



Auftraggeber:

Magistrat der Universitätsstadt Marburg
Fachdienst Umwelt, Klima- und Naturschutz



Köln, 26.09.2022

Handlungskonzept Klimaanpassung

Maßnahmen zur Verbesserung des Stadtklimas und zur Starkregenvorsorge in Marburg

must

Impressum

Das vorliegende Dokument ist Bestandteil des Klimaanpassungskonzeptes für die Universitätsstadt Marburg, welches von 2019 bis 2021 durch die GEO-NET Umweltconsulting GmbH (Hannover/Dresden) in Kooperation mit der Dr. Pecher AG (Gelsenkirchen) erarbeitet wurde.

MUST war als Unterauftragnehmer von GEO-NET Umweltconsulting mit der Erstellung eines Handlungskonzeptes betraut. In Ergänzung zu den durch GEO-NET und die Dr. Pecher AG durchgeführten Analysen zum Klimawandel und dessen Auswirkungen auf das Marburger Stadtgebiet*, zeigt das Konzept auf, welche Maßnahmen zur Klimaanpassung im Rahmen der Stadt-, Freiraum- und Gebäudeplanung in Marburg denkbar und sinnvoll sind (Kapitel 3).

In einer Fokusraumkarte für die Klimaanpassung werden Fokusräume dargestellt, in denen die Umsetzung von Maßnahmen zur Hitze- und Starkregenvorsorge in Marburg aufgrund der örtlichen Betroffenheiten besonders sinnvoll ist (Kapitel 4).

Darüber hinaus werden Hinweise gegeben, wie die Berücksichtigung von Aspekten der Hitze- und Starkregenvorsorge im Rahmen zukünftiger Planungs- und Genehmigungsverfahren (z.B. Bauleitplanung etc.) in Marburg verstetigt werden kann (Kapitel 5).

*Die Kapitel 2, 3, 4.4 und 5 basieren auf den Ergebnissen der Stadtklimaanalyse von GEO-NET sowie der Starkregengefahrenanalyse der Dr. Pecher AG.

Auftraggeberin



Magistrat der Universitätsstadt Marburg
Fachdienst Umwelt, Klima- und Naturschutz

Erstellt von



MUST Städtebau GmbH
Eigelstein 103 - 113
50668 Köln

T +49 (0)2211699 2929
mail@must.eu
www.must.eu

Bearbeitet von:
Dr. Jan Benden (Ansprechpartner)
Charlotte Lepold

in Kooperation mit



GEO-NET
Umweltconsulting GmbH
Große Pfahlstraße 5a
30161 Hannover

T +49 (0)511388 72 00
info@geo-net.de
www.geo-net.de

Bearbeitet von:
Janko Löbig (Ansprechpartner)



Dr. Pecher AG
Klinkerweg 5
40699 Erkrath

T +49 (0)2104 9396-95
holger.hoppe@pecher.de
www.pecher.de

Bearbeitet von:
Dr. Holger Hoppe (Ansprechpartner)
Hendrik Janssen

Inhalt

1. Vorwort	5
2. Marburg im Klimawandel	6
3. Auswirkungen der Klimaveränderungen im Stadtraum	8
Stadtklima	8
Starkregen	11
4. Maßnahmen zur Klimanpassung	14
4.1 Städtebauliche Maßnahmen	18
Sicherung und Verbesserung der Kaltluftzufuhr	19
Klimaangepasste Gruppierung von Gebäuden	20
Schaffung, Optimierung und Vernetzung von Grünflächen	21
(Multifunktionale) Retentionsräume	22
4.2 Maßnahmen in Freiräumen und Straßen	24
Entsiegelung von Flächen	25
Bäume und Baumrigolen	26
Mobiles Grün	28
Pflanzbeete und Grünstreifen	29
Offene Wasserflächen	30
Bewegtes Wasser	31
Erhöhung des Rückstrahlvermögens (Albedo)	32
Konstruktive Verschattungselemente	33
Versickerungsmulden und Rigolen	34
Notabflusswege	35
Unterirdische Füllkörper	36
Entschärfung von Abflusshindernissen	37
4.3 Maßnahmen an Gebäuden	38
Fassadenbegrünung	39
Dachbegrünung	40
Retentionsdächer	42
Objektschutz	43
Verschattungselemente am Gebäude	44
Farb- und Materialwahl der Gebäudehülle	45
Gebäudekühlung	46
4.4 Wirksamkeit der Maßnahmen	48
Maßnahmen zur Verbesserung des Stadtklimas	48
Maßnahmen zur Überflutungsvorsorge	50
5. Fokusräume für die Klimaanpassung	52
Fokusräume Stadtklima	53
Fokusräume für die Überflutungsvorsorge	55
6. Wege zur Umsetzung und Verfestigung	58
Grundsätze und Standards	59
Bauleitplanung	60
Stadterneuerung	63
Bauordnung	63
Finanzielle Anreize	64
Ergänzende Maßnahmen	64
Abbildungsverzeichnis	66
Literaturverzeichnis	67

1. Vorwort

Die Universitätsstadt Marburg verfolgt bereits seit einigen Jahren mit Maßnahmen in unterschiedlichen Bereichen und unter der Federführung verschiedener Fachdienste vielseitige Strategien, um den lokalen Ausprägungen und Folgen des Klimawandels entgegenzuwirken. Es werden bereits vielfältige Projekte umgesetzt, um unter anderem die Ausbildung einer innerstädtischen Hitzeinsel in den zunehmend heißer werdenden Sommern zu reduzieren. Hierzu zählen beispielweise die Entsiegelung von Flächen, die Anlage von Teichen im Stadtgebiet sowie die (finanzielle) Unterstützung von Bürger:innen bei der Dachbegrünung. Hinzu kommen Maßnahmen zum Erhalt und zur Erhöhung der Artenvielfalt in der Stadt (z.B. Anlage von Hecken, Streuobstwiesen und Blühflächen). Nicht zuletzt sind die Stadt und die Marburger Stadtwerke bereits aktiv, die starkregenbedingter Überflutungsgefahren in der Stadt zu reduzieren. So zum Beispiel wurden an einigen Orten im Stadtgebiet unterirdische Rückhalterigolen errichtet, Versickerungsanlagen an städtischen Liegenschaften angelegt sowie zahlreiche Abschnitte der Lahn aber auch anderer Nebengewässer renaturiert. Alle diese Maßnahmen verfolgen das Ziel den Niederschlagsabfluss zu reduzieren, das Regenwasser möglichst vor Ort zu bewirtschaften und Überflutungen zu vermeiden.

Dennoch ist klar, dass der Klimawandel trotz der bereits ergriffenen Maßnahmen deutliche Auswirkungen auf das lokale Klima haben wird und auch extreme Wetterereignisse, wie Starkregen und Stürme, zukünftig eine Herausforderung darstellen werden. Um diese Entwicklungen frühzeitig möglichst genau erkennen zu können und entsprechende Maßnahmen zum Schutz der Marburger Bevölkerung, der Gebäude und Infrastrukturen und auch der

Vegetation im Stadtgebiet zu ergreifen, hat sich die Stadt Marburg entschlossen mit einem Klimaanpassungskonzept noch einen Schritt weiter zu gehen. Die Modellierung der mikroklimatischen Belastungen des Stadtraums und eine kleinräumige Analyse von Überflutungs- und Überschwemmungsgefahren erlauben es der Stadt, den Folgen des Klimawandels noch gezielter und effizienter entgegenzuwirken und so nachhaltig ihre Resilienz gegenüber Klimawandelfolgen zu stärken.

Das vorliegende Handlungskonzept Klimaanpassung beschreibt zunächst kurz die Ergebnisse der in separaten Berichten ausführlich vorgestellten Stadtklima- und Starkregenanalysen. Im anschließenden Hauptteil des Konzeptes, dem Maßnahmenkatalog, werden konkrete Möglichkeiten aufgezeigt, mit welchen die Klimaanpassung zukünftig bei der Gestaltung von Quartieren, Freiräumen und Gebäuden in Marburg umgesetzt werden kann.

Zur Verknüpfung der ermittelten stadträumlichen Belastungen mit den denkbaren Maßnahmen wurde im Anschluss eine Fokusraumkarte für die Klimaanpassung erstellt. Diese stellt übersichtlich dar, welche Stadtbereiche in der Klimaanpassung aufgrund ihrer erhöhten Belastung zukünftig Priorität haben sollten. Abschließend werden noch Wege zur Umsetzung und Verfestigung der Klimaanpassung aufgezeigt, die eine weitere Integration des Themenfeldes in die Verwaltungspraxis erleichtern und fördern sollen. So kann das Handlungskonzept als an die Stadt Marburg angepasstes, räumlich-strategisches Instrument die bedeutende Querschnittsaufgabe Klimaanpassung weiter etablieren und effektivieren.



2. Marburg im Klimawandel



Die heute bereits in Marburg spürbaren und zukünftig zu erwarteten Auswirkungen des Klimawandels wurden als eine der wesentlichen Grundlage des Klimaanpassungskonzepts zu Projektbeginn untersucht. Die Ergebnisse zum erwarteten Klimawandel stützen sich auf ein Modellensemble der EURO-CORDEX-Initiative, das die RCP-Szenarien des Weltklimarates (IPCC) als verschiedene Entwicklungspfade der Treibhausgas-Emissionen berücksichtigt.

Die Auflösung regionaler Klimamodelle hat sich in den

letzten Jahren so weit erhöht, dass für die Stadt Marburg Aussagen getroffen werden können, wie sich der Klimawandel auf verschiedene Parameter (Temperatur, Trockenheit, Niederschlag, Wind) oder das Auftreten bestimmter Extremereignisse auswirkt (Hitzeperioden, Starkregen, Sturm). Innerhalb Marburgs erlauben die regionalen Klimamodelle keine weitere Differenzierung der Klimawandelfolgen. Im Rahmen des Klimaanpassungskonzepts werden mit der Stadt klima- und Starkregenanalyse jedoch gesonderte Untersuchungen vorgenommen,

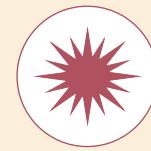
die hochaufgelöste Ergebnisse für das gesamte Marburger Stadtgebiet erlauben (siehe Kap. 3).

Die Auswertung der projizierten klimatischen Änderungen zeigt für die Jahresmitteltemperaturen einen signifikanten Anstieg bis zum Ende des Jahrhunderts. Die mit dem Temperaturanstieg einhergehende Erwärmung wirkt sich auch auf die Anzahl der thermischen Kenntage in Marburg aus. So werden Sommertage, Heiße Tage und Tropennächte deutlich zunehmen, während Frost- und Eistage seltener vorkommen. Weiterhin gibt es Hinweise, dass die Häufigkeit und Intensität von Hitzeperioden vermutlich zunimmt.

Die jährlichen Niederschlagsmengen tendieren im Schnitt ebenfalls zu einem moderaten Anstieg. Dabei zeigen sich auffällige Änderungen in der innerjährlichen Niederschlagsverteilung mit einer Tendenz zu geringeren Niederschlagsmengen im Sommer sowie höheren im Winter und Frühjahr. Die Temperaturzunahme bewirkt zudem zunehmende Verdunstungsraten, die vornehmlich in den Sommermonaten zu einer Abnahme der klimatischen Wasserbilanz und somit zu einem Rückgang des natürlichen Wasserdargebots führen können. Im Zusammenhang mit der Temperaturzunahme, der Verlängerung von Hitzeperioden und der erkennbaren Niederschlagsverschiebung muss besonders in den Sommermonaten zunehmend mit erhöhter Trockenheit gerechnet werden.

Starkregenereignisse ($N \geq 30 \text{ mm/d}$) zählen zu den seltenen Ereignissen und sind somit statistisch nur unzureichend beschreibbar. Die regionalen Klimamodelle projizieren für die Zukunft jedoch tendenziell eine zunehmende Auftrittshäufigkeit.

Auch Stürme können von den regionalen Klimamodellen für kleinräumige Analysen nicht immer ausreichend abgebildet werden und sind, genauso wie Starkniederschläge, aufgrund ihres seltenen Auftretens nur bedingt statistisch auswertbar. Unabhängig davon ist die bereits heute beobachtbare Sturmtätigkeit ein ernst zu nehmender und nicht zu unterschätzender Faktor. Die Änderungen der Auftrittshäufigkeit von Stürmen sind sehr gering und statistisch nicht signifikant. Dies schränkt die Belastbarkeit der Aussagen deutlich ein. Eine durch die zunehmende Erwärmung aufgeheizte Atmosphäre deutet jedoch darauf hin, dass es in Zukunft zu besseren Wachstumsbedingungen für starke Zyklen kommen kann und somit zu potenziell stärkeren Stürmen. Dies hätte eine Zunahme der Sturmaktivität über Westeuropa zur Folge.



TEMPERATURZUNAHME & HITZE

- **Zunahme der Jahresmitteltemperaturen**
Anstieg der Jahresmitteltemperaturen um bis zu 4,7 K bis 2100
- **Häufigere und intensivere Hitzeperioden**
Mehr Heiße Tage (+3 bis +31 Tage/Jahr bis 2100), höhere Maximaltemperaturen, mehr Tropennächte (bis zu +12 Tage/Jahr bis 2100)
- **Mildere Winter**
Rückgang der Frosttage von 89 auf 23 - 74 Tage/Jahr bis 2100, Rückgang der Eistage von 20 auf bis zu 1 Tag/Jahr bis 2100



NIEDERSCHLAGSVERSCHEIBUNG & TROCKENHEIT

- **Moderate Zunahme des Jahresniederschlags**
Im Mittel ca. 2 - 9 % höhere Jahrestypen bis 2100 (derzeit ca. 660 mm/Jahr)
- **Zunehmende Sommertrockenheit**
Verschiebung der innerjährlichen Niederschlagsverteilung: leichte Zunahme der Niederschlagsmengen im Winter und Frühjahr, Abnahme der Sommerniederschläge



STARKREGEN

- **Häufigeres Auftreten von Starkregenereignissen**
Zunahme von Starkniederschlägen > 30 mm/d um bis zu 2 Ereignisse pro Jahr bis 2100
- **Moderate Zunahme der Intensität von Starkregenereignissen**



WIND UND STURM

- **Mittlere Windgeschwindigkeiten werden sich eher nicht ändern**
- **Auftrittshäufigkeit und Intensität von Sturmereignissen tendenziell unverändert**
Auch wenn die Projektionen der Auftrittshäufigkeit von Stürmen sehr unsicher sind und sich diese teilweise nicht ändern, wird es auch zukünftig starke bis extreme Sturmereignisse geben.



3.

Auswirkungen der Klimaveränderungen im Stadtraum



Stadtklima

Städte haben ein eigenes Klima, das maßgeblich durch die Bebauungsstruktur und Stadtgröße bestimmt wird. Insbesondere in Sommernächten bildet sich eine sogenannte Städtische Wärmeinsel aus, d.h. höhere Temperaturen im Vergleich zum weitgehend natürlichen Umland. Dieser Wärmeinseleffekt tritt räumlich differenziert auf, d.h. bestimmte Bereiche innerhalb des Stadtgebietes können deutlich stärker überwärmst sein als andere. Um diese Hot-spots in Marburg genauso wie bedeutende Grünflächen

mit kühlender Wirkung zu identifizieren, wurde eine modellgestützte Stadtklimaanalyse durchgeführt.

