Natur und Erholung sowie von Flächen für die Kaltluft- und Frischluftbildung und den schadlosen Wasserrückhalt (Retention)	Nutzungsinteressen der Grundstückseigentümer
Gefährdungspotenzial an den Siedlungsrändern durch wild abfließendes Oberflächenwasser aus dem Außenbereich untersuchen		
Baugebiete auf erosionsgefährdeten Gebieten vermeiden		Nutzungsinteressen der Grundstückseigentümer
Anpassung der Infrastruktur (verantwortlich: Kommunen)		
Abflusshindernisse (z.B. tief liegende Brücken) und Engstellen an kleineren Flüssen und Bächen beseitigen oder modifizieren		Zusätzliche Kosten
Ggf. Änderung der Straßenraumgestaltung, um Niederschlagswasser geregelt abfließen zu lassen und Gebäude vor Überflutung zu schützen (z.B. durch den Bau von Rampen, Bordsteinerhöhung, Vertiefung der Straßenmitte)		Es müssen bauliche Lösungen gefunden werden, die behindertengerecht sind

geeignete Anpassungsmaßnahme	weitere Pluspunkte	mögliche Konflikte
Kein Neubau wichtiger Infrastruktureinrichtungen (z.B. Leitstelle der Feuerwehr, Polizei/Notdienst, Umspannwerk und Ortsnetzstationen, Krankenhäuser etc.) an durch Hochwasser oder Starkregenereignissen gefährdeten Punkten		
Bei Kanalsanierung Überprüfung der Dimensionierung des Kanalnetzes (im Allgemeinen Maßnahmen des dezentralen Wasserrückhalts gegenüber der Erweiterung von Kanalkapazitäten vorziehen)		Je nach Ausführung technisch anspruchsvoll und relativ viel Platz im Siedlungsbereich erforderlich Hohe Bau-, Instandhaltungs- und Unterhaltungskosten bei unterirdischen Regensammelbecken
Hochwasserschutzkonzepte für Abwasseranlagen aufstellen (DWA-Merkblatt M 103) (ggf. Überlaufwerke größer dimensionieren)		Wasserqualität im aufnehmenden Gewässer (Vorfluter) wird beeinträchtigt, wenn Abwässer direkt dorthin abgeleitet werden müssen (Ableitung nur im Rahmen eines Hochwasserschutzkonzepts in Abstimmung mit der Oberen Wasserbehörde)
Hitzefrühwarnsysteme einrichten (z.B. für Altersheime, Krankenhäuser, Kinderbetreuungseinrichtungen und weitere öffentliche Einrichtungen)		

geeignete Anpassungsmaßnahme	weitere Pluspunkte	mögliche Konflikte
Anpassung der Freiflächengestaltung und des öffentlichen Raums (verantwortlich: Kommunen)		
Verbesserung der Niederschlagsversickerung durch Entsiegelungsmaßnahmen, Geländemodellierung, Mulden-/Rigolensysteme, Schaffung von Retentionsräumen		Bei Überstauung der Flächen keine bzw. eingeschränkte Nutzung möglich (z.B. Grünanlagen)
Gelände für Straßen und Parkplätze so modellieren, dass sie im Bedarfsfall zum Rückhalt des Niederschlagswassers genutzt werden können		Eventuell Akzeptanzprobleme Schäden an abgestellten Fahrzeugen bzw. von Gewässerverunreinigung durch Kraftstoffe, Öle usw.
An Gewässern im Zuge von Renaturierungsmaßnahmen Gewässerrandstreifen gestalten und Retentionsräume schaffen (Beispiel 9)	Synergien mit Maßnahmen nach den Forderungen der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), Lebensraum für Flora und Fauna, attraktives Landschaftsbild	

geeignete Anpassungsmaßnahme	weitere Pluspunkte	mögliche Konflikte
Anpassung im Gebäudebereich (verantwortlich: Hauseigentümer)		
Objektschutz gefährdeter Gebäude vor Überschwemmungen (z.B. mobile Wände, Bauen auf Stelzen), eindringendem Grundwasser (z.B. weiße Wanne) und Kanalisationswasser (Rückschlagventil) (Beispiel 10)		
Bauliche Vorsorge (insb. Baumaterialien, Sicherung von Heizungsanlagen und Öltanks, Lagerung wassergefährdender Stoffe)		Teilw. Vollzugsproblem, obwohl rechtlich geregelt
Erhöhte Anordnung von Einfahrten, Eingängen und Lichtschächten		Ggf. Einschränkung der architektonischen Gestaltungsmöglichkeiten und des Raumkonzepts, unter Umständen nicht behindertengerecht
In überschwemmungsgefährdeten Gebäuden vorsorglich Pumpen zum Leerpumpen des Kellers installieren		
Gefährliche Stoffe (z.B. Chemikalien, Öl) nicht in überschwemmungsgefährdeten Bereichen lagern		Vollzugsproblem, obwohl es bereits gesetzlich geregelt ist

Beispiel 9: Im Zuge von Renaturierungsmaßnahmen Gewässerrandstreifen gestalten und Retentionsräume schaffen

Abb. 20/21: Gelungene Renaturierung: der Hainbach in Offenbach, © Stadt Offenbach (2)

Die Renaturierung von Gewässern gehört zu den bewährten Maßnahmen, um Flüssen und Bächen mehr Raum zu geben und damit die Abflussspitzen bei Extremniederschlägen zu kappen. Nach und nach sind in der Region bereits wertvolle Auenflächen, Uferzonen und Gewässerrandstreifen zurück - gewonnen worden, die im Zuge von Begradigungs- und Ausbaumaßnahmen vor einigen Jahrzehnten verloren gegangen sind. Damit wird nicht nur ein Beitrag zum Schutz vor Überschwemmungen geleistet, die im Übrigen im Zuge des Klimawandels nach kurzen, aber heftigen Starkregenereignissen verstärkt auch an kleineren Gewässern zu erwarten sind, sondern es werden auch wichtige Maßnahmen zur Sicherung der Biodiversität ergriffen. Die Renaturierung von Gewässern sollte daher weiterhin vorangetrieben werden, beispielsweise durch die konsequente Umsetzung des Maßnahmenkatalogs der EU-Wasserrahmenrichtlinie.

Beispiel 10: Hochwasserschutz durch Informations- und Verhaltensvorsorge

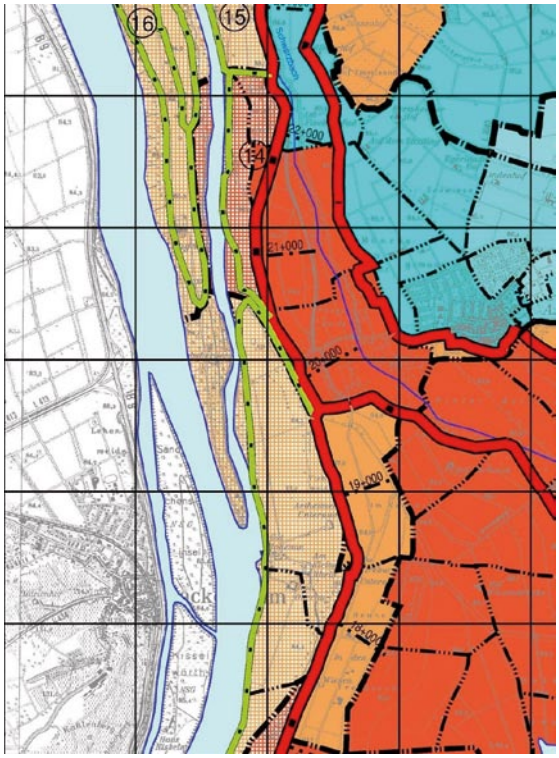

Abb. 22: Auszug aus der Hochwassergefahrenkarte des hessischen Rheins, Quelle: RP Darmstadt 2006

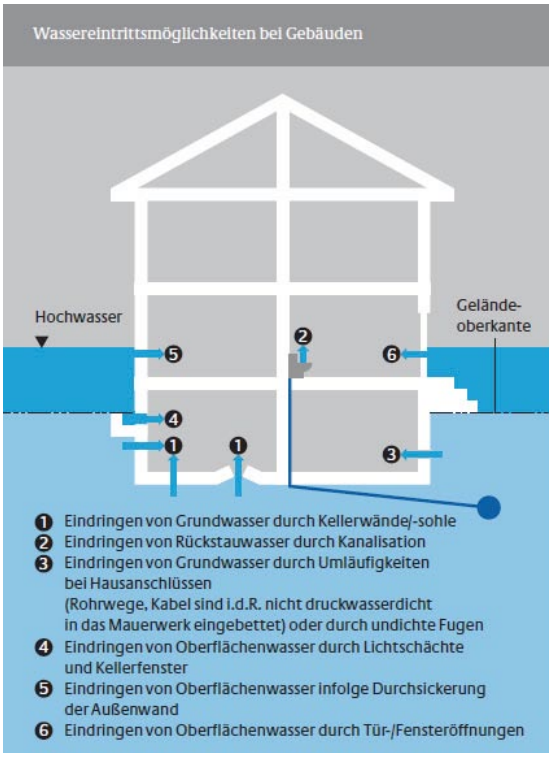

Abb. 23: Hochwasserschutzfibel, Quelle: BMVBS 2008

Hochwasserereignisse sind Naturereignisse, die bei nicht angepasster Bebauung zu Schäden in den Siedlungen führen. Dabei gilt: Je intensiver die Nutzung in den durch Hochwasser betroffenen Gebieten, desto größer sind in der Regel die Schäden. Da trotz zahlreicher Hochwasserschutzmaßnahmen vonseiten des Landes (siehe Landesaktionsplan Hochwasserschutz Hessen, HMUELV 2007) ein absoluter Schutz vor Hochwasser nie möglich sein wird, sind neben Kommunen auch die Besitzer von Immobilien in gefährdeten Gebieten aufgefordert, durch geeignete Maßnahmen Vorsorge zu treffen (insbesondere durch eine angepasste Bauleitplanung bzw. durch konkrete bauliche Schutz- und Vorsorgemaßnahmen).

Ein entsprechendes Handeln setzt möglichst aktuelle Informationen bezüglich der potenziellen Gefährdung voraus. Die beispielsweise auf den Internetseiten des Regierungspräsidiums Darmstadt veröffentlichten Hochwassergefahrenkarten für den hessischen Oberrhein und den hessischen Main stellen eine solche übersichtliche Informationsgrundlage dar. Sie zeigen unter anderem die Gebiete, die bei Versagen der Deiche (Bruch oder Überströmen) im Extremfall überflutet werden. Über konkrete bauliche Schutz- und Vorsorgemaßnahmen in hochwassergefährdeten Bereichen informieren zahlreiche Publikationen, wie beispielsweise die vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung veröffentlichte Hochwasserschutzfibel. Entsprechend den verschiedenen Wegen, über die das Wasser bei einem Hochwasser in das Gebäude eindringen kann (siehe Abb. 23), sind unterschiedliche Anpassungsmaßnahmen geeignet: Bauen auf Stelzen oder weiße Wannen sind nur

für den Neubau eine Option, während mobile Wände bzw. deren Halterung und Rückschlagventile auch im Bestand installiert werden können.

Zukünftig ist der Hochwasserschutz und die Verringerung nachteiliger Folgen nach Maßgabe von Hochwasserrisikomanagementplänen (§ 75 WHG) sicherzustellen. Diese Pläne erfassen – auf Basis der Gefahren- und Risikokarten (§ 74 WHG) – alle Aspekte des Hochwasserrisikomanagements, wobei der Schwerpunkt auf Vermeidung, Schutz und Vorsorge einschließlich Hochwasservorhersagen und Frühwarnsystemen liegt und die besonderen Merkmale des betreffenden Einzugsgebietes bzw. Teileinzugsgebietes berücksichtigt werden. Unter Berücksichtigung der voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels auf das Hochwasserrisiko sind die Pläne zukünftig alle sechs Jahre zu überprüfen und erforderlichenfalls zu aktualisieren.

3.4 Starkwindböen und Stürme

Starkwindböen und Stürme		
geeignete Anpassungsmaßnahme	**weitere Pluspunkte**	**mögliche Konflikte**
Anpassung der Freiflächengestaltung und des öffentlichen Raums (verantwortlich: Kommunen)		
Wo möglich, tief wurzelnde Bäume verwenden, um Standsicherheit zu gewährleisten		
Regelmäßige Baumbegutachtungen durchführen		zusätzliche Kosten
Anpassung des privaten Raums und des öffentlichen Raums (verantwortlich: Kommunen, Grundstückseigentümer)		
Auf windempfindliche Dachkonstruktionen, Baustoffe und Fassadenelemente verzichten (Beispiel 11)		
Dachziegel mit Dachklammern zusätzlich befestigen		

Beispiel 11: Auf windempfindliche Dachkonstruktionen, Baustoffe und Fassadenelemente verzichten

Abb. 24: Ob diese Konstruktion den nächsten Sturm übersteht?
© *Firma Roto Dach- und Solartechnologie GmbH*

Abb. 25: So bitte nicht!
© *Firma Roto Dach- und Solartechnologie GmbH*

3.5 Maßnahmen, die mehrere Klimawirkungen betreffen

Trockenheit und Extremniederschläge		
geeignete Anpassungsmaßnahme	**weitere Pluspunkte**	**mögliche Konflikte**
Anpassung der Stadtstruktur (verantwortlich: Kommunen)		
Dezentraler Wasserrückhalt durch Schaffung von Versickerungsmöglichkeiten und Entsiegelungsmaßnahmen (Beispiel 12)		Unter Umständen eingeschränkte Nutzung der Freiflächen Erhöhte Flächeninanspruchnahme gegenüber dem Ziel kompakter Siedlungen
Anpassung der Infrastruktur (verantwortlich: Kommunen)		
Ausbau von Systemen prüfen, in denen Abwasser und Niederschlagswasser getrennt abgeführt werden (Trennkanalisation), um Niederschlagswasser wieder zu nutzen (z.B. Bewässerung)		Relativ hohe Kosten Im Bestand selten möglich
Rigolen und Versickerungsmulden an Straßenrändern anlegen		Bei hohem Verwertungsdruck u.U. nicht realisierbar Erhöhter Herstellungs- und Unterhaltungsaufwand

geeignete Anpassungsmaßnahme	weitere Pluspunkte	mögliche Konflikte
Anpassung der Freiflächengestaltung und des öffentlichen Raums (verantwortlich: Kommunen)		
Regelungen zum Versiegelungsgrad in Stellplatzsatzung (auch bei Großanlagen, Einkaufszentren usw.) oder durch Rückbau- und Entsiegelungsgebote (§ 179 BauGB)		In der Umsetzung oft schwierig, weil Akzeptanzprobleme bei der Beschlussfassung in kommunalen Gremien
Versickerungsfreundliche Freiraum- und Gartengestaltung		
Anpassung im Gebäudebereich (verantwortlich: Hauseigentümer)		
Flächensparende Bebauung, um Versiegelung gering zu halten, und geeignete Geländemodellierung		Dabei ist die Gefahr der Überhitzung von Siedlungsbereichen bei zu hohen Baumassen zu beachten
Speicherung von Niederschlagswasser durch den Bau von Wasserreservoirs (z.B. Zisternen) zur Bewässerung des Grundstücks in Trockenperioden	Sparsamer Umgang mit Trinkwasser	

Beispiel 12: Dezentraler Wasserrückhalt durch Schaffung von Versickerungsmöglichkeiten und Entsiegelungsmaßnahmen