Grundlagen der Klimamodellierung

Für die Stadtklimaanalyse wurde das Modell FITNAH-3D in einer hohen räumlichen Auflösung von 10 m genutzt. Als Eingangsdaten benötigt das Modell Informationen bspw. zur Landnutzung, Strukturhöhe und der Geländehöhe. Zudem wird dem Modell ein meteorologischer Rahmen in Form einer sommerlichen Strahlungswetterlage vorgegeben (keine Bewölkung, kein übergeordneter

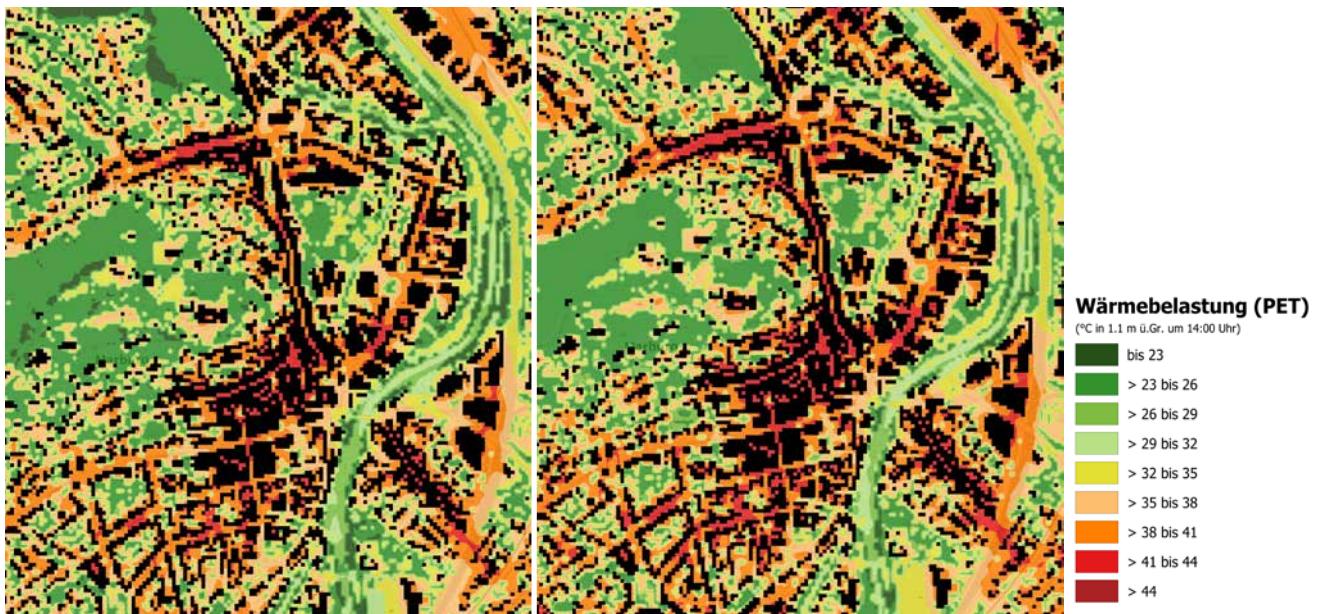


Abb. 1a (links): Status quo (verkürzte Legende, Hintergrundkarte: TopPlusOpen (BKG))

Abb. 1b (rechts): Szenario Schwacher Klimawandel (verkürzte Legende, Hintergrundkarte: TopPlusOpen (BKG))

Luftaustausch). Eine solche „autochthone Wetterlage“ tritt jeden Sommer regelmäßig auf und führt typischerweise zu hohen thermischen Belastungen, sodass sie bei stadtclimatologischen Untersuchungen im Fokus steht. Im Ergebnis stellt die Klimamodellierung das derzeitige klimatische Geschehen in Marburg sowohl am Tag als auch in der Nacht flächenhaft für das gesamte Stadtgebiet dar. Darüber kann das zukünftige Stadtklima in Marburg durch das Modell abgebildet werden. Dazu wurden zwei weitere Modellrechnungen mit dem Bezugsjahr 2035 durchgeführt, die einerseits die Auswirkungen des Klimawandels und andererseits die mögliche Umsetzung verschiedener Stadtentwicklungsvorhaben berücksichtigen. Das Bezugsjahr ergibt sich als Mitte der gewählten Periode 2020–2050 als sogenannte „nahe Zukunft“ (Klimaänderungen werden i.d.R. auf 30-jährigen Perioden bezogen).

Die aktuelle Klimaforschung ermöglicht immer genauere Prognosen zu den Auswirkungen des Klimawandels, doch kann nicht vorhergesagt werden, wie sich das Klima tatsächlich ändert. Daher wurde für Marburg der günstigste und ungünstigste Prognosefall in den zwei Szenarien „schwacher Klimawandel“ und „starker Klimawandel“ untersucht¹ – denn es gilt als äußerst wahrscheinlich, dass die real eintretenden Klimaänderungen innerhalb dieser Szenarien liegen werden. Bis zum Bezugsjahr 2035 wird sich Marburg auch städtebaulich verändern. Dafür wurde mit der Stadt Marburg eine Flächenkulisse möglicher Entwicklungsflächen abgestimmt, die Wohn- und

Gewerbeentwicklungen in B-Plan-Gebieten sowie Potenzialflächen aus dem Flächennutzungsplan umfassen. Im Klimamodell wurde die exemplarische Bebauung dieser möglichen Entwicklungsflächen umgesetzt, sodass die stadtclimatologischen Auswirkungen jeder Fläche bewertet werden können.

Modellergebnisse und Klimaanalysekarte

Als Maß für die Wärmebelastung am Tag wird die PET betrachtet (Physiologisch Äquivalente Temperatur). Neben der Temperatur berücksichtigt die PET die Sonneneinstrahlung, Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit und kann, vereinfacht ausgedrückt, als gefühlte Temperatur verstanden werden. Die Wärmebelastung wird stark von der Sonneneinstrahlung bzw. Verschattung gesteuert, sodass die geringsten Werte in Wäldern oder mit Bäumen bestandenen Grünflächen zu finden sind (bspw. um den Schlosspark, Grünzüge am Richtsberg; Abb. 1a). Auch begrünte Innenhöfe oder Parks (bspw. Alter Botanischer Garten) treten als Bereiche mit geringer Wärmebelastung hervor und eignen sich an heißen Sommertagen als Rückzugsorte für die Bevölkerung. Je nach Bebauungsdichte und Grünanteil weisen die Marburger Siedlungsräume mäßige bis starke Wärmebelastungen auf (gelb bis orange). Die höchsten Werte sind im Straßenraum und auf versiegelten Plätzen und Gewerbegebäuden zu finden (rot). Unter der Annahme eines Sommertags ohne Bewölkung zeigen auch unversiegelte Freiflächen hohe Wärmebelastungen

1 Im Klimamodell werden die beiden Klimawandel-Szenarien durch geänderte Rahmenbedingungen umgesetzt. Im Szenario „schwacher Klimawandel“ startet das Modell mit einer um 0,8 °C höheren Ausgangstemperatur, was der Änderung der Sommertemperatur im RCP-Szenario 2.6 zwischen den Perioden 2020–2050 (Bezugsjahr 2035) und 1971–2000 (Referenzperiode) entspricht. Das Szenario „starker Klimawandel“ beruht auf dem RCP-Szenario 8.5 mit einer um 1,9 °C erhöhten Ausgangstemperatur. In beiden Klimawandel-Szenarien wird zu Modellbeginn eine geringere Bodenfeuchte infolge der zunehmenden sommerlichen Trockenheit angenommen.

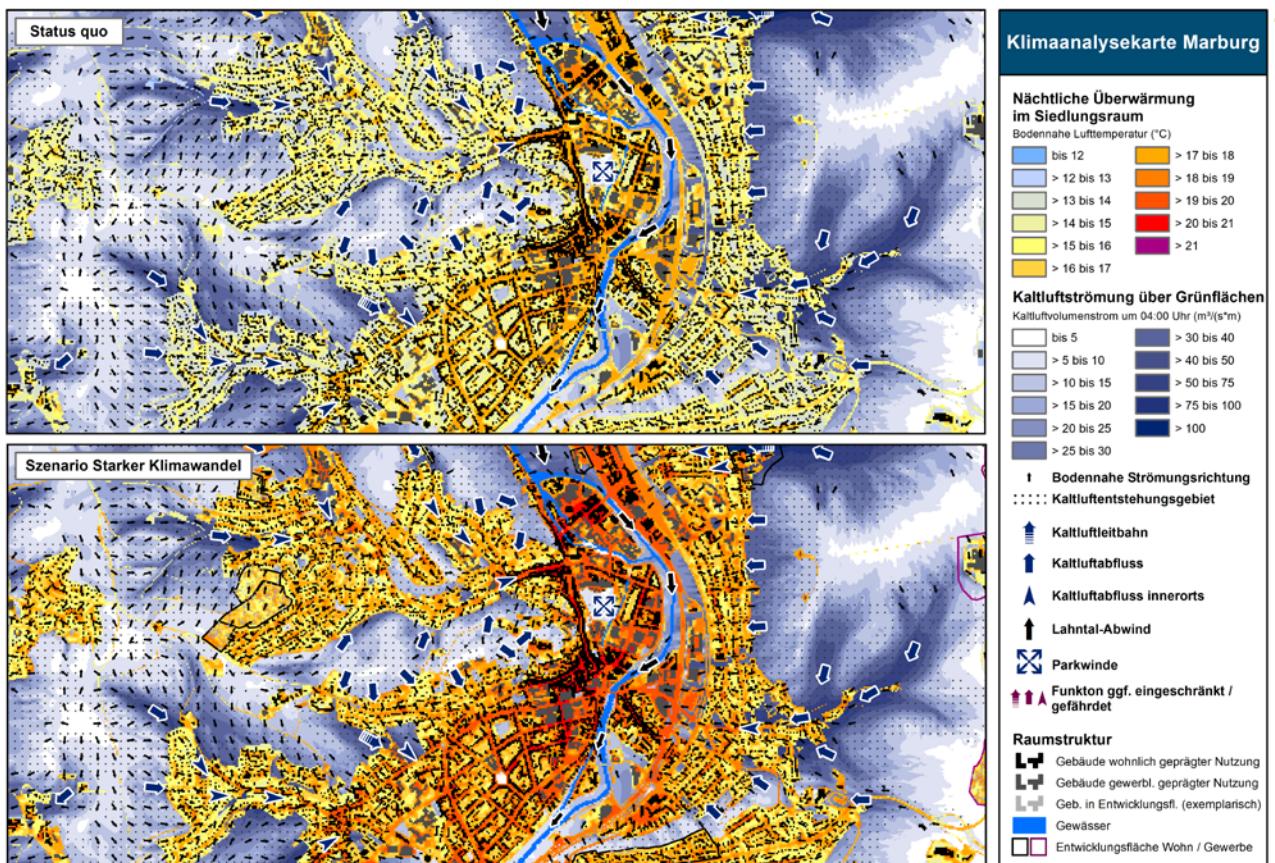
(bspw. Ackerland), wobei diese Flächen ohnehin nicht für den Aufenthalt der Bevölkerung gedacht sind. Infolge des Klimawandels nimmt die PET in Marburg flächenhaft zu, begrünte Flächen bleiben aber wichtige Ausgleichsräume mit geringer Wärmebelastung (Abb. 1b).

In der Klimaanalysekarte werden die wichtigsten nächtlichen klimatischen Prozesse zusammengefasst (Abb. 2 oben). Im Laufe der Nacht kühlen sich unbebaute Freiflächen stark ab und können mit ihrer Kühlwirkung und als Kaltluftentstehungsgebiete wichtige stadtökologische Funktionen bereitstellen. Der Marburger Siedlungsraum zeigt eine deutliche nächtliche Überwärmung, die in der Spur zu 5 – 7 °C höheren Temperaturen als im Umland führt (Wärmeinseleffekt). Dabei treten insb. die Kernstadt mit ihrer dichten Bebauung und Gewerbegebiete aufgrund ihres hohen Versiegelungsgrades als stark überwärmte Bereiche hervor, während Wohngebiete ein überwiegend mittleres und in aufgelockerter Bauweise an den Hangbereichen sogar geringes Belastungsniveau aufweisen. Zwischen dem kühleren Umland und dem Siedlungsraum können sich lokale Ausgleichsströmungen bilden, die in Marburg reliefbedingt vor allem als Hangabwinde auftreten. Für den Siedlungsraum besonders wichtige Ausgleichsströmungen sind in der Klimaanalysekarte als „Kaltluftabflüsse“

gekennzeichnet (bspw. vom Dammelsberg, Ortenberg oder Eselsgrund). Die Kaltluftabflüsse können sich über zusammenhängende Grünzüge als „Kaltluftleitbahnen“ oder im Bereich aufgelockerter Bebauung an den Hängen als „innerörtliche Kaltluftabflüsse“ fortsetzen und eine Kaltluftzufuhr bis weit in den Siedlungsraum erlauben. Aus größeren innerörtlichen Grünflächen wie dem Alten Botanischen Garten können sich zudem kühlende Ausgleichsströmungen in die umliegende Bebauung einstellen („Parkwind“). Der aus früheren Untersuchungen bekannte „Lahntal-Abwind“ ist als weiteres für Marburg wichtiges Strömungssystem hervorgehoben.

Durch den Klimawandel erhöht sich die nächtliche Temperatur in Marburg, wobei die Unterschiede zwischen verschiedenen Bebauungsstrukturen bestehen bleiben (Abb. 2 unten). Heute bereits überwärmte Bereiche treten auch in Zukunft als (nochwärmere) Hotspots auf, trotz Temperaturzunahme wird es jedoch weiterhin Siedlungsräume mit geringem Belastungsniveau geben. Auf die Kaltluftströmung wirkt sich der Klimawandel nur in geringem Maße aus. Diese wird vor allem durch die Bebauungsstruktur beeinflusst.

Abb. 2: Klimaanalysekarte Marburg.



Planungshinweiskarte Stadtklima

Die hochaufgelösten Ergebnisse der Modellrechnung sind die Basis der Marburger Stadtklimaanalyse und erlauben genaue Aussagen zu den Klimaparametern verschiedener Flächen. Für planerische Fragestellungen noch wichtiger ist die Übersetzung der Ergebnisse in stadtklimatische Bewertungen, Empfehlungen und Hinweise. Die Belange weiterer Fachplanungen werden dabei nicht berücksichtigt, d.h. die Ergebnisse stellen aus klimafachlicher Sicht gewonnenes Abwägungsmaterial dar. In einem ersten Schritt werden Bewertungskarten für den Tag und die Nacht erstellt, in denen Siedlungs- und Verkehrsflächen als stadtklimatischer „Wirkraum“ hinsichtlich ihrer bioklimatischen Situation eingestuft sind (bspw. günstige oder sehr ungünstige Situation). Grün- und Freiflächen, landwirtschaftliche Flächen sowie Wälder gelten als stadtklimatischer „Ausgleichsraum“ und werden nach ihrer stadtklimatischen Bedeutung unterteilt. Die stadtklimatische Bedeutung der Flächen richtet sich dabei nach ihrer Funktion für den bestehenden Siedlungsraum, also bspw. ob eine Fläche für die Kaltluftversorgung von Wohngebieten wichtig ist oder durch Verschattung eine hohe Aufenthaltsqualität an heißen Tagen bietet.

Sämtliche Informationen, also die Bewertungen am Tag und in der Nacht sowie der heutigen Situation und der beiden Klimawandel-Szenarien, werden schließlich in einer Planungshinweiskarte Stadtklima zusammengefasst, die zudem klimafachliche Empfehlungen und Hinweise zu den Entwicklungsflächen enthält. Für das vorliegende Handlungskonzept werden die zentralen Inhalte der Planungshinweiskarte in die Fokusraumkarte Klimaanpassung abstrahiert, um Fokusräume für Maßnahmen zur Hitzevorsorge (Siedlungsflächen mit der höchsten Handlungspriorität) und Fokusräume wertvollen Freiraums (Ausgleichsraums mit dem höchsten Schutzbedarf) in Marburg auf einen Blick identifizieren zu können (vgl. Kap. 4). Die Planungshinweiskarte Stadtklima und die damit verbundenen Bewertungskarten sowie sämtliche Ergebnisse und methodischen Grundlagen der Stadtklimaanalyse werden in einem separaten Bericht erläutert.