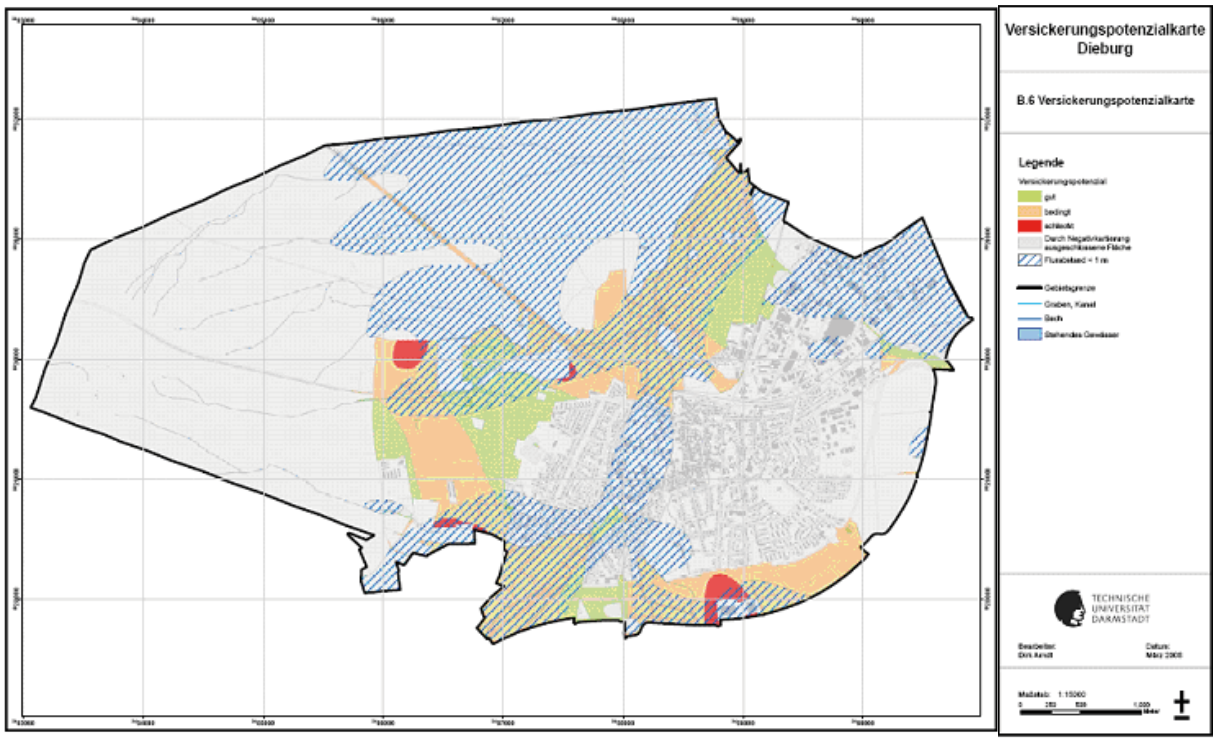

Abb. 26: Versickerungspotenzialkarte für die Stadt Dieburg, Quelle: Dirk Arndt, unveröffentlichte Diplomarbeit

Wo immer möglich, sollte anfallendes Niederschlagswasser direkt vor Ort versickern. Der Erhalt von Freiflächen sowie die Entsiegelung befestigter Flächen sind sinnvolle Maßnahmen, um dieses Ziel zu erreichen. Erstens wird durch den dezentralen Rückhalt des Wassers im Boden das Kanalnetz bei Starkregenereignissen entlastet und somit die Überlastungsgefahr für technische Anlagen (beispielsweise Kläranlagen) verringert. Zweitens wird die natürliche Funktion des Bodens unterstützt und Wasser dort gespeichert, sodass es auch in Trockenperioden noch einige Zeit für die Pflanzen zur Verfügung steht. Ein kommunales Entsiegelungskonzept stellt eine geeignete Planungsgrundlage für die Durchführung solcher Maßnahmen dar. Das Beispiel aus Dieburg macht deutlich, wo die Versickerung im Siedlungsbereich möglich ist.

Hitzebelastung und Extremniederschläge		
geeignete Anpassungsmaßnahme	**weitere Pluspunkte**	**mögliche Konflikte**
Anpassung der Freiflächengestaltung und des öffentlichen und privaten Raums (verantwortlich: Kommunen, Private)		
Bodenbeläge verwenden, die sich nicht stark aufheizen und sickerfähig sind (Beispiel 13)		

Beispiel 13: Bodenbeläge verwenden, die sich nicht stark aufheizen und sickerfähig sind

Abb. 27: Wasserdurchlässige Bodenbeläge, © Regionalverband FrankfurtRheinMain

Abb. 28: Rasengittersteine, © Thomas Max Müller / www.pixelio.de

Eine einfache und relativ kostengünstige Maßnahme zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels ist die Wahl geeigneter Oberflächen und Baumaterialien. Am Beispiel der Pflasterung wird deutlich, dass sich auf diesem Wege gar mehrere positive Effekte kombinieren lassen. Wie wir es aus südlichen Ländern kennen, sind helle Baumaterialien bei hohen Temperaturen und direkter Sonneneinstrahlung günstiger als dunkle Oberflächen (Albedo-Effekt). Mit den erwarteten höheren Temperaturen ist der Einsatz heller Baumaterialien auch hierzulande ein probates Mittel.

Im Falle von Bodenbelägen sind diese positiven Effekte leicht mit einem sickerfähigen Untergrund zu kombinieren. Rasenflächen, Rasengittersteine und andere Pflasterungen treten nicht nur der Überhitzung der Siedlungsbereiche entgegen, sie erlauben auch eine dezentrale Versickerung von Niederschlagswasser und entlasten so die Kanalnetze. Versickerung ist selbstverständlich nur dann möglich, wenn die unter der Pflasterung liegenden Bodenschichten dies zulassen.

4. Instrumente zur Umsetzung

Für die Umsetzung der im vorangegangenen Kapitel dargestellten Maßnahmen reichen die vorhandenen Instrumente in aller Regel aus. Weil die gesetzlichen Grundlagen im Raumordnungs- und Baurecht von herausgehobener Bedeutung bei der Anpassung an den Klimawandel sind, liegt der Fokus im folgenden Kapitel darauf. Die Festsetzung- und Darstellungsformen in der Bauleitplanung werden dazu detailliert aufgeschlüsselt. Zuvor sei noch darauf hingewiesen, dass selbstverständlich auch weitere Instrumente dienlich sein können, um Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel umzusetzen. Beispielhaft dafür stehen die Eingriffsregelung des Naturschutzrechts, die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) der EU und das Gebührensplitting in kommunalen Abwassergebührenordnungen. Beim Gebührensplitting sind zwei Faktoren für die Höhe der Abwassergebühren bestimmend: der Trinkwasserverbrauch und die zu beseitigende Regenwassermenge, die über den Versiegelungsgrad des Grundstücks ermittelt wird. In der Konsequenz wird die dezentrale Versickerung von Niederschlagswasser damit finanziell belohnt. Den Einfluss des Klimas auf die Stadtplanung behandeln beispielsweise auch die Richtlinien 3785 und 3787 des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI).

4.1 Gesetzliche Grundlagen im Raumordnungs- und Baurecht

Städte und Gemeinden spielen beim Klimaschutz und der Anpassung an den Klimawandel eine führende Rolle, da ohne ihr Engagement und die praktische Umsetzung vor Ort weder die angestrebten Klimaschutzziele zu erreichen sind noch eine an den Klimawandel angepasste Raumentwicklung möglich ist. Gleichzeitig nehmen sie mit ihrem Engagement eine wichtige Vorbildfunktion für Privathaushalte und Unternehmen wahr. Während sich jedoch inzwischen zahlreiche Kommunen aktiv in Klimaschutzprojekten, insbesondere zur Einsparung von Energie, engagieren, stehen Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel – trotz ihrer Bedeutung für die Stadtentwicklung – häufig noch nicht im Fokus der kommunalen Planung, insbesondere der Bauleitplanung.

Über die Landesplanung hat das Land Möglichkeiten einer Einflussnahme: Über die allgemeinen Aufgaben und Leitvorstellungen der Raumordnung (§ 1 ROG) fasst § 2 Abs. 2 des Raumordnungsgesetzes die Grundsätze der Raumordnung zusammen, die im Sinne der Leitvorstellung einer nachhaltigen Raumentwicklung durch Festlegungen in den Raumordnungsplänen (Landesentwicklungsplan, Regionalpläne) zu konkretisieren sind. Nach § 2 Abs. 2 Nr. 6 ROG ist unter anderem „den räumlichen Erfordernissen des Klimaschutzes [...] Rechnung zu tragen, sowohl durch Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegenwirken, als auch durch solche, die der Anpassung an den Klimawandel dienen […].“

Klimaschutz und -anpassung und die Entwicklung adaptiver Stadtentwicklungs- und Urbanisierungsprogramme sind wichtige Bestandteile einer integrierten Stadtentwicklungsstrategie. Für die Stadtplanung sind der Klimawandel bzw. Maßnahmen zur Klimaanpassung relevant, soweit ein konkreter

Bezug zur Bodennutzung vorhanden ist. Hier stellt das Baugesetzbuch (BauGB)[4] den Gemeinden mehrere Instrumente für Maßnahmen zur Klimaanpassung zur Verfügung:

- Bauleitplanung (Flächennutzungsplan § 5 BauGB / Bebauungsplan §§ 8, 9 BauGB)
- Städtebauliche Verträge (§ 11 BauGB)
- Stadterneuerung / städtebauliche Sanierung (§§ 136 ff BauGB)
- Stadtumbau (§§ 171a ff BauGB)
- Private Investitionen der Stadtentwicklung (§ 171f BauGB)
- Städtebauliche Pflanz, Rückbau- und Entsiegelungsgebote (§ 178 BauGB)

Hinzu kommen örtliche, in gemeindlichen Satzungen festgelegte Bauvorschriften nach § 81 Hessische Bauordnung (HBO), die nachrichtlich in einen Bebauungsplan übernommen werden können (§ 81 Abs. 3 HBO/§ 9 Abs. 6 BauGB).

Allerdings wirken Festsetzungen in Bauleitplänen für die Zukunft. Nach bisherigem Recht legal errichtete Bauwerke bleiben von der Aufstellung oder Änderung eines Bebauungsplans zunächst unberührt; die baulichen Anlagen genießen insoweit Bestandsschutz. Neue oder geänderte Bebauungspläne wirken sich im Bestand nur bei baurechtlich relevanten Änderungen aus. Die Bauleitplanung kann daher insbesondere bei der Ausweisung neuer Baugebiete Festsetzungen zur Klimaanpassung treffen.

Der Klimaschutz als gemeindliche Aufgabe ist insbesondere in § 1 Abs. 5 BauGB verankert. Danach sollen Bauleitpläne dazu beitragen, auch in Verantwortung für den allgemeinen Klimaschutz eine menschenwürdige Umwelt zu sichern und die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen und zu entwickeln. Die Klimaanpassung wird derzeit noch nicht als eigenes Ziel der Bauleitplanung genannt. Bei der für 2011 anstehenden Novellierung des Baugesetzbuches zeichnet sich jedoch ab, dass eine eigenständige Klimaschutzklausel in das Baugesetzbuch eingefügt wird, wonach den städtebaulichen Erfordernissen einer klimagerechten Stadtentwicklung sowohl durch Maßnahmen Rechnung zu tragen ist, die dem Klimawandel entgegenwirken, als auch durch solche, die der Anpassung an den Klimawandel dienen. Dies wäre bei der Bauleitplanung nach § 1 Abs. 7 BauGB in der Abwägung entsprechend zu berücksichtigen.

Neben den tabellarisch aufgelisteten Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten nach §§ 5 und 9 BauGB enthält das BauGB weitere Ansätze für Maßnahmen für den Klimaschutz und die Klimaanpassung vor Ort:

- § 1 Abs. 6 Nr. 1 BauGB: Die allgemeinen Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse und die Sicherheit der Wohn- und Arbeitsbevölkerung sind bei der Aufstellung von Bauleitplänen zu berücksichtigen; dazu gehört ein gesundes Stadtklima.

[4] Neugefasst durch Bekanntmachung. v. 23.9.2004 I 2414; zuletzt geändert durch Art. 4 G v. 31.7.2009 I 2585

- § 1 Abs. 6 Nr. 7 BauGB: Die Bauleitplanung hat die Belange des Umweltschutzes, einschließlich des Naturschutzes, der Landschaftspflege und des Klimaschutzes zu berücksichtigen. Genannt werden ausdrücklich die Auswirkungen auf Tiere, Pflanzen, Boden, Wasser, Luft, Klima und das Wirkungsgefüge zwischen ihnen, die umweltbezogenen Auswirkungen auf den Menschen und seine Gesundheit sowie auf Kulturgüter und sonstige Sachgüter.
- § 1 Abs. 6 Nr. 12 BauGB: Bei der Bauleitplanung sind die Belange des Hochwasserschutzes zu berücksichtigen.
- § 1a Abs. 2 BauGB: Durch eine flächensparende, die Bodenversiegelung auf ein Minimum reduzierende Siedlungsentwicklung soll den negativen Folgen des Klimawandels – insbesondere der teilweise bereits heute bestehenden Überwärmung – entgegengewirkt werden.
- § 1a Abs. 3 und 4 BauGB: Naturschutzrechtliche Ausgleichsregelungen und der europarechtliche Habitat- und Vogelschutz bieten Möglichkeiten zum Schutz klimarelevanter Freiflächen.
- § 2 Abs. 4 BauGB: Aspekte des Klimaschutzes und der Anpassung an den Klimawandel sind Inhalt der Umweltprüfung.
- § 9 Abs. 2 BauGB: Festsetzungen auf Zeit bieten Möglichkeiten, um in geeigneten Fällen die Umkehr von Nutzungen zu erleichtern.
- § 11 Abs. 1 S. 2 Nr. 4 BauGB: Gut geeignet für die Berücksichtigung stadtklimatischer Belange sind städtebauliche Verträge (§ 11 BauGB). Gegenstand eines städtebaulichen Vertrags zwischen der Kommune selbst und einem privaten Vertragspartner kann die Förderung/Sicherung der mit der Bauleitplanung verfolgten Ziele sein. Klimaschutzzielen dienende Vereinbarungen sind u.a. die vertraglich geregelte Nutzung von Netzen und Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung und Solaranlagen für die Wärme-, Kälte- und Elektrizitätsversorgung. Darüber hinaus können auch der Klimaanpassung dienende Maßnahmen vereinbart werden.
- § 12 BauGB: Weitergehende Gestaltungsmöglichkeiten als in Angebotsbebauungsplänen bestehen in vorhabenbezogenen Bebauungsplänen auf Grundlage eines Vorhaben- und Erschließungsplans. Sie eröffnen die Option, den Bauträger auf die Erfüllung bestimmter ökologischer bzw. energiesparender Vorgaben zu verpflichten. So ermöglicht die Darstellung des konkreten Vorhabens im Vorhaben- und Erschließungsplan die Untersuchung und Bewertung aller baukörperabhängigen klimatischen Auswirkungen auf die Umgebung. Dies hat Bedeutung für die Aspekte Besonnung und Belichtung, Möglichkeiten der Solarnutzung sowie für die bioklimatischen Bedingungen.
- §§ 136 ff, 165 ff und 171a ff BauGB: Auch das besondere Städtebaurecht (Städtebauliche Sanierungsmaßnahmen, städtebauliche Entwicklungsmaßnahmen und Stadtumbau) enthält Ansätze zur Berücksichtigung von Klimaschutzaspekten. Beispielsweise bietet die Verbesserung der baulichen bzw. städtebaulichen Strukturen Möglichkeiten, Aspekte des Klimaschutzes und der Klimaanpassung zu berücksichtigen und Maßnahmen zum Klimaschutz und der Anpassung an den Klimawandel umzusetzen. Bei der für 2011 vorgesehenen Novellie-

rung des BauGB sollen zudem die Vorschriften zum Stadtumbau noch stärker auf die Erfordernisse einer klimagerechten Stadtentwicklung ausgerichtet werden.

- § 171 BauGB: Möglichkeiten, den Klimaschutz zu berücksichtigen, bietet auch die privat mitverantwortliche Stadtentwicklung.

Die Frage, welche Maßnahmen städtebaulich erforderlich sind, ist von den Kommunen im Rahmen ihrer Planungskonzeptionen zu prüfen. Energie- und Klimaschutzkonzepte stellen eine geeignete Grundlage zur Begründung von Festsetzungen und Maßnahmen dar und sind bei der Aufstellung von Bauleitplänen nach § 1 Abs. 6 Nr. 11 BauGB zu berücksichtigen.