Starkregen

Neben den Betroffenheiten durch die Veränderung des Mikroklimas², insbesondere zunehmende Hitze und Trockenheit, steigen die Herausforderungen für Marburg in Folge von veränderten Niederschlagsverteilungen und

-häufigkeiten. Starkniederschläge, sogenannte Stark- oder Extremregen, zeichnen sich durch eine hohe Intensität aus, d. h. eine große Niederschlagssumme im Verhältnis zur Dauer. Insbesondere Starkniederschläge kurzer Dauer können Sturzfluten nach sich ziehen, während anhaltende Niederschläge über mehrere Tage Flusshochwasser verursachen können (Rauthe et al. 2014). Wie die Ereignisse aus 2021 im Ahrtal und Wuppertal zeigen, können sich die Ursachen und Wirkungen auch überlagern und verstärken.

Für die Analyse der starkregenbedingten Überflutungen in Marburg wurden die zur Verfügung stehenden Grundlagendaten hinsichtlich jener Bereiche ausgewertet, in denen die Auswirkungen der Starkniederschläge besonders spürbar sein können. Der Fokus lag dabei auf der Starkregenvorsorge für das gesamte Stadtgebiet und der Darstellung sowie Risikobewertung von Flächen, auf denen örtlich mit großflächigen Überflutungen zu rechnen ist. Daneben spielen auch Hauptfließwege eine wichtige Rolle, welche sich lokal – je nach Topografie – mit gefährlich hohen Fließgeschwindigkeiten bilden und örtlich zu Erosionsvorgängen führen können. Im Rahmen des Projekts wurden, aufbauend auf einer Bestandsaufnahme, die Grundlage für ein ganzheitliches Starkregenrisikomanagement geschaffen. Dieses beinhaltet eine Gefährdungsanalyse, eine Risikoanalyse sowie die Konzeptentwicklung, wobei alle drei Schritte aufeinander aufbauen und jeweils spezifische Produkte hervorbringen. Es wurden dabei insbesondere Maßnahmen betrachtet, die verschiedene Handlungsfelder der Stadtregevorsorge abdecken. Die im Rahmen der Gefährdungsanalyse erstellten Starkregen Gefahrenkarten wurden in der Risikoanalyse bewertet, um Risikokarten zu erzeugen.

Grundlagen der Gefährdungsanalyse

Für die Gefährdungsanalyse in Hinblick auf Starkregen wurde ein Geländemodell mit einer räumlichen Auflösung von 1x1m verwendet. Der Fokus lag auf dem hydrologischen Einzugsgebiet des Stadtgebietes, welches bei urbanen Sturzfluten von Relevanz ist (insb. wegen Außengebietzuflüssen). In das Geländemodell wurden anschließend die Gebäude im Stadtgebiet als Fließhindernisse integriert und so ein rund 148 km² großes digitales Höhenmodell erzeugt. Zusätzlich zu den Höhen benötigt das Modell zur Simulation der Fließwege und Wasserstände Informationen über die Oberflächeneigenschaften. Dazu wurden differenziertere Oberflächenrauheiten, die die Abflusskonzentration – also die Geschwindigkeit und Bildung von Fließwegen – beeinflussen, definiert. Die Zuordnung der Parameter

2 Mit Mikroklima ist das spezielle Klima eines Areals gemeint, das sich in den bodennahen Luftsichten ausbildet und stark von den vorhandenen Oberflächen (Untergrund, Bewuchs, Bebauung), z.B. deren Rauigkeit und thermischen Eigenschaften, beeinflusst ist (DWD).

erfolgte auf Grundlage von Flächeneigenschaften, wie bspw. der Flächennutzung. Auf Grundlage der Flächennutzung wurde auch die Abflussminderung durch die Versickerungsfähigkeit des Bodens abgebildet. Diese wurde in drei unterschiedliche Klassen eingeteilt und die Wirkung im Rahmen der Simulationsstudien bewertet, indem Berechnungen mit und ohne Versickerungsansatz durchgeführt wurden. Durch das Hinzufügen von Gewässerverrohrungen, Durchlässen und Fließhindernissen wurde das Oberflächenmodell anschließend auf Grundlage von Testrechnungen weiter optimiert. Die Leistungsfähigkeit des Kanalnetzes wurde vereinfacht als weitere Randbedingung berücksichtigt. Dafür wurden Verlustansätze für Flächen herangezogen, die an das Kanalnetz angeschlossen sind. Darüber hinaus wurden mittels der Kanalnetzmodellierung berechnete Überstauvolumina als Quellen von sich an der Oberfläche befindlichem Wasser in der Simulation berücksichtigt. Grundlage hierfür war eine kombinierte Betrachtung von Kanalnetzabflüssen und Oberflächenabflüssen (HSB, 2017). Dabei ist zu berücksichtigen, dass Kanalnetze i.d.R. nicht für die hier betrachteten Lastfälle dimensioniert werden – insbesondere nicht für extreme Starkregen.

Mit dem aufgebauten und optimierten Modell konnten anschließend verschiedene Niederschlagsbelastungen und Modellparametrisierungen simuliert werden. Dazu wurden als Niederschlagsbelastungen ein intensives (30-jährliches), ein außergewöhnliches (100-jährliches) und ein extremes Starkregenereignis ($h_N = 90 \text{ mm/h}$) ausgewählt. Da in Starkregenrisikomanagementprojekten kurze und intensive Niederschläge betrachtet werden, wurden eine Niederschlagsdauer von $D = 60\text{min}$ und eine Nachlaufzeit $DN=60\text{ min}$ verwendet. Insbesondere das extreme Ereignis mit einer Niederschlagshöhe von 90 mm wurde verwendet, um eine große Bandbreite an möglichen Niederschlagsergebnissen im Rahmen der Gefährdungsanalyse zu berücksichtigen und um zu zeigen, welche Gefährdungspotentiale sich ergeben. Eine sichere Aussage darüber, welcher Niederschlag mit welcher Intensität wann fällt, kann zwar nicht getroffen werden, gleichzeitig gab es aber in der Vergangenheit schon extreme Ereignisse kurzer Dauerstufen, welche sich insbesondere in konvektive Wetterlagen ergeben. Dazu zählen bspw. die Ereignisse in Wuppertal (2018), Dortmund (2020) oder Münster, wo 2014 rund 290 mm Niederschlag innerhalb von sieben Stunden fiel. Bei Niederschlägen mit längeren Dauerstufen sind die Grenzen zwischen Hochwasser- und Starkregenvorsorge unscharf: Überflutungen in Folge langanhaltender Niederschläge werden eher durch das Hochwasserrisikomanagement abgebildet. Gleichwohl sind durch die Verwendung der 90 mm-Niederschlagsbelastung auch jene Überflutungsflächen im Modell

erkennbar, die gleichermaßen durch ein „Hochwasser kleiner Gewässer“ hervorgerufen werden können. Auch für die Ereignisse 2021 aus NRW und Rheinland-Pfalz lassen sich nicht in allen Räumen klare Zuordnungen zu Starkregen- und Hochwasser treffen. Für alle drei Lastfälle wurde die Oberflächenabflusssimulation für verschiedene, aufeinander aufbauende Szenarien durchgeführt, um Einflussfaktoren spezifisch beurteilen zu können. Es wurde jeweils mit und ohne Berücksichtigung der Versickerungsleistung des Bodens sowie mit oder ohne vereinfachte Betrachtung des Kanalnetzes simuliert.

Modellergebnisse und Starkregen gefahrenkarten

Aus der Oberflächenabflusssimulation konnten Fließwege, maximale Fließgeschwindigkeiten und maximale Wasserstände für die angesetzten Niederschlagsbelastungen ermittelt werden. Während bei einem Hochwasser die Gefahr einer Überschwemmung vom Gewässer ausgeht, kann die Gefahr einer Überflutung in Folge von Starkniederschlägen auch weit ab vom Gewässer bestehen. Schäden können dort entstehen, wo das Kanalnetz überlastet ist und das Wasser aus dem Kanal auf die Geländeoberfläche überstaut oder nicht mehr in das Kanalnetz eintreten kann, oder auch dort, wo abfließendes Niederschlagswasser sich in Hauptfließwegen, Mulden und Senken sammelt und erosive Schäden anrichten kann.

Mit Hilfe der Starkregen gefahrenkarten werden verschiedene Niederschlagslastfälle aufgezeigt und potenzielle Gefährdungsbereiche identifiziert. Dafür werden die maximal auftretenden Wassertiefen in Folge von Überflutungen bei Starkregen in Metern farblich abgestuft gekennzeichnet. Abb. 4 stellt eine Übersichtskarte der maximalen Überflutungstiefen für ein Szenario dar. Darüber hinaus zeigen Fließpfeile qualitativ die Fließrichtung und Fließgeschwindigkeit oberflächlich abfließenden Regenwassers an. Zudem wurden auch Starkregen gefahrenkarten erzeugt, die die Ausprägung der maximalen Fließgeschwindigkeiten in der Simulation zeigen. Die Starkregen gefahrenkarten zeigen damit stadtgebietsweite Bereiche, an denen bei Starkregen eine Gefahr durch hohe Fließgeschwindigkeiten oder Wassertiefen existieren. Neben der Funktion der Informationsvorsorge und Gefahrenkommunikation können damit zielgerichtete Planungsschritte zur Konzeption und Umsetzung von technischen und/oder organisatorischen Maßnahmen zur kommunalen und privaten Überflutungsvorsorge unterstützt werden.

In Marburg spiegeln die Starkregen gefahrenkarten den Einfluss der Topografie wider. Im Westen transportiert das nord-süd-verlaufende Einhauser Wasser bei Starkregen große Abflüsse, und kann fluviale Überflutungen in den

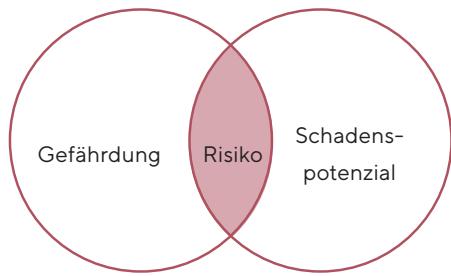


Abb. 3: Ermittlung des Risikos aus Überlagerung der Überflutungsgefährdung und des Schadenspotenzials

Siedlungsgebieten (z.B. Einhausen) verursachen. Ähnlich verhält es sich mit der durch das Stadtzentrum nach Süden fließenden Lahn, die bspw. im Ortsteil Cappel große fluviale Überflutungen verursacht. Die Gewässerachsen sind in Abb. 4 deutlich erkennbar. Diese Gefahr durch die Gewässer wird auch durch die bestehende Hochwassergefahrenkarte visualisiert. Bei Starkregen sind besonders die Fließprozesse in Richtung der beiden Gewässer von Bedeutung. Weiterhin ergeben sich – bedingt durch die Topografie – weitere, kleinere Abflussachsen, sog. Hauptfließwege des Regenwassers. Zum einen rufen die Erhöhungen des Marburger Berglandes große Abflusswege aus den Außengebieten in Richtung der besiedelten Gebiete an der Lahn (z.B. Cappel, Südviertel, Weidenhausen) sowie am Elnhauser Wasser (z. B. Hermershausen, Einhausen) hervor. Dazu gehören die Lahnberge (Bernsdorfer Kuppe, Ortenberg, Stempel, Ulrichsberg, Rote Mark) im Osten des Stadtcores sowie der Marburger Rücken (Rickshell, Vogelheerd, Schneiße) im Westen. Weiterhin verstärken

hohe Versiegelungsgrade und enge Bebauungsstrukturen sowie kleinere Außengebiete westlich der Kernstadt (Oberstadt, Südviertel) großräumige Abflusswege, die auf unversiegelten Flächen Oberflächenerosionen hervorrufen und lokale Schäden anrichten können. Je nach topografischen, innerstädtischen Gegebenheiten können sich die Abflüsse in lokalen Tiefpunkten sammeln und zu großflächigen Überflutungen im Stadtgebiet führen.

Risikoanalyse

Aufbauend auf der Gefährdungsanalyse und den erstellten Starkregengefahrenkarten wurde für die drei Lastfälle eine Risikoanalyse mit Risikokarten erstellt, welche die Themen Gefährdung und Schadenspotenzial behandelt. Dabei ergibt sich das Risiko durch die Verschneidung der durch Starkregen verursachten Gefährdung (bspw. maximale Wassertiefen an einem Gebäude) mit dem Schadenspotenzial (z. B. des Gebäudes) (Abb. 3).

Im Rahmen der stadtgebietsweiten Analyse konnte das Schadenspotenzial in Anlehnung an DWA-M 119 aus den zugrundeliegenden Nutzungsklassen der Gebäude ermittelt werden (DWA, 2016). So konnten nicht nur Erkenntnisse darüber gewonnen werden, wo Betroffenheiten infolge von Starkregen auftreten können, sondern auch, welche Infrastrukturen besonders betroffen sind: Die Gebäudenutzungen wurden anhand der zur Verfügung stehenden ALKIS-Daten (z. B. Parkhaus, Wohngebäude, Verwaltungsgebäude, Kirche) kategorisiert.

Überflutung bei Starkregen

max. Wassertiefe

- < 0,10 m
- 0,10 m bis 0,30 m
- 0,30 m bis 0,50 m
- 0,50 m bis 1,00 m
- > 1,00 m

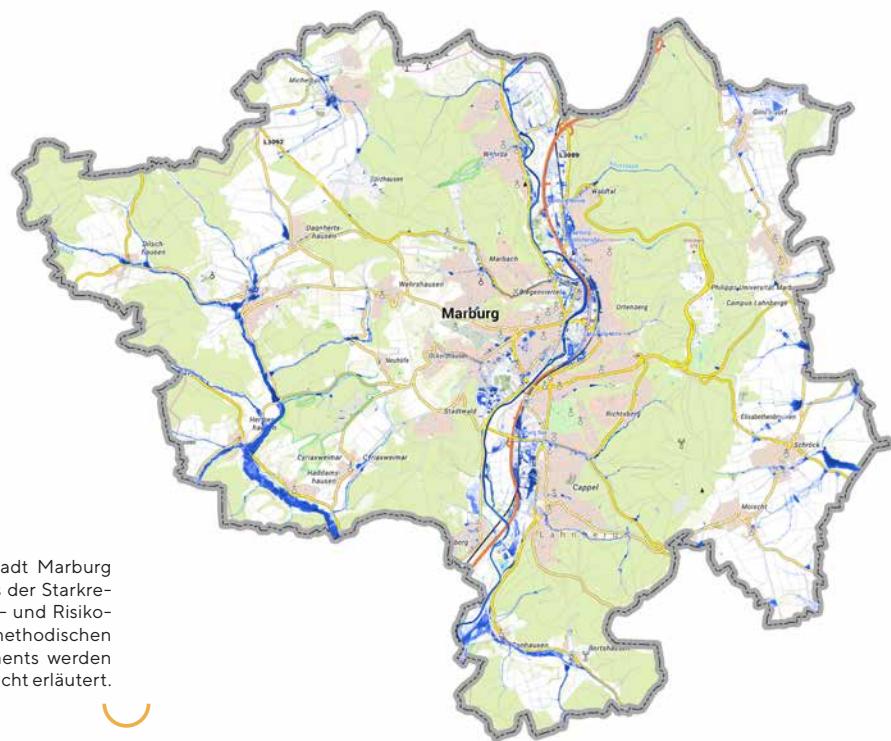


Abb. 4: Übersichtskarte der Universitätsstadt Marburg mit eingeblendeten Überflutungstiefen aus der Starkregengefahrenkarte. Die Starkregengefahren- und Risikokarten sowie sämtliche Ergebnisse und methodischen Grundlagen des Starkregenrisikomanagements werden in einem separaten Bericht erläutert.



4. Maßnahmen zur Klimaanpassung

C

Der folgende Maßnahmenkatalog zeigt konkrete Möglichkeiten auf, mit denen die Klimaanpassung zukünftig bei der Gestaltung von Quartieren, Freiräumen und Gebäuden in Marburg umgesetzt werden kann. Die systematische Zusammenstellung in diese drei Kategorien soll eine Einbringung in den jeweiligen Planungskontext erleichtern und eine schnelle und allgemeine Übersicht über die denkbaren Lösungsansätze bieten. Welche Maßnahmen in welchem Umfang und in welcher Kombination am konkreten Ort sinnvoll sind, muss anhand der standort- und

projektspezifischen Gegebenheiten entschieden werden. Besonders wertvoll sind vor allem „no-regret¹-Maßnahmen“, die – jenseits ihrer Effekte für die Klimaanpassung – einen direkten Qualitätsgewinn für die Stadt bedeuten, in dem sie attraktive Aufenthaltsräume schaffen oder das Marburger Stadtbild aufwerten. Für die mikroklimatische Optimierung des Siedlungsbestandes kann bei städtebaulichen Umstrukturierungen oder im Zuge einer Nachverdichtung das Prinzip der „doppelten Innenentwicklung“

1 Deutsch: kein Bedauern

verfolgt werden. Dabei wird die Verdichtung des Bauvolumens und Erhöhung der funktionalen Diversität innerhalb eines Quartiers stets mit der Schaffung und Qualifizierung von Grün- und/oder Wasserflächen verknüpft.

Die Maßnahmen werden im Folgenden in Steckbriefen erläutert, die, neben einer Beschreibung der Lösungsansätze, Hinweise geben, welche Synergiepotenziale sich mit anderen Maßnahmen oder sonstigen Aktivitäten ergeben sowie welche Räume sich in Marburg besonders für die Umsetzung der Maßnahmen anbieten. Zudem werden zur Orientierung Referenzen und gute umgesetzte Beispiele (vorzugsweise aus Hessen) benannt.

Die dargestellten Maßnahmen sprechen vor allem die durch den Klimawandel zu erwartenden Belastungen durch Hitze und Starkregen an. Einige der Maßnahmen eignen sich zur Anpassung an beide Wirkkomplexe.



Hitzevorsorge

Maßnahmen zur Hitzevorsorge bewirken eine Verbesserung des Mikroklimas und des thermischen Komforts. Sie zielen darauf ab, die Ausprägung der städtischen Wärmeinsel zu reduzieren. Dies gelingt vor allem durch Maßnahmen zur Kaltluftzufuhr, zur Begrünung und zur Verschattung. Viele Maßnahmen zur Hitzevorsorge entfalten Synergien mit der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung im Sinne der „Schwammstadt“. Darunter versteht man den gezielten Rückhalt, die Speicherung und Nutzung des lokal anfallenden Niederschlagswassers. Dies verbessert den lokalen Wasserkreislauf und bewirkt eine höhere Wasserverfügbarkeit in Trockenperioden, wodurch bei Hitze die Transpirationskühlung durch die Vegetation erhöht und Trockenstress verringert werden kann (siehe Abb. S. 16-17).



Starkregenvorsorge

Maßnahmen zur Starkregenvorsorge verringern die Überflutungsgefahr bei extremen Niederschlägen und mindern das Risiko von Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen. Durch eine gezielte Ableitung, durch einen temporären Rückhalt des Wassers sowie durch konkrete Objektschutzmaßnahmen kann ein unkontrollierter oberflächlicher Abfluss des Niederschlagswassers und Überflutungen infolge einer Überlastung des Kanalnetzes vermieden werden.

Maßnahmenübersicht

Städtebauliche Maßnahmen

- Sicherung und Verbesserung der Kaltluftzufuhr
- Klimangepasste Gruppierung von Gebäuden
- Schaffung, Optimierung und Vernetzung von Grünflächen
- (Multifunktionale) Retentionsräume

Maßnahmen in Straßen und Freiräumen

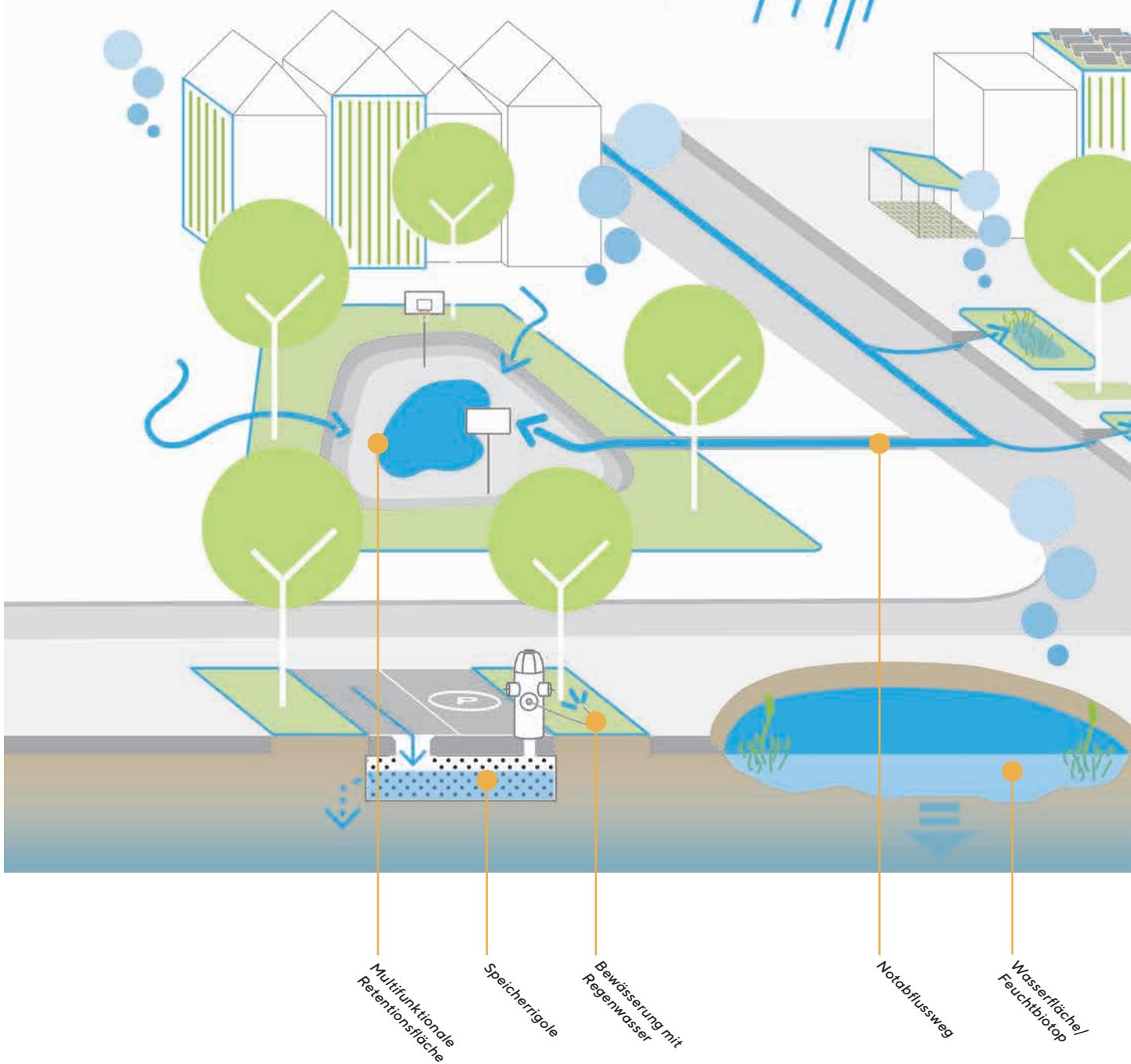
- Entsiegelung von Flächen
- Bäume und Baumrigolen
- Mobiles Grün
- Pflanzbeete und Grünstreifen
- Offene Wasserflächen
- Bewegtes Wasser
- Erhöhung des Rückstrahlvermögens (Albedo)
- Konstruktive Verschattungselemente
- Versickerungsmulden und -rigolen
- Notabflusswege
- Unterirdische Füllkörper
- Entschärfung von Abflusshindernissen

Maßnahmen an Gebäuden

- Fassadenbegrünung
- Dachbegrünung
- Retentionsdächer
- Objektschutz
- Verschattungselemente am Gebäude
- Farb- und Materialwahl der Gebäudehülle
- Gebäudekühlung

Exkurs: Schwammstadt

Die Grafik illustriert das Prinzip der **Schwammstadt**: die städtische Oberfläche wird dabei so gestaltet, dass ein Großteil des anfallenden Niederschlags lokal zurückgehalten werden kann – wie ein „Schwamm“ saugt der Stadtraum das Wasser auf, speichert es und ist in der Lage es zu einem späteren Zeitpunkt wieder abzugeben. Dies ist maßgeblich für eine effiziente Hitze- und Trockenheitsvorsorge, kann jedoch gleichzeitig auch Synergien mit der Starkregenvorsorge schaffen.





4.1

Städtebauliche Maßnahmen

Die Umsetzung von Maßnahmen zur Klimaanpassung auf übergeordneter städtebaulicher Ebene bildet die Basis für eine klimagerechte Entwicklung von Stadt- und Freiräumen. Insbesondere Neubauprojekte bieten die Chance, im Rahmen der Planung die zukünftige Hitzebelastung eines Quartiers zu reduzieren und starkregenbedingte Überflutungsgefahren und daraus resultierende Sachschäden zu vermeiden. Das Maßnahmenspektrum zum Umgang mit Klimawandelfolgen in Marburg ist umfangreich. Grundsätzlich sollte versucht werden, Synergien zwischen Lösungsansätzen der Hitze- und Starkregenvorsorge zu nutzen.

Auf stadträumlicher bzw. Quartierebene gibt es drei Aspekte, die für die Hitzevorsorge eine zentrale Rolle spielen:

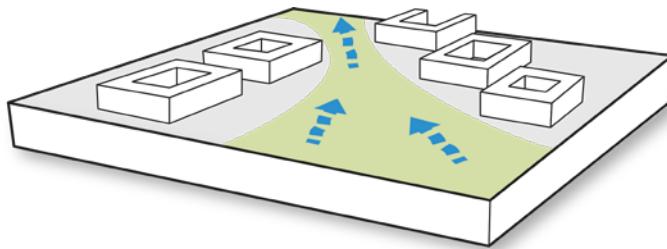
- **Belüftung des Stadtraums:** in der Gestaltung der Stadtstruktur sind Kaltluftzufuhr und -produktionsflächen unbedingt zu berücksichtigen und in ihrer Funktion zu sichern.
- **Grün in der Stadt:** Grünflächen wirken kühlend auf den umliegenden Stadtraum und dienen gleichzeitig als Rückzugsräume für die Bevölkerung an heißen Tagen.
- **Einstrahlung:** die tageszeitliche Verteilung der direkten Sonneneinstrahlung hat einen großen Effekt auf das Mikroklima. Werden die Strahlungsverhältnisse in der Planung bereits frühzeitig berücksichtigt,

kann durch die Ausrichtung von Straßen und Gebäuden die Verschattung gezielt optimiert und so die Aufheizung des Stadtraums reduziert werden.

Zur vorsorglichen Vermeidung von Überflutungen muss auf Stadtteil- und Quartierebene ein besonderer Fokus auf folgende Aspekte gelegt werden:

- **Frühzeitiger Rückhalt von Abflüssen:** Um Überflutungen in Senken oder im Unterlauf von Hauptfließwegen (auch „schlafende Gewässer“) zu vermeiden, bedarf es einer vernetzen Betrachtung von Ursprungs- und Wirkräumen starkregenbedingter Überflutungen. So kann stadträumlichen Anpassungen (wie der Schaffung von Retentionsräumen) zu größtmöglichem Effekt verholfen werden.

Das größte Synergiepotenzial für die Kombination von Hitze- und Starkregenvorsorge auf dieser Maßstabsebene bieten Grün- und Freiflächen: Einerseits können diese Flächen beispielsweise durch die Integration von Retentionsräumen in Frischluftschneisen oder Parks multifunktional (und somit flächensparend) genutzt werden. Gleichzeitig kann durch den Rückhalt von Niederschlag und die dadurch erhöhte Verfügbarkeit von Bodenwasser die kühlende Wirkung von Grünflächen erhöht werden (da der Vegetation mehr Wasser zur Verdunstung zur Verfügung steht).



Sicherung und Verbesserung der Kaltluftzufuhr



Beschreibung

In urbanen Räumen ist es grundsätzlich wärmer, trockener und windärmer als im Umland. Eine zentrale Maßnahme zur Verringerung dieses Stadtklimaeffekts und zur Verbesserung des thermischen Komforts ist die Belüftung des Stadtraumes. Diese kann durch die Bewahrung von Kaltluftproduktionsflächen und -leitbahnen gesichert und unter Umständen durch gezielte Eingriffe sogar verbessert werden. Um eine Zufuhr von Frisch- und Kaltluft aus dem städtischen Umland bis in die inneren Stadtgebiete zu bewirken, ist der Erhalt bzw. die Schaffung zusammenhängender Leitbahnen besonders wichtig. Grundsätzlich ist eine geringe Oberflächenrauigkeit günstig für die Leitung von Luftmassen. Der negative Effekt von Strömungshindernissen, die beispielsweise auch von Bäumen dargestellt werden können, kann sehr hoch sein.

Wechselwirkungen

Die Maßnahme kann Synergien mit der Regenwasserbe- wirtschaftung und mit der Starkregenvorsorge erzeugen: Kaltluftleitbahnen werden häufig von vernetzten Grünräumen oder Gewässern gebildet. Diese haben das Potenzial multifunktional genutzt zu werden. Neben ihrer Funktion für den Luftmassenaustausch können sie gleichzeitig zum Rückhalt von Regenwasser im Starkregenfall genutzt werden oder durch Versickerung und Verdunstung von Niederschlagswasser den natürlichen Wasserkreislauf fördern und das Kanalnetz entlasten. Daneben befördert die Belüftung des Stadtraumes die Reduktion des Feinstaub- und Schadstoffgehaltes der Luft und ist demnach förderlich für die Luftqualität. Auch für die urbane Ökologie und Biodiversität können Kaltluftleitbahnen wertvoll sein: werden sie von Grünräumen gebildet, können sie wichtige

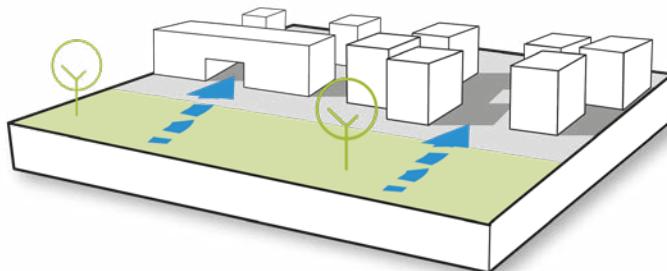
Rückzugsräume für heimische Arten darstellen. Nicht zuletzt können die Flächen auch eine soziale Funktion besitzen, indem sie der Naherholung dienen.