Darüber hinaus bedarf eine erfolgreiche Umsetzung von Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen – unter Berücksichtigung der konkreten Situation vor Ort – immer auch:

- einer frühzeitigen Einbindung kommunaler Akteure und der Öffentlichkeit in die Planungs- und Entwicklungsprozesse,
- einer abgestimmten ganzheitlichen Strategie innerhalb der Kommune,
- einer Ausschöpfung der informellen und formellen Planungsinstrumente,
- geeigneter Daten-/Informationsgrundlagen und ergänzender (z.B. finanzieller) Anreizinstrumente.

4.2 Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten in Bauleitplänen

Anpassungsmaßnahme	Erläuterungen	FNP/ B-Plan	Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten nach BauGB
Hitzebelastung			
Art, Maß und Anordnung der Bebauung sowie Festlegung von Baulinien und Baugrenzen (-> auch zum Schutz von Freiflächen).	Im Flächennutzungsplan kann die Bebauungsdichte der Bauflächen und Baugebiete zur Sicherung einer „angemessenen“ Baudichte beitragen. Die Teile des Gemeindegebiets, die weder als Bauflächen noch als Baugebiete darstellt, sind für eine Bebauung auf der Grundlage eines Bebauungsplans nicht vorgesehen Im B-Plan werden die räumliche Verteilung der Nutzungsbereiche und die Art und das Maß der baulichen Nutzung festgelegt.	FNP	§ 5 Abs. 2 Nr. 1 BauGB: Darstellung von Bauflächen und Baugebieten
		B-Plan	§ 9 Abs. 1 Nr. 1 BauGB i.V.m. §§ 1 ff Baunutzungsverordnung (BauNVO): Festsetzung von Art und Maß der baulichen Nutzung § 9 Abs. 1 Nr. 2 BauGB: Festsetzung der Bauweise, der überbaubaren und der nicht überbaubaren Grundstücksflächen sowie die Stellung der baulichen Anlagen (i.V.m. §§ 22 und 23 BauNVO)
Erhalt und Schaffung von stadtklimatisch bedeutsamen Grün- und Freiflächen	Mit den Darstellungen bzw. Festsetzungen zur Freihaltung und Schaffung von Grünflächen können auch die für Kalt-/Frischluftentstehung bzw. den Abfluss relevanten Flächen gesichert werden. Dazu sind die Freiflächen so zu gestalten, dass der Abfluss der Luftmassen nicht beeinträchtigt wird. In der Begründung ist auf die lokalklimatische Bedeutung der entsprechenden Flächen für die Frisch-/Kaltluftversorgung hinzuweisen.	FNP	§ 5 Abs. 2 Nr. 5 BauGB: Darstellung von Grünflächen, wie Parkanlagen, Dauerkleingärten, Sport-, Spiel-, Zelt- und Badeplätzen, Friedhöfen § 5 Abs. 2 Nr. 7 BauGB: Darstellung von Wasserflächen und Flächen, die im Interesse des Hochwasserschutzes und der Regelung des Wasserabflusses freizuhalten sind § 5 Abs. 2 Nr. 9 BauGB: Darstellung von Flächen für die Landwirtschaft und Wald § 5 Abs. 2 Nr. 10 BauGB: Darstellung von Flächen für Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft

Anpassungsmaßnahme	Erläuterungen	FNP/ B-Plan	Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten nach BauGB
		B-Plan	§ 9 Abs. 1 Nr. 2 BauGB i.V.m. § 23 BauNVO: Festsetzung der überbaubaren und nicht überbaubaren Grundstücksflächen § 9 Abs. 1 Nr. 1 BauGB i.V.m. § 16 Abs. 2 und § 19 BauNVO: Festsetzung der Grundfläche oder der Grundflächenzahl § 9 Abs. 1 Nr. 3 BauGB: Festsetzung von Mindestmaßen der Baugrundstücke und von Höchstmaßen für Wohnbaugrundstücke § 9 Abs. 1 Nr. 4 BauGB i.V.m. § 12 Abs. 4 BauNVO: Festsetzung von Flächen für Nebenanlagen und Möglichkeit festzusetzen, dass Stellplätze und Garagen nicht auf den nicht überbaubaren Grundstücksflächen hergestellt werden dürfen § 9 Abs. 1 Nr. 10 BauGB: Festsetzung der Flächen, die von der Bebauung freizuhalten sind, und ihre Nutzung § 9 Abs. 1 Nr. 15 BauGB: Festsetzung von öffentlichen und privaten Grünflächen wie Parkanlagen, Dauerkleingärten, Sport-, Spiel-, Zelt- und Badeplätzen und Friedhöfen § 9 Abs. 1 Nr. 16 BauGB: Festsetzung von Wasserflächen § 9 Abs. 1 Nr. 18 BauGB: Festsetzung von Flächen für die Landwirtschaft und Wald § 9 Abs. 1 Nr. 20 BauGB: Festsetzung von Flächen oder Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und

Anpassungsmaßnahme	Erläuterungen	FNP/ B-Plan	Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten nach BauGB
			Landschaft § 9 Abs. 1 Nr. 25 BauGB: (a) das Anpflanzen von Bäumen, Sträuchern und sonstige Bepflanzungen, (b) Bindungen für Bepflanzungen und für die Erhaltung von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen sowie von Gewässern
Erhaltung und Schaffung von Frischluftflächen/Luftleitbahnen		FNP/ B-Plan	Darstellungs-/Festsetzungsmöglichkeiten (siehe „Flächen freihalten, neue Frei-/Grünflächen und Parkanlagen schaffen“)
Offene Wasserflächen schaffen		FNP	§ 5 Abs. 2 Nr. 7 BauGB: Darstellung von Wasserflächen
		B-Plan	§ 9 Abs. 1 Nr. 16 BauGB: Festsetzung von Wasserflächen § 9 Abs. 1 Nr. 25b BauGB: Festsetzung von Bindungen für die Erhaltung von Gewässern
Begrünung von Straßenzügen, Dach- und Fassadenbegrünung, bodendeckende Vegetation (mit geeigneter, wärmeresistenter Vegetation)	Maßnahmen zur Begrünung und Bepflanzung von Stellplätzen und von Straßenzügen müssen den straßen- und bauordnungsrechtlichen Anforderungen an die Begrünung von Straßen genügen. Die Notwendigkeit von Pflanzgeboten und Pflanzlisten ist zu begründen. Weiterhin können Festsetzungen über die äußere Gestaltung baulicher Anlagen, etwa die Dachform, nach § 81 Abs. 1 Nr. 1 der Hessischen Bauord-	B-Plan	§ 9 Abs. 1 Nr. 25 BauGB: Festsetzungen von Anpflanzungen und Pflanzbindungen für einzelne Flächen oder für ein Bebauungsplangebiet oder Teile davon

Anpassungsmaßnahme	Erläuterungen	FNP/ B-Plan	Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten nach BauGB
	nung (HBO) für Dach- und Fassadenbegrünungen nach § 81 Abs. 1 Nr. 5 HBO in örtlichen Bauvorschriften erfolgen und in den Bebauungsplan nach § 81 Abs. 3 HBO/§ 9 Abs. 6 BauGB nachrichtlich übernommen werden.		
Schattenspendende Elemente im öffentlichen Raum	z.B. Arkaden	B-Plan	§ 9 Abs. 1 Nr. 11 BauGB: Festsetzung von Verkehrsflächen besonderer Zweckbestimmung
Erhaltung und Schaffung von Frischluftflächen und Luftleitbahnen		FNP B-Plan	Darstellungs-/Festsetzungsmöglichkeiten (siehe „Flächen freihalten, neue Frei-/Grünflächen und Parkanlagen schaffen“)
Gebäudeausrichtung optimieren, Hänge von hangparalleler Bebauung (Riegel) freihalten		B-Plan	§ 9 Abs. 1 Nr. 2 BauGB: Festsetzung der Bauweise, der überbaubaren und der nicht überbaubaren Grundstücksfläche sowie der Stellung der baulichen Anlagen § 9 Abs. 1 Nr. 23 BauGB: Festsetzung von Gebieten, in denen bei der Errichtung von Gebäuden bestimmte bauliche Maßnahmen für den Einsatz erneuerbarer Energien wie insbesondere Solarenergie getroffen werden müssen
Wärmeschutz durch geeignete Dämmung, Baumaterialien	Die Anforderungen an die Errichtung und Erhaltung baulicher Anlagen sind Gegenstand der HBO. Die baulichen Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen nicht		