Potenzialräume in Marburg

Die meisten Kaltluftabflüsse und -leitbahnen ergeben sich in Marburg aus der lokalen Topographie. Daher spielen hauptsächlich die Hanglagen eine besondere Rolle in der Sicherung und Verbesserung der Kaltluftzufuhr. Hier sollte darauf geachtet werden, die in der Klimaanalyse erkannten Kaltluftabflüsse nicht durch neue Baukörper zu behindern und wo möglich eine weitere Ausbreitung in das Innere des Siedlungsbereichs zu ermöglichen (z.B. durch den Abbau von Strömungshindernissen).

Referenzen/Gute Beispiele

- Ludwigsgrund(Aufnahme der Kaltluftleitbahn durch entspr. Festsetzungen im B-Plan Ludwigsgrund/Hinkelbachtal), Marburg
- Kaltluftbahn zwischen Rollwiesenweg und vitos-Gelände (Freihaltung durch Gartenzone), Marburg
- Grünzug Platenstraße, Frankfurt (Main)



Klimaangepasste Gruppierung von Gebäuden



Beschreibung

Die städtebauliche Gruppierung von Gebäuden hat einen großen Einfluss auf das lokale Mikroklima. Dieser ist abhängig von der Anordnung und Kubatur der Gebäude, die das lokale Windfeld und somit die Belüftung des Quartiers beeinflussen. Vor allem bei Neubauten sollte dieser Aspekt frühzeitig in die Planung einbezogen werden. Sollte sich zeigen, dass das Plangebiet eine Bedeutung für die Leitung von Kalt- oder Frischluft hat, muss dies nicht zwangsläufig bedeuten, dass es unbebaut bleiben sollte. Durch die Simulation des Einflusses von städtebaulichen Entwürfen auf lokale Strömungsmuster kann erkannt werden, wie trotz Bebauung die Funktion der Flächen bestmöglich erhalten werden kann. Zusätzlich wird das Mikroklima in einem Quartier stark von den Einstrahlungsverhältnissen bzw. dem tageszeitlichen Schattenwurf der Gebäude selbst beeinflusst. Durch eine günstige Anordnung der Gebäude können die Einstrahlungsverhältnisse optimiert werden. Auch auf Blockebene ist eine gute Belüftung von Vorteil für die Hitzevorsorge. Gerade bei geschlossener Blockrandbebauung mit einer hohen Geschossigkeit ist der Luftaustausch meist sehr begrenzt. In sommerlichen Hitzeperioden wird dadurch eine Überwärmung gefördert. Um dem entgegenzuwirken, sollte daher darauf geachtet werden, auch auf Blockebene eine Ventilation herzustellen. An welchen Stellen genau die Blockrandstrukturen aufgelockert werden, ergibt sich aus der Betrachtung lokaler Strömungsmuster.

Im Gegensatz zu einer klimagerechten Gruppierung von Gebäuden bei Neuplanungen, bietet sich im Bestand die Möglichkeit der Entdichtung von Stadtstrukturen durch den Rückbau einzelner Gebäude. Dadurch kann der

Air exchange improves and space for the implementation of further adaptation measures (e.g. the creation of Pocket Parks and replanting of trees) can be created. Thus, the urban heat island effect can be reduced.

Wechselwirkungen

The ventilation of the urban space promotes the reduction of fine dust and pollutant content of the air and is therefore beneficial for air quality.

Basically, in the planning or creation of building-related spaces, synergies with the rainwater management and the stormwater management are also intended to be pursued - through the promotion of infiltration and evaporation, but also through the provision of opportunities for the safe retention of rainwater to reduce flooding or to prevent it.

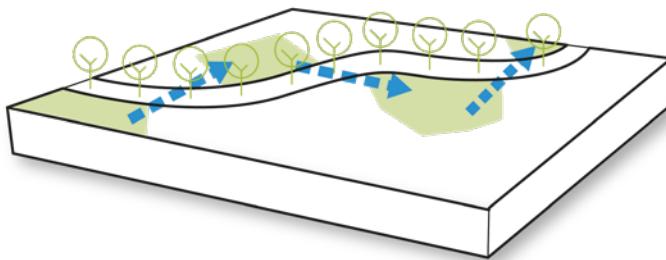
Further synergy potentials exist with the lighting of the building and with the aspect of the solar urban planning.

Potenzialräume in Marburg

These measures can mainly be implemented in urban planning projects (e.g. competition "Am Hasenkopf") in Marburg.

Referenzen/Gute Beispiele

- Elisabeth-Hof, Marburg-Ober Rotenberg
- Idstein Wörbachau
- Teilräumliche Simulationen und Variantenvergleich für das städtebauliche Vorhaben Jöllheide im Rahmen des Klimaanpassungskonzeptes der Stadt Bielefeld (MUST/GEO-NET)



Schaffung, Optimierung und Vernetzung von Grünflächen



Beschreibung

Bei der Anpassung an sommerliche Hitze kommt dem städtischen Grün eine zentrale Bedeutung zu, da es in der Lage ist, sowohl Verschattung als auch Verdunstungskühlung zu generieren. Dadurch weisen Grünflächen eine deutlich geringere Temperatur auf, als die sie umgebenden urbanen Bereiche. Gerade bei großen Grünflächen kann der Effekt bis über die Grenzen der Fläche hinaus und in die angrenzenden Quartiere hinein Einfluss auf die thermische Situation ausüben. Doch auch kleine Grünflächen, die auf Quartiersebene keinen oder nur einen geringen thermischen Effekt haben, bieten an heißen Tagen wichtige, kühle Rückzugsräume für die Bevölkerung.

Die Höhe des Kühlungseffekts ist abhängig von der konkreten Ausgestaltung einer Grünfläche. So haben z.B. unbewässerte Rasenflächen in länger andauernden Hitze- und Trockenperioden keinen positiven Einfluss auf das Mikroklima (im ausgetrockneten Oberboden steht dann kein Wasser zu Verfügung, dass über die Vegetation verdunstet werden könnte). Um einen hohen Kühlungseffekt zu erzielen, sollte die Hitzevorsorge daher frühzeitig in der Planung von Grünflächen berücksichtigt werden. Dies kann neben der Auswahl der Vegetation durch die gezielte Verschattung bestimmter Flächen oder durch die Integration von Wasser- elementen erreicht werden. Insbesondere die großräumige Vernetzung der Grünflächen (z.B. über Alleen oder Fassadenbegrünung) ist für die Kühlung hitzelasteter Räume von Vorteil. Auf diese Weise können Grünflächen nicht nur als kühlende „Inseln“, sondern als kühlendes Netzwerk wirken. Die Schaffung größerer neue Grünflächen ist meist sowohl im Bestand, als auch im Neubau schwierig. Eine Erhöhung des Grünvolumens durch Pocket Parks, also kleine,

dezentrale Grünflächen ist meist dennoch möglich. Durch ihren geringen Platzbedarf können sie auch in Neuplanungen ohne große Verluste von Bauland integriert werden.

Wechselwirkungen

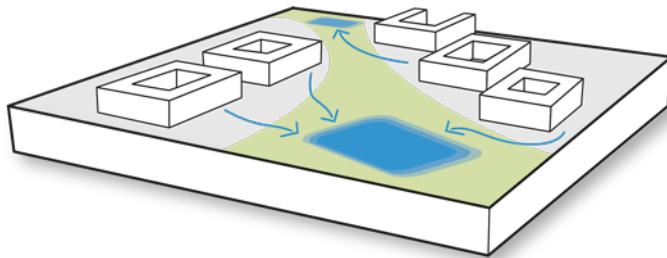
Attraktive, öffentliche Grünflächen qualifizieren das Stadt- bild und können in Hitzeperioden als kühle Rückzugsrä- me für die Bevölkerung dienen. Dies trifft vor allem auf Quartiere mit hoher thermischer Belastung und wenigen privaten Gärten zu. In der Ausgestaltung von Grünflächen können Synergien mit Belangen der Regenwasserbewirt- schaftung erzeugt werden – durch die Förderung einer Versickerung und Verdunstung von Niederschlagswasser sowie des schadlosen Rückhalts von Starkregen. Auch für die Luftreinhaltung sind Grünflächen von Bedeutung: Die Vegetation bindet Feinstaub und Schadstoffe und trägt dadurch zur Verbesserung der Luftqualität bei. Die Maß- nahme erzeugt durch die CO₂-Bindung der Vegetation ebenfalls Synergien mit dem Klimaschutz.

Potenzialräume in Marburg

Diese Maßnahme sollte vorrangig in den hitzelasteten Teilräumen Marburgs (z.B. der stark belasteten Oberstadt) Anwendung finden.

Referenzen/Gute Beispiele

- „Grüne Spange“ Grebenstein
- „Scharnier“ Bad Wildungen
- Alteburgpark, Schotten
- Breitwiese, Sontra
- Beethovenpark, Obertshausen
- Senefelderpark, Offenbach



(Multifunktionale) Retentionsräume

Beschreibung

Die Schaffung eines Netzwerkes von Rückhalteräumen für Niederschlagswasser trägt zur Vermeidung bzw. Verringerung starkregenbedingter Überflutungen bei. Im Falle einer Überlastung des Kanalsystems wird das anfallende Niederschlagswasser gezielt an einen Ort geleitet, an dem es temporär schadlos zurückgehalten werden kann. So können Überflutungsschäden an Gebäuden und Infrastrukturen vermieden werden. Nach dem Ende des Niederschlagsergebnisses kann das Wasser zeitverzögert abgeleitet werden.

Die konkrete bauliche Ausgestaltung von Rückhalteräumen kann sehr vielseitig sein. Dadurch ist die Maßnahme in verschiedenen Stadträumen mit unterschiedlichen Standortbedingungen und funktionalen Anforderungen umsetzbar. Rückhaltebecken können beispielsweise in Grünflächen angelegt werden: Im Anschluss an die Schaffung eines Retentionsvolumens durch Aushub kann die Fläche wieder begrünt werden. Dadurch bleiben ihre Funktionen für den lokalen Wasserkreislauf (durch Versickerung und Verdunstung), Ökosystem sowie u.U. auch ihr Freizeitwert für die Bevölkerung erhalten.

In Bestandsquartieren ohne größere Freiflächen ist die Schaffung neuer Retentionsräume meist besonders anspruchsvoll. Hier kann es zielführend sein, Rückhalteräume mit weiteren Nutzungen zu kombinieren (sog. multifunktionale Flächen) – z.B. indem sie in Verkehrsflächen, Stadtplätze oder Sport- und Spielflächen integriert werden. Die meiste Zeit erfüllen diese Orte weiterhin ihren Hauptzweck als Verkehrsfläche oder als Aufenthaltsraum. Im seltenen Fall eines Starkregens übernehmen sie dann

kurzzeitig die wasserwirtschaftliche Funktion eines temporären Rückhaltebeckens. Überschüssiges Regenwasser aus der Umgebung wird in die abgesenkten Bereiche der Plätze geleitet, temporär zurückgehalten und anschließend versickert, abgepumpt oder gedrosselt über die Kanalisation abgeführt.

Eine wichtige Rolle für den Rückhalt von Niederschlägen spielt zudem die Gestaltung von Gewässern und deren direktem Umfeld. In renaturierten Auen kann ein großer Anteil des anfallenden Niederschlags schadlos zurückgehalten werden und zeitverzögert abfließen. Auch die gezielte Schaffung und der Schutz von Überschwemmungsflächen stehen daher im Fokus der Klimaanpassung.

Wechselwirkungen

Wenn Rückhalteräume einen wasserdurchlässigen Boden aufweisen, leisten sie einen Beitrag zur Erhaltung des natürlichen Wasserkreislaufs, indem Regenwasser vor Ort versickern und verdunsten kann. Dadurch ergeben sich auch Synergien mit der Hitzevorsorge (durch Verdunstungskühlung). In Kombination mit unterirdischen Speicherkörpern (z.B. Füllkörperrigolen) kann das zurückgehaltene Regenwasser auch längerfristig gespeichert werden und in Trockenperioden zur Bewässerung von Grünflächen genutzt werden.

In Abhängigkeit von den potenziellen Nutzungskonflikten vor Ort sollten möglichst kurze Entleerungszeiten (<24 h) angestrebt werden. Je nach Nutzungsintensität sind darüber hinaus bei der Gestaltung Anforderungen an die (Verkehrs-)Sicherheit und an die Barrierefreiheit zu berücksichtigen.



Multifunktionale Retentionsflächen, wie der Bellamylein in Rotterdam (oben links und rechts) ermöglichen es innerstädtische Flächenkonkurrenzen zu vermeiden. Auch der Zollhallenplatz in Freiburg im Breisgau (unten) ermöglicht die Retention von Niederschlägen im Falle eines außergewöhnlichen Starkregens und steht sonst als Stadt- oder Marktplatz anderen Nutzungen zur Verfügung.

Potenzialräume in Marburg

Durch die Topographie Marburgs bilden sich im Falle eines Starkregens eine Vielzahl von Fließwegen von den Hang- in die Tallagen aus. Die Analysen zeigen deutlich, dass dies in einigen Stadtgebieten ein erhöhtes Überflutungsrisiko bewirkt. Gerade im Oberlauf der Fließwege in diese überflutungsgefährdeten Bereiche ist der frühzeitige Rückhalt von Abflüssen von besonderer Bedeutung, um in den Tallagen eine unkontrollierte Überflutung zu verhindern. Im Fokus der Überflutungsvorsorge steht daher auch die Konzentration von Maßnahmen zur Retention von Niederschlagswasser in den Außengebieten. Hier sollten im Rahmen der Starkregenvorsorge prioritär Rückhalteräume geschaffen werden. Potenzielle Bereiche sind sowohl im Rahmenplan als auch in der Fokusraumkarte dargestellt. Im Rahmen der Starkregenanalyse wurden zwei konkrete Pilotprojekte zur Umsetzung dieser Maßnahmen

konzipiert: ein Retentionsraum in Michelbach und eine multifunktionale Rückhaltefläche in Kombination mit Retentionsraum für das (zum Teil verrohrte) Gewässer Teufelsgraben in Wehrda.

Auch die Lahnstudie (insb. Abschnitt E) kann zur Identifizierung von Räumen für die Umsetzung dieser Maßnahme herangezogen werden.

Referenzen/Gute Beispiele

- „MURIEL – Multifunktionale Retentionsräume“ – von der Idee zur Realisierung (DBU)
- Wasserplätze in Rotterdam oder Tiel (z.B. Bentheimplein, Bellamylein)
- Zollhallenplatz Freiburg im Breisgau

4.2 Maßnahmen in Freiräumen und Straßen



Der Gestaltung von Straßen- und Freiräumen kommt bei der Klimafolgenanpassung in Städten eine besondere Bedeutung zu. Die Minderung der thermischen Belastung öffentlicher Räume in sommerlichen Hitzeperioden ist nicht nur für die Aufrechterhaltung ihrer Funktion als Aufenthalts- und Transitraum wichtig. Sie ist auch maßgeblich für die Erhaltung eines gesunden Wohnumfeldes. Insbesondere sensible Bevölkerungsgruppen sind auf die Schaffung gesunder klimatischer Verhältnisse im öffentlichen Raum angewiesen, da sie gegenüber Hitze eine besondere Vulnerabilität aufweisen. Und auch zur Starkregenvorsorge kann die Anpassung des öffentlichen Raums einen wichtigen Beitrag leisten – denn auch viele kleine Eingriffe können in der Summe eine bedeutende Wirkung haben.