Anpassungsmaßnahme	Erläuterungen	FNP/ B-Plan	Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten nach BauGB
	gefährdet werden (§ 3 HBO). Näheres ergibt sich aus weiteren Vorschriften der HBO, so muss jede bauliche Anlage, auch unter Berücksichtigung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse, standsicher sein (§ 11 Abs. 1 HBO). Bauprodukte dürfen nur verwendet werden, wenn bei ihrer Verwendung die baulichen Anlagen bei ordnungsgemäßer Instandhaltung während einer dem Zweck entsprechenden angemessenen Zeitdauer gebrauchstauglich sind und die wesentlichen Anforderungen insbesondere der mechanischen Festigkeit und Standsicherheit erfüllt sind.		
Trockenheit / Extremniederschläge			
Zur Regelung des Wasserabflusses / aus Gründen des Hochwasserschutzes freizuhaltende Flächen		FNP	§ 5 Abs. 2 Nr. 7 BauGB: Die für die Wasserwirtschaft vorgesehenen Flächen sowie die Flächen, die im Interesse des Hochwasserschutzes und der Regelung des Wasserabflusses freizuhalten sind § 5 Abs. 4a BauGB: Festgesetzte Überschwemmungsgebiete im Sinne des § 76 Absatz 2 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) sollen nachrichtlich übernommen werden. Noch nicht festgesetzte Überschwemmungsgebiete im Sinne des § 76 Absatz 3 des WHG sowie als Risikogebiete im Sinne des § 73 Absatz 1 Satz 1 des WHG bestimmte Gebiete sollen im FNP vermerkt werden

Anpassungsmaßnahme	Erläuterungen	FNP/ B-Plan	Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten nach BauGB
		B-Plan	§ 9 Abs. 1 Nr. 16 BauGB: die Wasserflächen sowie die Flächen für die Wasserwirtschaft, für Hochwasserschutzanlagen und für die Regelung des Wasserabflusses
Rückbau versiegelter Flächen	Nach § 179 BauGB kann eine Gemeinde den Eigentümer verpflichten, dauerhaft nicht mehr genutzte Flächen zu entsiegeln, wenn dies der Umsetzung des Bebauungsplans dient. Eine entsprechende Regelung bedarf jedoch der Einzelfallbetrachtung. Sie ist zudem in aller Regel mit Entschädigungsansprüchen verbunden. Bei zahlreichen privilegierten Vorhaben im Außenbereich greift die Rückbauverpflichtung nach § 35 Abs. 5 BauGB. Eine Förderung von Rückbau- und Entsiegelungsmaßnahmen ist im Rahmen von Stadtumbaumaßnahmen nach § 171a-d BauGB möglich.	B-Plan	Festsetzungsmöglichkeiten (siehe Maßnahme „Flächen freihalten, neue Frei-/Grünflächen und Parkanlagen schaffen“)
Erosionsmindernde Maßnahmen			Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten siehe Maßnahmen „Flächen freihalten, neue Frei-/Grünflächen und Parkanlagen schaffen“
Schaffung und Verbesserung der Versickerung von Niederschlägen	z.B. Versickerungsmulden und -gräben	B-Plan	§ 9 Abs. 1 Nr. 14 BauGB: Festsetzung von Flächen für die Abfall- und Abwasserbeseitigung, einschließlich der Rückhaltung und Versickerung von Niederschlagswasser
Schaffung von Niederschlagswasserspeichern		B-Plan	§ 9 Abs. 1 Nr. 14 BauGB: Festsetzung von Flächen für die Abfall-

Anpassungsmaßnahme	Erläuterungen	FNP/ B-Plan	Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten nach BauGB
und Rückhaltebecken, Entwässerungs- und Versickerungsgräben			und Abwasserbeseitigung, einschließlich der Rückhaltung und Versickerung von Niederschlagswasser § 9 Abs. 1 Nr. 16 BauGB: Festsetzung von Wasserflächen sowie von Flächen für die Wasserwirtschaft, für Hochwasserschutzanlagen und für die Regelung des Wasserabflusses

5. Zusammenfassung

Der Schutz des Klimas durch die Reduktion von Treibhausgasen und der Schutz unserer Siedlungen vor den Auswirkungen des Klimawandels müssen integriert betrachtet werden.

Im Zuge des Klimawandels ist zukünftig häufiger mit Extremwetterereignissen wie Hitzewellen, lang anhaltenden Trockenperioden, Starkregen- oder Starkwindereignissen oder Stürmen bzw. Starkwindböen zu rechnen. Die aufgezeigten Wege sind aber auch schon vor dem Hintergrund der heutigen klimatischen Situation von Bedeutung. Denn auch in der Vergangenheit hat es bereits große Schäden aufgrund von extremen Naturereignissen in Hessen gegeben (Hess. Landtag Drs. 18/32).

Unsere Siedlungen durch Maßnahmen der Klimaanpassung auf den Klimawandel vorzubereiten, spart erhebliche Kosten im Schadensfall. Zudem gibt es eine ganze Reihe von kostengünstigen und effektiven vorsorgenden Lösungen. Schließlich sind Klimaanpassungsmaßnahmen auch erforderlich, um gesundheitliche Beeinträchtigungen aufgrund des Klimawandels zu verringern.

Maßnahmen zur Klimaanpassung können in verschiedenen Bereichen ergriffen werden:

- Auf gesamtstädtischer Ebene geht es um die Anpassung der Siedlungsstruktur durch ausreichende Belüftung des Siedlungskörpers und möglichst dezentrale Versickerung des Niederschlagswassers.
- Die Betreiber von Infrastruktureinrichtungen müssen sich auf extreme Wetterereignisse einstellen, sodass der Betrieb möglichst nicht dadurch gestört wird.
- Die Funktion der Freiräume wird in Zukunft noch wichtiger für den Siedlungskörper. Sie helfen, das menschliche Wohlbefinden in der Stadt während Hitzewellen aufrechtzuerhalten und können die Kanalisation bei extremen Niederschlägen entlasten. Durch geeignete Material- und Pflanzenwahl ist sicherzustellen, dass sie diese Funktionen beibehalten werden.
- Mit der Wahl geeigneter Bauteile und Materialen können Gebäude effektiv vor den Folgen des Klimawandels geschützt werden. Ebenso ist es wichtig, auf den Neubau an gefährdeten Standorten zu verzichten und die Ausrichtung des Gebäudes zu optimieren.

Für die Anpassung unserer Städte an die Folgen des Klimawandels ist es außerordentlich wichtig, dass sich alle Akteure daran beteiligen, denn jeder kann etwas zur Anpassung beitragen. Von besonderer Bedeutung sind auch die Vernetzung verschiedener Akteure und der anschließende gegenseitige Austausch, denn so kann man Neues erfahren oder gemeinsam zu innovativen Lösungen gelangen. Dafür kommen sowohl formal vorgeschriebene Beteiligungsverfahren wie etwa in der Bauleitplanung in Betracht, aber auch informelle Gesprächskreise oder Workshops. Die Umsetzung dieser Anpassungsstrategien und Gestaltungshinweise ist ebenso ein wichtiger Beitrag bei der Verwirklichung der Nachhaltigkeitsziele auf der kommunalen Handlungsebene.

6. Checkliste zur kommunalen Anpassung an den Klimawandel

Der Klimawandel stellt eine Herausforderung für Städte und Gemeinden dar. Sie sind vor allem gegenüber dem Anstieg der Lufttemperaturen und damit verbundenen heißeren und trockeneren Sommern sowie extremeren Hitzewellen, starken Niederschlägen oder aber auch Starkwindböen und Stürmen verwundbar. Um diesen Herausforderungen entgegenzutreten, ist es notwendig, neben den erforderlichen Klimaschutzmaßnahmen auch Maßnahmen zur Anpassung an die nicht mehr vermeidbaren Auswirkungen des Klimawandels umzusetzen.

Die folgende Checkliste hilft herauszufinden, ob Ihre Kommune bereits auf die Folgen des Klimawandels vorbereitet ist und wo die wichtigsten Handlungserfordernisse liegen.[5]

Wenn die folgenden Aussagen für Ihre Kommune zutreffen, dann sind Sie auf einem guten Weg in die Zukunft!

- ☐ Sie wissen, welche Verwundbarkeiten innerhalb Ihrer Kommune gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels bestehen.
- ☐ Heißere und trockenere Sommer stellen keine Belastung für Ihre Kommune dar – ausreichende Frei- und Wasserflächen zur Abkühlung sind vorhanden.
- ☐ Der gesamte Siedlungsbereich ist ausreichend und gut durchlüftet.
- ☐ Hitzeempfindliche Nutzungen wie etwa Altenheime, Kindergärten, Schulen oder Krankenhäuser befinden sich in kühleren, weniger stark verdichteten Randlagen.
- ☐ Straßenbäume und Pflanzen verfügen über genügend große Baumscheiben oder Pflanzgruben, um ausreichend Wasser speichern zu können.
- ☐ Wichtige Infrastruktureinrichtungen (Feuerwehr, Polizei, Krankenhaus) liegen nicht an gefährdeten Punkten.
- ☐ Das Kanalnetz Ihrer Kommune verfügt über genügend Stauraum, um extreme Niederschläge abpuffern zu können.
- ☐ Sämtliche (öffentliche) Gebäude sind auf Hitzewellen, Extremniederschläge oder Stürme vorbereitet und entsprechend gesichert.
- ☐ Es existieren Notfalleinsatzpläne für Extremwetterereignisse, die mit allen Beteiligten abgestimmt sind; das Informationsmanagement für die Bürger ist erprobt; ein Hitzefrühwarnsystem eingerichtet.
- ☐ Bürger, Vereine und die lokale Wirtschaft sind informiert und wissen, welche Maßnahmen sie selbst ergreifen können.

[5] Weitere Hinweise zur Identifizierung des lokalen Risikos geben der „Stadtklimalotse“ (www.stadtklimalotse.net) des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) sowie der „Klimalotse“ (www.klimalotse.anpassung.net) des Umweltbundesamts (UBA).

7. Glossar

Albedo-Effekt

Beim Albedo-Effekt handelt es sich um das Rückstrahlvermögen diffus reflektierender (aber nicht spiegelnder) Oberflächen, angegeben als Verhältnis von reflektierender zu einfallender kurzwelliger Strahlung. So hat frischer Schnee eine Albedo von 0,9, reflektiert also fast die gesamte Sonneneinstrahlung, nämlich 90 %. Asphalt hingegen hat eine Albedo von 0,15 und absorbiert somit fast die komplette Sonneneinstrahlung (85 %). Der Albedo-Effekt ermöglicht daher Aussagen darüber, wie stark sich die Fläche selbst und die darüberliegende Luft erwärmen.

Bioklima

Unter Bioklima wird die Gesamtheit aller atmosphärischen Einflussgrößen auf den menschlichen Organismus gefasst. Die wichtigsten meteorologischen Größen sind dabei Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und Strahlung. Sie beeinflussen u.a. die sogenannte „gefühlte Temperatur“.

Eutrophierung

Eutrophierung ist die Anreicherung eines Gewässers mit Nährstoffen, die zu einem beschleunigten Pflanzenwachstum führt, welches wiederum eine unerwünschte Störung des Gleichgewichts zwischen den Organismen und eine Beeinträchtigung der Wasserqualität zur Folge hat.

Extremwetterereignis

Extremereignisse im Sinne der Meteorologie sind Wetterzustände und Wetterlagen, die in ihrem Verlauf signifikant vom langfristigen Durchschnitt abweichen. Sie treten in der betrachteten Region eher selten auf, können sachwert- oder lebensbedrohende Auswirkungen haben und die öffentliche Ordnung und das öffentliche Leben gefährden. Auch wenn einzelne Extremereignisse vollkommen natürlich sind und nicht direkt der anthropogenen Klimaänderung zugeordnet werden können, gehen Experten davon aus, dass der Klimawandel zu einer Zunahme der Häufigkeit und Intensität dieser Wetterereignisse führen wird.

Hausbrand

Verfeuerung von Brennmaterialien (fossile und feste Brennstoffe) in Kleinfeuerungsanlagen zu Heizzwecken (insbesondere in Wohnungen, öffentlichen und kommunalen Einrichtungen). Die damit verbundene warme Abluft durch Schornsteine und die Wärmeabstrahlung der Gebäude trägt zur Erwärmung der Stadtatmosphäre bei, besonders im Winter.

Heißer Tag

Ein heißer Tag ist ein Tag, an dem die Tageshöchsttemperatur 30°C erreicht oder übersteigt.

Hitzestau

Von einem Hitzestau spricht man bei einer Ansammlung von Wärmeenergie in einem geschlossenen oder nur schwer durchlässigen System, welche zu beständig steigenden Temperaturen führt. Dies ist beispielsweise in dicht bebauten Siedlungsbereichen der Fall, da die Hitze hier wegen der Abbremsung der Winde durch Gebäude und der eingeschränkten Luftzirkulation zwischen Gebäuden nicht entweichen kann und sich daher anstaut.

Hitzestress

Hitzestress bezeichnet die biologischen Reaktionen des Organismus auf hohe Temperaturen, die zu gesundheitlichen Problemen bzw. bei Pflanzen zur Störung physiologischer Prozesse führen können. Tritt in der Regel bei lang anhaltender Hitze bzw. bei Hitzestau auf.

Kaltluft-/Frischluftentstehungsgebiete

Kaltluftentstehungsgebiete sind vor allem landwirtschaftlich genutzte Freiflächen (Wiesen, Felder, Äcker) mit geringem Gehölzbestand, auf denen sich insbesondere bei guten nächtlichen Ausstrahlungsbedingungen die Oberfläche und somit auch die darüberliegenden Luftmassen verhältnismäßig rasch abkühlen. Frischluftentstehungsgebiete sind emissionsarme Kaltluftentstehungsgebiete, die oftmals durch einen hohen Grünanteil mit einhergehender lufthygienischer Filterfunktion gekennzeichnet sind (beispielsweise Wälder, dichtere Parkanlagen und Streuobstbereiche).

Klimafaktoren

Klimafaktoren, auch klimatologische Wirkungsfaktoren genannt, sind Faktoren, welche die Klimaelemente (Temperatur, Feuchte usw.) und damit das Klima eines Ortes beeinflussen. Die wesentlichen natürlichen Klimafaktoren sind geographische Breite, topographische Höhe und Exposition, Entfernung vom Meer und anderen größeren Wasserflächen, Bodenart und Bodenbedeckung. Hinzu kommen anthropogene Faktoren wie Bebauung und Abwärme.

Klimaanpassung (Adaptation)

Klimaanpassung bezeichnet die Anpassung ökologischer, sozialer oder ökonomischer Systeme an aktuelle oder zukünftige klimatische Gegebenheiten mit der Intention, durch veränderte Handlungsweisen und Strukturen mögliche Schäden zu minimieren oder gar abzuwenden und Chancen zu nutzen.

Klimaprojektionen

Abschätzung der zukünftigen Klimaentwicklung unter der Annahme von Emissionsszenarien (hypothetische, jedoch plausible Projektionen der zukünftigen Entwicklung von Emissionen, die für den Treibhauseffekt relevant sind). Diese können global, regional oder aber teilweise auch schon auf stadtklimatischer Ebene berechnet werden. Klimaprojektionen sind keine Klimaprognosen, da noch

nicht hinreichend bekannt ist, wie sich die Emissionen klimarelevanter Gase wirklich entwickeln werden.

Klimaschutz (Mitigation)

Sammelbegriff für Maßnahmen, die einer anthropogen bedingten globalen Erwärmung entgegenwirken und mögliche Folgen abmildern oder verhindern sollen. Vorrangig ist hierbei die Reduktion von Treibhausgasemissionen zu nennen.

Luftleitbahnen (Ventilationsbahnen)

Dies sind zusammenhängende Strukturen in der Landschaft, in denen Frischluft oder Kaltluft bodennah transportiert wird. Klimatologisch interessant sind Frischluft- und Kaltluftschneisen, die Frisch-/ Kaltluftentstehungsgebiete mit Innenstädten verbinden und somit für eine Durchlüftung der städtischen Bereiche sorgen.