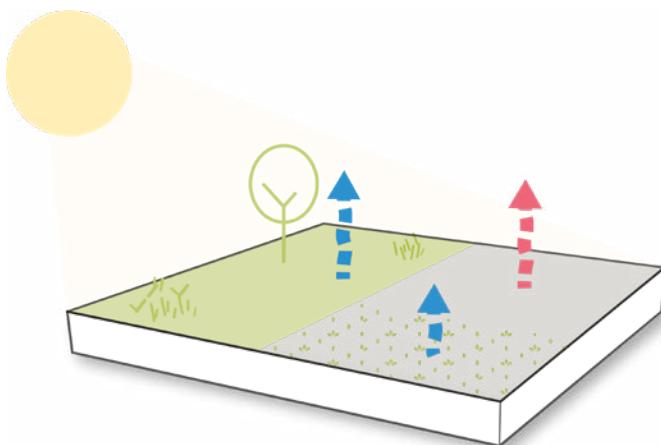
Die nachfolgend vorgestellten Anpassungsmaßnahmen der Hitze- und Starkregenvorsorge in Straßen- und Freiräumen bieten vielfältige Synergiepotenziale. Grundsätzlich unterstützen viele der dargestellten Maßnahmen das Konzept der „Schwammstadt“, das die Ziele einer naturnahen Regenwasserbewirtschaftung mit der Hitze- und Trockenheitsvorsorge verknüpft und darauf abzielt, Niederschlagswasser dort zwischenzuspeichern und zu verdunsten oder versickern, wo es anfällt (vgl. oben).

Folgende Aspekte sind bei der Anpassung von Straßen- und Freiräumen zur Hitzevorsorge von Bedeutung:

- **Erhöhung der Verdunstung:** Die Verdunstung von Wasser über Vegetation, Böden, offene Wasserflächen oder Brunnen kühlt den Stadtraum und verbessert so das Mikroklima.
- **Optimierung der Strahlungsbilanz:** Neben der direkten Sonneneinstrahlung bestimmen auch die Materialeigenschaften von Oberflächen, wie sehr sich ein Stadtraum aufheizt. Ziel der Klimaanpassung ist es einerseits die Einstrahlung durch Verschattung zu reduzieren. Zusätzlich wird auch die Erhöhung der Rückstrahlung und Reduktion der Wärmespeicherung von Oberflächen angestrebt. Eine kombinierte Anpassung dieser drei Faktoren (Einstrahlung, Rückstrahlung, Wärmespeicherung) bewirkt eine deutliche Verbesserung des thermischen Komforts.

Hinsichtlich der Starkregenvorsorge gilt es bei der Gestaltung von Straßen- und Freiräumen vorwiegend die folgenden Zielrichtungen zu verfolgen:

- **Dezentraler Rückhalt:** Die Schaffung vieler dezentraler Retentionsmöglichkeiten (z.B. Mulden, Baumröhren, unterirdischen Füllkörper etc.) kann das oberflächige Abfließen von Starkregen verhindern oder zumindest die Wassermenge reduzieren.
- **Schadfreie Ableitung:** Kann ein Niederschlagsabfluss an der Oberfläche nicht verhindert werden, sollte sie zumindest so gestaltet werden, dass das Wasser möglichst kontrolliert und schadfrei abgeführt wird.



Entsiegelung von Flächen



Beschreibung

Durch den Rückbau versiegelter Oberflächen kann das lokale Stadtclima spürbar verbessert werden. Wie stark die vertikale Kühlungswirkung ist, hängt von der Flächengröße und von der anschließenden Ausgestaltung der Oberfläche ab. Bestenfalls können die freigewordenen Flächen nach der Entsiegelung als Rasen- und Pflanzflächen angelegt werden. In diesem Fall ist der positive Effekt auf das Mikroklima höher, als bei einer anschließenden Wiederbefestigung, z.B. mit wasserdurchlässigen Belägen. Da Pflanzen eine höheres Rückstrahlvermögen haben als dunkle Asphalt- oder Pflasterflächen, bewirkt die Entsiegelung mit anschließender Begrünung auch eine Erhöhung der Albedo. Sofern aus funktionalen Gründen eine vollflächige Entsiegelung nicht möglich ist, können Flächen alternativ mit einem wasserdurchlässigen Befestigungsmaterial gestaltet werden. Durch eine solche Teilentsiegelung kann - je nach Art des Befestigungsmaterials - zumindest ein Teil des Niederschlags in den Untergrund eindringen und gespeichert, versickert oder verdunstet werden. Durch die Verdunstung und die gegenüber versiegelten Flächen meist günstigeren thermischen Eigenschaften erwärmen sich wasserdurchlässige Beläge in der Regel weniger als dichte Befestigungen. Für die durchlässige Flächenbefestigung bieten sich viele Materialien mit unterschiedlicher Durchlässigkeit an, z. B. Schotterrasen, Rasengittersteine, Rasenfugenpflaster, Betonpflastersteine mit Drainfugen oder poriger Beton. Daneben kann Drainasphalt eingesetzt werden, der sowohl versickerungsfähig ist als auch lärmindernd wirkt.

Wechselwirkungen

Die (teilweise) Entsiegelung von Flächen bietet zahlreiche

Synergien mit den Zielen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung und des Bodenschutzes. Der Oberflächenabfluss in den Kanal wird reduziert, der Bodenwasserhaushalt verbessert und die Grundwasserneubildung gefördert. Durch eine auf die Entsiegelung folgende Begrünung können zudem neue Lebensräume für die städtische Flora und Fauna geschaffen werden.

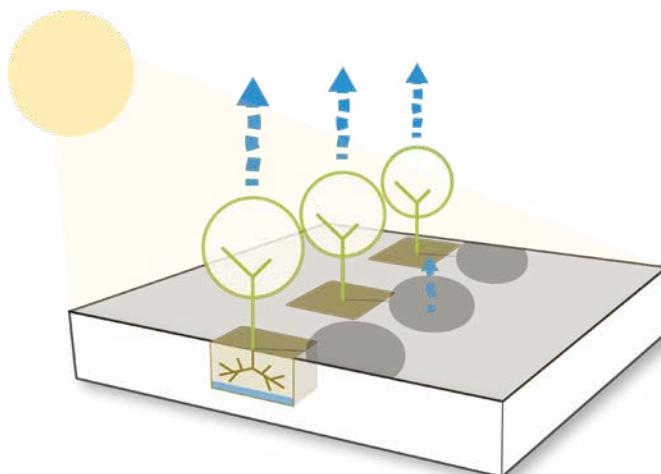
Neben diesen positiven Wechselwirkungen können durch die Entsiegelung Konfliktpotenziale hinsichtlich der Barrierefreiheit und der Erreichbarkeit entsprechender Flächen mit Kraftfahrzeugen entstehen. Die Befestigungen sollten daher immer in Bezug auf die vorgesehene Funktion der Flächen ausgewählt werden. Der Aufwand für Wartung und Pflege ist wesentlich abhängig von der Nutzung.

Potenzialräume in Marburg

In vielen Bestandsquartieren Marburgs bieten Innenhöfe, Zufahrten und Parkplätze große Potenziale, durch Entsiegelung die lokale Hitzebelastung zu mindern. Auch überdimensionierte Verkehrsflächen und Parkplätze (wie bspw. die P+R Plätze Großsportfeld und Messegelände) sowie Straßenprofile können durch Entsiegelung wenig befahrene Bereiche zur Verbesserung des Mikroklimas beitragen.

Referenzen/Gute Beispiele

- „Am Hirzrain“ in Fulda
- Scharnier Bad Wildungen
- Regenwasserversickerung: Gestaltung von Wegen und Plätzen (Bayr. Landesamt für Umwelt 2015).
- Umfeldgestaltung Elisabethkirche, Marburg
- Anreizprogramm zur Hofbegrünung Frankfurt a.M.



Bäume und Baumrigolen

Beschreibung

Stadtäume wirken in doppelter Hinsicht positiv auf das lokale Mikroklima: zum einen verschatten sie den öffentlichen Raum oder Gebäude und reduzieren somit tagsüber die Aufheizung dieser Oberflächen. Gleichzeitig wirkt die Verdunstung von Regenwasser durch ihr Blattwerk kühlend. Bäume können somit die Hitzebelastung eines Stadtraumes deutlich reduzieren.

Die Höhe des kühlenden Verdunstungseffekts ist stark abhängig von der Wasserverfügbarkeit: wird ein Baum in Trockenperioden bewässert, kann er mehr Wasser verdunsten und der Kühlleffekt ist größer als bei einem unbewässerten Baum, dem der ausgetrocknete Boden kaum Wasser liefert. Daher kommt es bei der Reduktion städtischer Hitze durch Stadtäume nicht nur auf die Anzahl der Bäume an, sondern auch auf die Pflege und eine sorgfältige Vorbereitung der Pflanzgruben. So kann zum Beispiel durch den Einsatz von Baumrigolen der Wasserhaushalt eines Baumes optimiert werden. In der Rigole kann Niederschlagswasser zurückgehalten und gespeichert werden, sodass es zu einem späteren Zeitpunkt zur Bewässerung des Baumes eingesetzt werden kann. Vor allem in den ersten Jahren nach der Pflanzung müssen Jungbäume bei anhaltender Trockenheit regelmäßig bewässert werden. Auch zur Starkregenvorsorge können Baumrigolen einen Beitrag leisten. Diese ist stark abhängig vom jeweiligen Retentionsvolumen der Rigole.

Es ist zu beachten, dass dichte Straßenäume in engen Straßenschluchten während sommerlicher Tropennächte die Abkühlung des Stadtraumes auch schwächen können,

da sie die effektive Wärmeausstrahlung der Oberfläche reduzieren (die Wärmestrahlung wird von der Baumkrone zurückgeworfen). Dieser Effekt muss in der Planung berücksichtigt werden, ist aber in seiner Bedeutung der Kühlwirkung tagsüber untergeordnet zu sehen.

Wechselwirkungen

Bäume im öffentlichen Raum werten das Stadtbild positiv auf und unterstützen die Biodiversität, indem sie der urbanen Fauna Rückzugsräume und Nahrung bieten. Die Maßnahme kann weiterhin als klimagerecht betrachtet werden, da sie durch die CO₂-Bindung der Vegetation ebenfalls dem Klimaschutz dient. Auf die lokale Luftqualität haben Straßenäume eine ambivalente Wirkung: Einerseits binden sie Feinstaub und Luftschaudstoffe besonders effizient, wenn sie besonders nah an der Quelle (meist Straßenverkehr) sind. Andererseits können Bäume in engen Straßenschluchten den Luftmassenaustausch verhindern und die Akkumulation von Schadstoffen begünstigen.

Grundsätzlich ist die Auswahl der Baumarten in vielen Fällen ausschlaggebend für die entstehenden Wechselwirkungen mit anderen Belangen: die Größe sollte dem Standort entsprechen, die Toleranz gegenüber erwartbaren Umweltbedingungen (Hitze, Trockenheit, Starkregen und Sturm, städtischer Luftverschmutzung) gegeben sein und das Allergiepotenzial zum Wohle der Bevölkerung möglichst gering.

Die Pflanzung von Bäumen kann Konflikte mit anderen Belangen der Freiraumgestaltung erzeugen, z.B. durch die Raumkonkurrenz des Wurzelraums mit der Lage von



C Stadtbäume verbessern das Mikroklima und werten das Stadtbild optisch auf. Für klimagerechte Baumstandorte bedarf es einer sorgfältigen Vorbereitung des Untergrundes (z.B. durch Einsatz einer Baumrigole) und angepassten Baumscheiben (oben links).

Leitungen oder durch die Flächenkonkurrenz mit anderen Elementen des Stadtmobiliars, mit Interessen des Einzelhandels/der Gastronomie und nicht zuletzt mit Stellplatzflächen. Nicht zuletzt sind die Anforderungen des Denkmalschutzes bei der Standortwahl für Bäume zu berücksichtigen.

Potenzialräume in Marburg

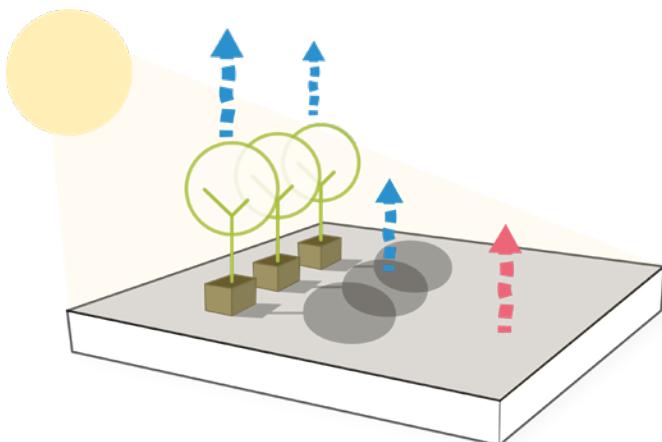
Für die Setzung neuer Bäume sollten vor allem stark frequentierte Stadtplätze und Straßenräume in der Marburger Innenstadt in Betracht gezogen werden.

Referenzen/Gute Beispiele

- Universitätsstraße Marburg
- Umbau der Goethe- und Germaniastraße in Kassel
- Bartningstraße, Darmstadt-Kranichstein:
- Stadtbaumkonzept Jena - Stadt- und Straßenbäume

im Klimawandel (Stadt Jena, 2016)

- Stadtbäume im Klimawandel: Klimafolgen-Monitoring und Anpassung (HCU Hamburg, 2017)
- Website der Gartenamtsleiterkonferenz: <https://www.galk.de/arbeitsskreise/stadtbaeume/themenuebersicht/klimawandel-und-stadtbaeume>
- Merkblatt Stadtgrün (Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, 2019)



Mobiles Grün



Beschreibung

An einigen Orten, an welchen es aus Sicht der Hitzeprävention sinnvoll wäre, lassen die allgemeinen Standortbedingungen keine dauerhafte, bodengebundene Begrünung zu. Dies kann einerseits der Nutzung geschuldet sein (z.B. auf Messegeländen, Leitungstrassen im Untergrund) oder auch der schlechten Umweltbedingungen (z.B. durch Altlasten). Hier bietet sich eine mobile Begrünung an. Diese Form des Stadtgrüns besteht aus in Pflanzkästen angelegten Bäumen und Sträuchern, welche bewegt werden können und somit kurzfristig platziert oder auch umgesetzt werden können. Solche Pflanzkästen können, ähnlich wie Hochbeete, bedenkenlos auf versiegelten oder kontaminierten Flächen aufgestellt werden. Somit entfallen auch die Kosten für eine aufwendige Entsiegelung und Vorbereitung des Untergrundes. Da mobile Pflanzkästen nicht mit dem Boden bzw. Grundwasser in Verbindung stehen, müssen sie in längeren Trockenperioden bewässert werden. Zusätzlich sollte Staunässe vorgebeugt werden.

Wechselwirkungen

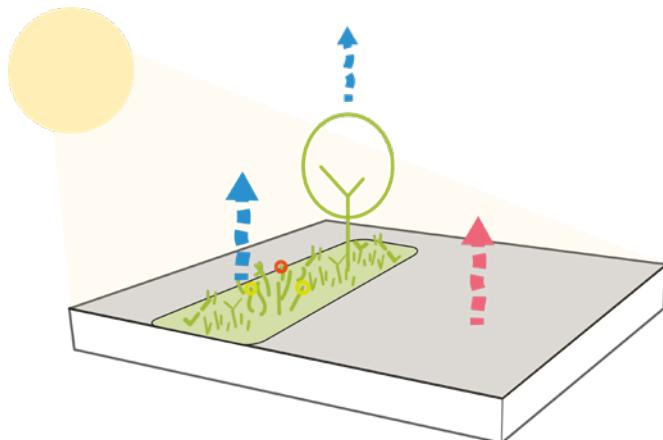
Auch mobiles Grün filtert Feinstaub und Schadstoffe aus der Luft. Bei entsprechender Bepflanzung, kann es auch zu einer Verschattung von Flächen beitragen. Angesichts des geringeren Boden- und Grünvolumen gegenüber bodengebundenen Grünflächen oder Straßenbäumen ist der Effekt jedoch weniger ausgeprägt. Grundsätzlich kann eine mobile Begrünung positiv auf das Stadtbild und auf die Aufenthaltsqualität wirken: Es kann versiegelte Plätze und Straßenzüge optisch aufwerten.

Potenzialräume in Marburg

Für den Einsatz mobilen Grüns sollten vor allem stark frequentierte Stadtplätze und Straßenräume in der Marburger Innenstadt in Betracht gezogen werden. Dies betrifft vor allem diejenigen Flächen, die aufgrund ihrer Funktion (z.B. Marktplätze) oder Untergrundbedingungen (Leitungen, Altlasten) keine dauerhafte Begrünung zulassen.

Referenzen/Gute Beispiele

- Urban Gardening im Senefelderpark Offenbach
- Kübelbäume („Wanderbäume“) - Mobiles Grün in Nürnberg
- Mobile Bäume in der Altstadt Recklinghausen



Pflanzbeete und Grünstreifen



Beschreibung

Die Begrünung von Straßenzügen, Innenhöfen und öffentlichen Plätzen, zum Beispiel durch Pflanzbeete oder Grünstreifen reduziert über die Verdunstung der Vegetation den städtischen Wärmeinseleffekt. Grundsätzlich ist die kühlende Wirkung abhängig vom Volumen und der Verdunstungsleistung der Begrünung (Rasen verdunstet weniger Wasser als große Stauden und Büsche) sowie von der Verfügbarkeit von Bodenwasser (ist der Oberboden in sommerlichen Trockenperioden ausgetrocknet, kann über die Vegetation kein Wasser verdunsten). Es sollte daher bei der Anlage solcher Flächen daher darauf geachtet werden, eine möglichst gute Wasserversorgung sicherzustellen. Dies kann entweder durch aktive Bewässerung in Trockenperioden geschehen oder durch die Kombination mit Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen. So kann das Niederschlagswasser anliegenden Dach- und Hofflächen in die dafür ausgelegten Grünflächen geleitet werden, in denen es kurzfristig gespeichert und anschließend verdunstet oder (bei günstigen Bodenbedingungen) über die belebte Bodenzone in den Untergrund versickert wird.

Zudem bietet die Anlage von Beeten oder Grünstreifen potenziell Synergien mit der Starkregenvorsorge. Bei entsprechender Dimensionierung oder einer Kombination mit zusätzlichen Rückhaltemulden oder Speicherrigolen (siehe S. 34) kann ein zusätzliches Volumen zur Überflutungsvorsorge bei extremen Niederschlägen geschaffen werden, indem Abflüsse temporär in den Tiefbeeten eingestaут und gedrosselt abgeleitet oder versickert werden.

Wechselwirkungen

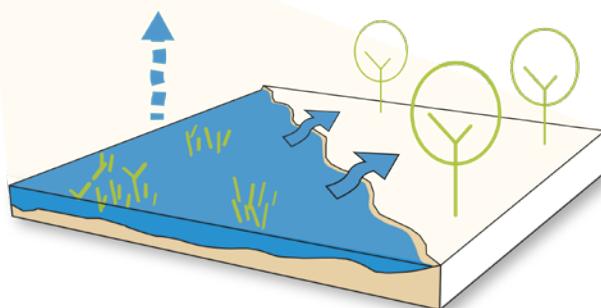
Pflanzbeete können ebenfalls positive Auswirkungen auf die Luftqualität haben: die Vegetation filtert Feinstaub und Schadstoffe aus der Luft. Wie hoch der Effekt ist, hängt vom Umfang der Begrünung ab. Für das Stadtbild bietet die Maßnahme das Potenzial der optischen Aufwertung. Daneben können kleine Grünflächen durch die gezielte Anpflanzung bestimmter Arten auch positive Effekte auf die urbane Biodiversität haben (z.B. Blühstreifen für Insekten).

Potenzialräume in Marburg

Umsetzungspotenziale bieten sich vor allem entlang breiter Straßen und auf öffentlichen Plätzen in Marburg. Durch den Rückbau von Verkehrsflächen (Fahrspuren etc.) im Zuge der Verkehrswende kann langfristig Raum für zusätzliches Grün im Straßenraum geschaffen werden.

Referenzen/Gute Beispiele

- Scharnier Bad Wildungen
- Regenwasserbewirtschaftung in Neubaugebieten (Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz 2008)



Offene Wasserflächen



Beschreibung

Die Schaffung offener Wasserflächen wie Seen, Teiche, Weiher und Kanäle bewirkt insbesondere tagsüber eine Verbesserung der thermischen Situation durch Verdunstungskühlung und erhöht gleichzeitig die Luftfeuchtigkeit. Die kühlende Wirkung ist umso stärker, je größer die Wasseroberfläche ist. In längeren Hitzeperioden kann sich die kühlende Wirkung in der Nacht unter Umständen umkehren: heizen sich die Wasserflächen über mehrere Tage oder sogar Wochen stark auf, sind sie nachts wärmer als die umgebenden Luftmassen und verringern die nächtliche Abkühlung des Stadtraums. Gleichzeitig können die Gewässer einen bedeutenden Beitrag zur Überflutungsvorsorge bei Starkregen leisten: Bei ihrer Anlage sollten zusätzliche Retentionsvolumen vorgesehen werden, sodass sie im Falle eines extremen Niederschlags einen Teil des anfallenden Regenwassers aus dem umliegenden Stadt- raum aufnehmen und temporär zurückhalten können.

Eine Abwandlung dieser Maßnahme stellen bepflanzte Wasserflächen bzw. feuchte Vegetationsflächen (sogenannte „Urban Wetlands“) dar. Die Bepflanzung kann, gerade bei kleinen Wasserflächen, die Verdunstung der Wasserfläche erhöhen. Zusätzlich kühlst die Vegetation nachts stärker ab und die Wasserflächen erwärmen sich durch die Verschattung der Vegetation tagsüber weniger. Urban Wetlands können auch so angelegt sein, dass die Bepflanzung nicht jederzeit im Wasser steht – eine Wasserverfügbarkeit sollte jedoch durchgängig gewährleistet sein, da die standorttypischen Arten meist eine geringe Trockenresistenz aufweisen. Um Überflutungen der Wasserflächen bei Starkregen zu vermeiden, sollte ein Notüberlauf

in den Kanal oder in angrenzenden Vorfluter vorgesehen werden.

Wechselwirkungen

Die Maßnahme kombiniert die Belange der Hitze- und Überflutungsvorsorge und leistet gleichzeitig einen Beitrag zu dezentralen Regenwasserbewirtschaftung. In wechselfeuchten Vegetationsflächen kann Regenwasser dem natürlichen Wasserkreislauf zugeführt werden und versickern oder verdunsten.

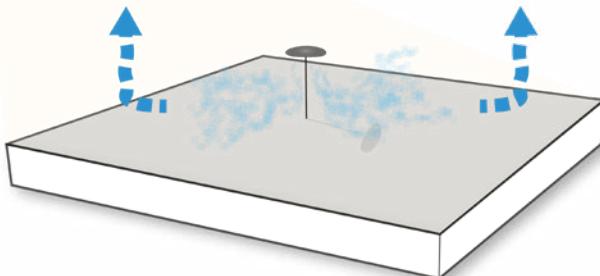
Sowohl Wasserflächen als auch Wetlands schaffen attraktive und einprägsame Stadträume und können das Stadt- bild aufwerten. Gleichzeitig können durch die Maßnahme vielfältige Lebensräume für die urbane Flora und Fauna geschaffen werden.

Potenzialräume in Marburg

Die Schaffung offener Wasserflächen oder feuchter Vegetationsflächen bietet sich vor allem im Zusammenhang mit Neuplanungen an. Im Idealfall schließen die Flächen an bestehende Gewässer (z.B. die Lahn) an. Bei der Identifizierung von möglichen Räumen für die Umsetzung sollte die Lahnstudie (insb. Abschnitt E) herangezogen werden.

Referenzen/Gute Beispiele

- Schilde-Park, Bad Hersfeld
- Teich im Bürgerpark, Neustadt
- Arkadien Winnenden
- Business Park München-Garching
- Aufwertung der Sulz in Beilngries



Bewegtes Wasser



Beschreibung

Durch die Integration von bewegtem Wasser in den Stadtraum, zum Beispiel durch Springbrunnen, Wassertretbecken, Wasserspielplätze, Zerstäuber oder Fontänenfelder, kann der städtischen Überwärmung in sommerlichen Hitzeperioden entgegengewirkt werden. Der Effekt der Kühlung ist bei bewegtem Wasser deutlich höher, als bei stehenden Wasserflächen, da die verdunstungsfähige Oberfläche durch die Bewegung vergrößert wird. Lokal lässt sich das Mikroklima durch bewegtes Wasser deutlich verbessern. Am höchsten ist der Effekt in Räumen mit geringem Luftmassenaustausch – wie etwa auf kleinen Stadtplätzen oder in engen Innenhöfen.

- Senefelder Quartierspark, Offenbach
- Brunnenanlage Elisabethkirche, Marburg
- Fontänenfeld und Wassertafel auf dem Platz der Alten Synagoge, Freiburg im Breisgau
- Brumisateurs (Zerstäuber) in Paris Plage

Potenzialräume in Marburg

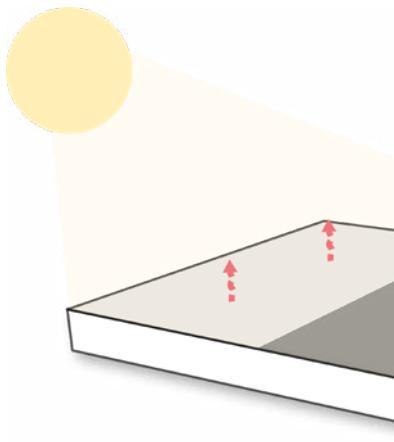
Wasserelemente im öffentlichen Raum können die städtebauliche Gestaltung und dadurch die Aufenthaltsqualität verbessern. Gerade im Hochsommer werden bewegte Wasserelemente von der Bevölkerung, nicht nur Kindern, zur Abkühlung genutzt. Neben der Reduktion der städtischen Überhitzung, können bewegte Wasserelemente den Stadtraum attraktiver und interessanter machen.

Potenzialräume in Marburg

Bewegte Wasserelemente für die Minderung der thermischen Belastung eignen sich insbesondere auf stark frequentierten Stadtplätzen, in Parkanlagen, auf Schulhöfen oder Spielplätzen.

Referenzen/Gute Beispiele

- Brunnenanlagen Ernst-Piskator Haus und Elisabeth-Blochmann-Platz in Marburg



Erhöhung des Rückstrahlvermögens (Albedo)



Beschreibung

Zur Vermeidung einer starken Aufheizung von Oberflächen wie Straßen und Plätzen empfiehlt es sich, eine möglichst hohe Rückstrahlung bzw. „Albedo“ anzustreben. Verschiedene Studien bestätigen die hohe Wirksamkeit zur Reduktion des Wärmeinseleffekts.

Der Wert für die Albedo einer Fläche liegt zwischen null (gering) und eins (hoch) und beschreibt das Rückstrahlvermögen – das bedeutet helle und glatte Oberflächen mit hoher Albedo reflektieren einen großen Anteil der einfallenden Sonnenstrahlung und absorbieren dementsprechend weniger Energie. Dadurch heizen sie sich weniger auf, was einen messbaren positiven thermischen Effekt auf den umliegenden Stadtraum hat. Je höher der Albedowert, desto weniger Strahlung wird absorbiert.

Anders als Grünflächen wirken Oberflächen mit hoher Albedo nicht direkt „kühlend“, jedoch deutlich weniger „heizend“, als Oberflächen mit geringer Albedo. Eine Erhöhung der Rückstrahlung kann durch die Verwendung möglichst heller Materialien in der Straßenraumgestaltung und durch den hellen Anstrich exponierter (insbesondere südausgerichteter) Fassaden und Dachflächen erreicht werden. Auch durch eine Begrünung kann die Albedo einer Oberfläche erhöht werden, da Pflanzen in der Regel eine höhere Albedo aufweisen, als versiegelte Oberflächen (z.B. Asphalt).

Ein möglichst hoher Albedowert von Oberflächen kann auf öffentlichen Verkehrsflächen durch die Kommune selbst realisiert werden. Aber auch Private können bspw.

über örtliche Bauvorschriften oder in städtebaulichen Verträgen dazu verpflichtet werden, bei der Herstellung größerer versiegelter Flächen (z.B. Parkplätze) bestimmte gestalterische Vorgaben zu erfüllen – auch hier können demnach helle Oberflächenbeläge gefördert werden.

Wechselwirkungen

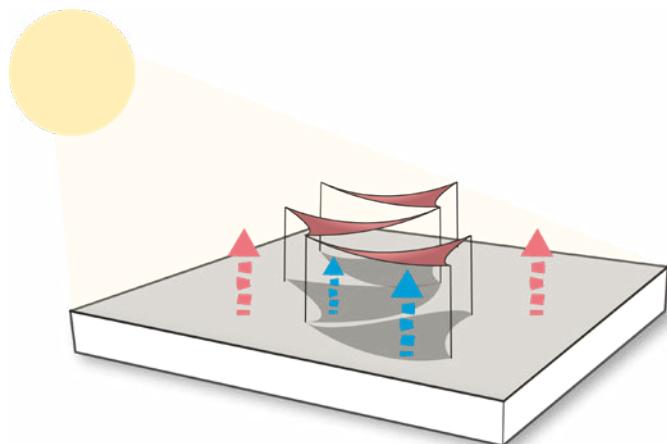
In Einzelfällen können Konfliktpotenziale mit denkmalpflegerischen Belangen bestehen. Weiterhin können zu helle Oberflächenbeläge in der Sonne als blendend empfunden werden.

Potenzialräume in Marburg

Die Albedo lässt sich auf vielen Oberflächen in Marburg erhöhen: auf Plätzen, Straßen, Dächern und Fassaden. Zukünftig sollte bei ohnehin anstehenden Sanierungsmaßnahmen von Oberflächenbelägen auf die Verwendung von Materialien mit günstiger Albedo geachtet werden.

Referenzen/Gute Beispiele

- Teststrecke „Kühlender Asphalt“, Offenbach
- Checkliste Klimawandelangepasste Quartiere in Hessen (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie 2020)



Konstruktive Verschattungselemente



Beschreibung

Eine Alternative zur Verschattung öffentlicher Räume durch Bäume stellen konstruktive Elemente dar (z.B. Sonnensegel, Pavillons, Außendächer, Pergolen etc.). Sie reduzieren die einfallende Sonnenstrahlung und die Aufheizung der verschatteten Oberflächen. Beides bewirkt eine Verbesserung des thermischen Komforts und kann somit einen Beitrag zur Hitzevorsorge leisten. Die Kühlungswirkung in den verschatteten Bereichen ist je nach Materialität und Durchlässigkeit der Elemente ungefähr vergleichbar mit der Verschattung durch Bäume. Allerdings fällt der Effekt der Verdunstungskühlung bei dieser Maßnahme weg.