Schwüler Tag

Schwüle ist ein subjektives Empfinden. Vereinfacht – ohne die Berücksichtigung von Wärmestrahlung, Luftbewegung sowie körperlicher Aktivität – wird als schwüler Tag ein Tag bezeichnet, an dem der Wasserdampfdruck 18,8 hPa erreicht oder überschreitet.

Sommertag

Ein Sommertag ist ein Tag, an dem die Tageshöchsttemperatur 25°C erreicht oder überschreitet.

Stadtklima

Das Stadtklima ist das durch die Wechselwirkungen mit der Bebauung und deren Auswirkungen (einschließlich Abwärme und Emission von Luftverunreinigungen) modifizierte Klima.

Starkregen

Starkregen ist ein Begriff, der nicht einheitlich definiert ist. Laut Deutschem Wetterdienst (DWD) handelt es sich um ein Starkregenereignis, wenn in fünf Minuten 5 l/m² oder in zwanzig Minuten 10l/m² Niederschlag fallen. Daneben spricht der DWD von einem Unwetter, wenn innerhalb von einer Stunde 25 l/m² oder in sechs Stunden 35 l/m² Niederschlag fallen.

Trockenresistenz

Dabei handelt es sich um die Eigenschaft von Pflanzen, Trockenperioden zu überstehen. Auch bei Pflanzen, die keine ausgesprochenen Trockenpflanzen sind, gibt es genetisch fixierte Unterschiede in der Trockenresistenz einzelner Arten.

Trockenstress

Dies ist der Stress, der durch Wassermangel bei lebenden Organismen entsteht und insbesondere bei Pflanzen in Trockenperioden hervorgerufen wird.

Tropennächte

Eine Tropennacht ist eine Nacht, in der sich die Lufttemperatur nicht unter 20°C abkühlt.

Verdunstungskälte

Bei der Verdunstung wechselt das Wasser den Aggregatzustand von flüssig zu gasförmig. Bei diesem Prozess wird der Luft Wärme(-energie) entzogen, was schließlich zu einer Abkühlung führt.

Verwundbarkeit (Vulnerabilität)

Verwundbarkeit ist die Verletzlichkeit bzw. Sensibilität insbesondere sozio-ökologischer, technischer, ökonomischer und politischer Systeme gegenüber inneren und äußeren Störereignissen, wie etwa den Folgen des Klimawandels, sowie ihre Fähigkeit, mit Störereignissen in einer Art und Weise umzugehen, dass die von ihnen erwarteten Systemdienstleistungen weiterhin aufrecht erhalten werden können (Anpassungsfähigkeit). Die Verwundbarkeit geht u.a. aus der Stärke der Exposition, der Sensitivität des Systems und der Höhe des Schadenspotenzials hervor.

Wärmeinseleffekt

Der Wärmeinseleffekt beschreibt die im Mittel höhere Temperatur in einem verdichteten Siedlungsbereich gegenüber dem Umland. Er entsteht durch einen Wärmeüberschuss infolge einer dichten Bebauung und einem hohen Versiegelungsgrad, weil der Austausch von Luftmassen reduziert ist, weniger Verdunstungskälte auftritt und der Grad der Wärmespeicherung in Gebäuden entsprechend hoch ist. Insbesondere in hochsommerlichen Nächten verursacht dies erhöhte Wärmebelastungen für Menschen und führt zu einer erheblichen Einschränkung der Lebensqualität. Der Temperaturunterschied zum Umland kann nachts bis zu 10°C betragen (tagsüber 0,5° bis 3°C).

Windlast

Durch Wind hervorgerufene, zeitlich veränderliche Belastung von Bauwerken oder Bauteilen. Sie ergibt sich aus der Luftdruckverteilung um das um- und überströmte Bauwerk.

8. Literatur, Links und weitere Informationsquellen

AKBARI, H. / MENON, S. / ROSENFELD, A. (2008): Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO_2 Berkeley, USA.

BERNATZKY, A. (1985): Grünplanung für unsere Umwelt, Wiesbaden.

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung / Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.): Folgen des Klimawandels: Gebäude und Baupraxis in Deutschland, BBR Online-Publikation 10/2008. urn:nbn:de:0093-ON1008R229, erhältlich unter: http://d-nb.info/988933985/34

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2008): Hochwasserschutzfibel http://www.bbsr.bund.de/cln_016/nn_22074/BBSR/DE/Bauwesen/GrundlagenSicherheit/Hochwasserschutz/Hochwasserschutzfibel/Hochwasserschutzfibel.html

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2010): Klimawandel als Handlungsfeld der Raumordnung, Berlin. http://www.bbsr.bund.de/nn_23494/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Forschungen/2010/Heft144.html

Deutscher Wetterdienst (2010): Berlin im Klimawandel – Eine Untersuchung zum Bioklima. Eine Kooperation mit der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung der Stadt Berlin. http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/i412.htm

Deutscher Wetterdienst (o.J.) Online-Klimaatlas. http://www.dwd.de/klimaatlas

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) (2010): Empfehlungen für Baumpflanzungen, - Teil 2: Standortvorbereitungen für Neupflanzungen, zu beziehen unter: http://www.fll.de/Einzelansicht.81.0.html?&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=62&tx_ttnews[backPid]=10&cHash=0a9e8a79d5d3467e0914ff74289ed00a

FRÜH, B. et al. (2011): Estimation of climate change impacts on the urban heat load using an urban climate model and regional climate projections. Journal Applied Meteorology and Climatology, Vol. 50, No. 1, 167 – 184.

Gartenamtsleiterkonferenz (GALK) (2006): Straßenbaumliste. http://www.galk.de/arbeitskreise/ak_stadtbaeume/down/li_strbaum_0607high.pdf

Hessiches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2007): Landesaktionsplan Hochwasserschutz Hessen http://www.hessen.de/irj/HMULV_Internet?rid=HMULV/HMULV_Internet/nav/e02/e0220711-8ff1-2701-be59-263b5005ae75,a3534dd4-f619-801a-3b21-7197ccf4e69f,,,11111111-2222-3333-4444-100000005002%26_ic_seluCon=a3534dd4-f619-801a-3b21-

VDI (2007): Umweltmeteorologie – Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima. Richtlinie des Vereins Deutscher Ingenieure VDI-3785 Blatt 1., Berlin.

VDI (2007b): Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft. Richtlinie des Vereins Deutscher Ingenieure VDI-3787 Blatt 5., Berlin.

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg und Amt für Umweltschutz der Stadt Stuttgart (Hrsg.) (2008): Städtebauliche Klimafibel online
http://www.staedtebauliche-klimafibel.de/

Bearbeitung:

Tobias Kemper, Robert Riechel, Tobias Schuller
TU Darmstadt
Institut IWAR
Petersenstr. 13
64287 Darmstadt

Wir bedanken uns bei der Arbeitsgruppe Siedlungsklima im Projekt Modellvorhaben der Raumordnung zur Klimaanpassung in Mittel- und Südhessen (MORO KLAMIS) unter der Leitung von Frau Dr. Kirsten Schröder-Goga (Regionalverband FrankfurtRheinMain) für ihre engagierte Mitwirkung bei der Erstellung dieser Handlungsempfehlungen:

- Suat Bischoff (Stadt Usingen)
- Hans-Georg Dannert (Stadt Frankfurt am Main)
- Dr. Barbara Früh (Deutscher Wetterdienst)
- Dr. Meinolf Koßmann (Deutscher Wetterdienst)
- Dr. Manfred Richter (Stadt Gießen)
- Bernd Rohrmann (BUND)
- Dr. Natalie Scheck (Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung)
- Gudrun Schlaf (Deutscher Wetterdienst)
- Carolin Schneider (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie)
- Sabine Swoboda (Stadt Offenbach)
- Peter Werner (Institut Wohnen und Umwelt)

Bildnachweis Titelseite:

Links oben: © Rainer Sturm / www.pixelio.de
Links unten: © Bernd Bast / www.pixelio.de
Mitte: © Alfons J. Kopf / www.pixelio.de
Rechts oben: © Oliver Haja / www.pixelio.de
Rechts unten: © DWD 2010

Druck
Kommunikationswerkstatt
Josef-Bautz-Straße 14
63457 Hanau

März 2011