Zudem empfiehlt sich die Nutzung konstruktiver Verschattungselemente vor allem an solchen Orten, an welchen sich voraussichtlich häufig sensible Bevölkerungsgruppen aufhalten (z.B. Spielplätze und Schulhöfe) oder an welchen sich regelmäßig Menschen treffen oder aufhalten (z.B. Marktplätze oder auch Haltestellen des öffentlichen Nahverkehrs).

Referenzen/Gute Beispiele

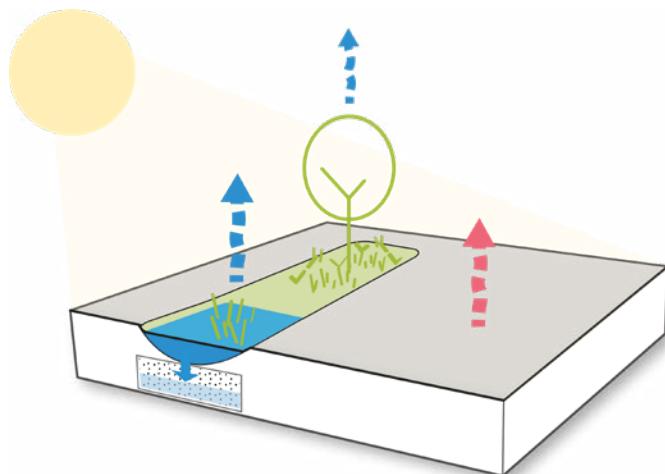
- Neugestaltung des Marktplatzes in Fritzlar
- Klimzug Nordhessen – Sonnenschutz an Haltestellen des ÖPNV

Wechselwirkungen

Durch die Einrichtung von Verschattungselementen im öffentlichen Raum kann die städtebauliche Gestaltung und dadurch die Aufenthaltsqualität verbessert werden. In Einzelfällen können jedoch Konfliktpotenziale mit denkmalpflegerischen Belangen bestehen.

Potenzialräume in Marburg

Grundsätzlich profitieren alle öffentlichen Räume, die starker Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind in sommerlichen Hitzewellen von einer Beschattung. Für den Einsatz mobiler Verschattungselemente sollten vor allem stark frequentierte Stadtplätze und Straßenräume in der Marburger Innenstadt in Betracht gezogen werden. Dies betrifft vor allem diejenigen Flächen, die aufgrund ihrer Funktion oder Untergrundbedingungen (Leitungen, Altlasten) keine Bepflanzung zulassen.



Versickerungsmulden und Rigolen



Beschreibung

Die Anlage von (begrünten) Versickerungsmulden leistet einen wichtigen Beitrag zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung. Durch die Stärkung des natürlichen Wasserkreislaufs und dadurch Verbesserung des Bodenwasserhaushalts leistet die Maßnahme einen Beitrag zur Hitzevorsorge: Durch Rückhalt und Speicherung des Niederschlagswassers ist die Vegetation in Trockenperioden besser mit Wasser versorgt. Dadurch erhöht sich ihre Verdunstungsleistung und der daraus resultierende Kühleffekt.

Versickerungsmulden können grundsätzlich mit Rigolen-systemen kombiniert werden. Diese wirken einerseits als Puffer bei länger andauernden Regenfällen: Fällt mehr Niederschlagswasser an, als über den Boden versickern kann, wird das Wasser in der Rigole zwischengespeichert und anschließend langsam versickert. Zusätzlich können Rigolen auch gezielt zur längeren Speicherung von Niederschlagswasser eingesetzt werden.

Weiterhin können Mulden-Rigolensysteme einen Beitrag zur Vermeidung starkregenbedingter Überflutungen leisten. Die Anlagen können gezielt so dimensioniert werden, dass für den Starkregenfall Retentionsvolumina vorgesehen sind, in welchen ein Teil des anfallenden Niederschlagswassers aus dem umliegenden Stadtraum schadfrei zurückgehalten werden kann. Im Anschluss an das Ereignis kann das Wasser entweder gedrosselt abgeleitet werden oder versickern.

Auch die Versickerung von Straßenabwasser über Mulden und Rigolen ist möglich, sofern der Grundwasserschutz

gewährleistet ist. Dazu müssen je nach Art und Umfang der Belastung des Wassers Maßnahmen zur Schadstoffentfernung (z.B. über bewachsenen Oberboden, Filter- oder Sedimentationsanlagen) vorgesehen werden. Vorteile einer Muldenversickerung sind die geringen Herstellungskosten, die Wartungsfreundlichkeit und die hohe biologische Reinigungsleistung.

Wechselwirkungen

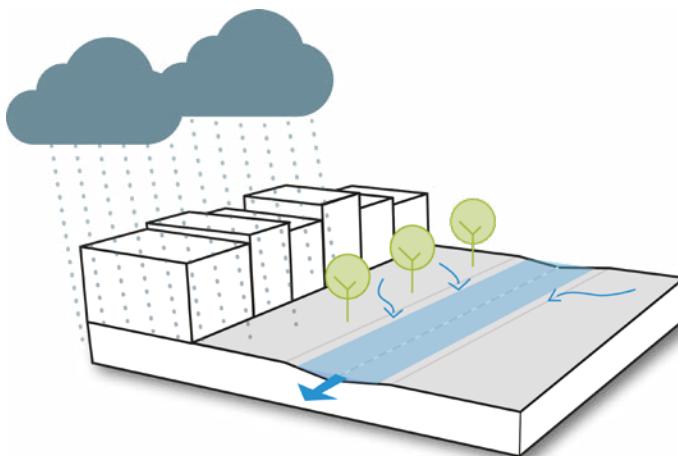
Die Maßnahme kombiniert die Belange der Hitze- und Überflutungsvorsorge und leistet gleichzeitig einen Beitrag zu dezentralen Regenwasserbewirtschaftung.

Potenzialräume in Marburg

Umsetzungspotenziale bieten sich vor allem entlang breiter Straßen und auf öffentlichen Plätzen in Marburg. Durch den Rückbau von Verkehrsflächen (Fahrspuren etc.) im Zuge der Verkehrswende kann langfristig Raum für Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung geschaffen werden.

Referenzen/Gute Beispiele

- Mulden-Rigolensysteme im Quartier Vauban, Freiburg im Breisgau
- Regenwasserbewirtschaftung in Hannover Kronsberg
- Regenwasserbewirtschaftung in Neubaugebieten (Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz 2008)



Notabflusswege



Beschreibung

Durch den technischen Ausbau des Straßenraums bzw. der Fahrbahn (oder von Teilen dieser) als temporärer Abflussweg bei außergewöhnlichem Starkregen kann durch die kontrollierte Abführung des Niederschlags die Überflutung des umliegenden Stadtraums verhindert werden. Dies kann beispielsweise durch den gezielten Einsatz von Hochborden und/oder durch die Einrichtung eines umgekehrten Dachprofils mit einer Mittelrinne erreicht werden. Bei einem gewöhnlichen Niederschlagsereignis wird das Regenwasser über die üblichen Ableitungselemente gezielt dem Kanalnetz zugeführt oder dezentral versickert. Das abfließende Wasser zu Beginn eines Niederschlags ist meist stärker verschmutzt (z.B. durch die Auswaschung von abgelagerten Schadstoffen von Verkehrsoberflächen) - dieses verschmutzte Wasser wird weiterhin durch die Kanalisation abgeleitet. Nur im seltenen Fall eines Starkregens werden Abflüsse oberflächig über die Straße oder dafür vorgesehene Rinnen direkt Richtung Oberflächen Gewässer oder in dafür geeignete Retentionsflächen geleitet. Notabflusswege können (unter Beachtung der Auswirkungen auf Dritte) in erheblichem Maße zur Entlastung des Kanalnetzes beitragen und dadurch Kanalüberstand und resultierende Überflutungen in Senken und Tiefpunkten verhindern.

Es ist zu beachten, dass sich nicht jede Straße für eine gezielte Notentwässerung eignet. Voraussetzung ist zunächst ein durchgängiges und ausreichendes Gefälle von den zu entwässernden Flächen zum Tiefpunkt und ausreichende Retentionsmöglichkeiten am Ziel der Ableitung. Andererseits sollte das Längsgefälle der Straßen nicht so

steil sein, dass durch die Fließgeschwindigkeiten Gefahren entstehen können.

Neben den Fahrbahnflächen können auch Rinnen oder Flutmulden als zusätzliche oder separate Notabflusswege im Bereich von Retentionsflächen zur Ableitung von Starkniederschlägen dienen.

Wechselwirkungen

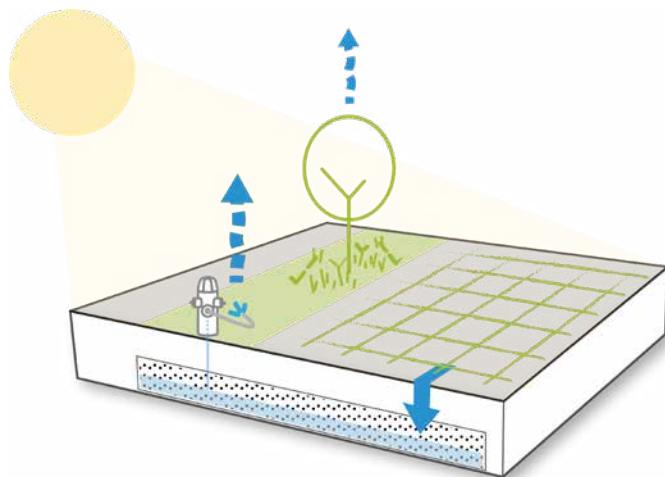
Im Zuge der Umsetzung der Maßnahme ist darauf zu achten, dass die Ableitung von Niederschlägen über Notwasserwege keine Gefahr für Verkehrsteilnehmende darstellt. Zusätzlich ist sicherzustellen, dass die Maßnahme keine Einschränkungen in der Barrierefreiheit öffentlicher Verkehrsflächen darstellt.

Potenzialräume in Marburg

Im Oberlauf von sich im Starkregenfall ausbildenden Fließwegen hin zu überflutungsgefährdeten Senken sollten Notwasserwege gezielt dazu eingesetzt werden, dass Wasser von den Risikobereichen weg Richtung Vorflut oder in Retentionsraum zu führen.

Referenzen/Gute Beispiele

- Scharnhauser Park, Ostfildern
- Hannover Kronsberg
- Entwässerungskonzept Parkstadt Süd, Köln



Unterirdische Füllkörper

Beschreibung

Bei begrenzten Verhältnissen oder Nutzungskonflikten im öffentlichen Raum kann zur Erhöhung des Speichervolumens von Niederschlagswasser punktuell auf die Rückhaltung in unterirdischen Speichersystemen aus Kunststoff zurückgegriffen werden. Diese Füllkörper besitzen in der Regel einen unterirdischen Zulauf und ihr Aufbau ermöglicht eine nahezu freie Nutzung der darüber liegenden Oberfläche. Ihre Entleerung kann vorzugsweise über Versickerung oder alternativ durch eine gedrosselte Ableitung in den Kanal erfolgen. Füllkörperrigolen haben wegen ihres hohen Porenvolumens im Vergleich zu Kiesrigolen oder Drainagerohren einen sehr geringen Flächenbedarf und weisen ein deutlich höheres Rückhaltevolumen bei geringerem Gewicht auf. Auch die hohe Belastbarkeit und Langlebigkeit sprechen für den Einsatz von Speichermodulen.

Unterirdische Füllkörper können ebenfalls genutzt werden, um Regenwasser zurückzuhalten, das in Trockenperioden für die Grünbewässerung genutzt werden kann. Aus Sicht der Starkregenvorsorge ist bei der Bemessung des Füllstandes jedoch neben dem Netzvolumen auch ein Retentionsvolumen vorzusehen, um die Rückhaltung von Abflussspitzen zu gewährleisten.

Unter Umständen können auch Teile von Bauwerken zur Rückhaltung und Speicherung von Niederschlagswasser bei Starkregen herangezogen werden. Beim Neubau unterkellerter Gebäude und Infrastrukturen sollte immer auch die Kombination mit Retentionsmaßnahmen geprüft werden. Häufig bietet die Schaffung unterirdischer Bauwerke Möglichkeiten, Lufträume oder Restflächen (z.B.

unterhalb von Zufahrtsrampen zu Tiefgaragen) als temporäre Retentionsräume für Abflussspitzen zu nutzen. Tiefgaragen selbst bieten grundsätzlich viel Rückhalteraum und könnten zukünftig als Folgenutzung für die Starkregenvorsorge genutzt werden. Hier sind allerdings Einzelfallprüfungen hinsichtlich der Statik und vollständiger Entleerungsmöglichkeit erforderlich. Bei allen derartigen Systemen ist zu beachten, dass Starkregenabflüsse durch meist erhöhte Schwebstofffrachten zu einer Verschlammung der Rückhalteraume führen können.

Wechselwirkungen

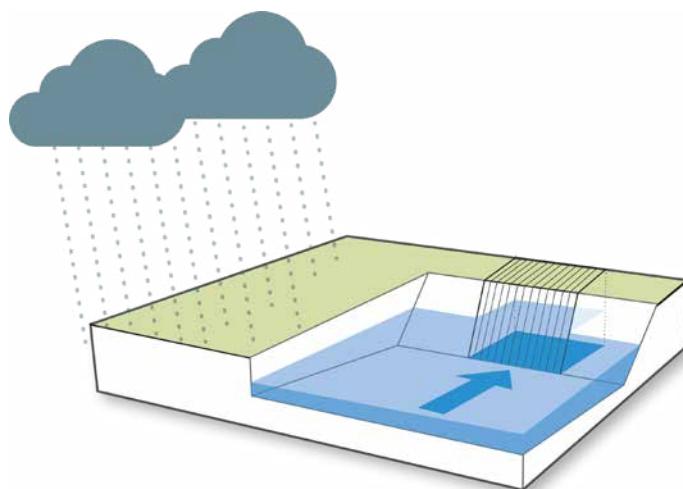
Die Maßnahme bietet Potenziale Überflutungsvorsorge, Trockenheitsvorsorge und dezentrale Regenwasserbewirtschaftung miteinander zu verknüpfen.

Potenzialräume in Marburg

Insbesondere bei der Herstellung/Sanierung von Flächen für den ruhenden Verkehr sollte geprüft werden, inwiefern unterirdische Füllkörper integriert werden können. Dies ist insbesondere sinnvoll, wenn sich in direkter Nähe Grünflächen (oder auch rasenbestandene Sportplätze) befinden, auf welchen das Wasser in Trockenperioden zur Bewässerung genutzt werden kann.

Referenzen/Gute Beispiele

- Zollhallenplatz Freiburg



Entschärfung von Abflusshindernissen



Beschreibung

Die Analyse der Ursachen starkregenbedingter Überflutungen zeigt, dass insbesondere Bereiche rund um hydraulische Engpässe immer wieder zu den Schadensschwerpunkten gehören. Diese Punkten muss daher erhöhte Aufmerksamkeit hinsichtlich baulicher Anpassungen und betrieblicher Überwachung zukommen. Aufgrund der besonderen topographischen Lage Marburgs im Lahntal und den umliegenden Seitentälern, gibt es viele kleinere Bäche im Stadtgebiet. Zu Abflusshindernissen zählen die meisten Einlaufbauwerke an der Schnittstelle zwischen offenen und verrohrten Gewässerbereichen, Durchlässe, Düker sowie Einlaufpunkte des Kanalnetzes (Straßeneinläufe, Gullis). Einlaufbauwerke sollten so gestaltet und unterhalten werden, dass die Funktionsfähigkeit auch bei Starkregen erhalten bleibt und ein Versagen dieser Bauwerke die Situation für Ober- und Unterlieger nicht zusätzlich verschärft. Bei der Ausgestaltung von Einlaufbauwerken von offenen in verrohrte Gewässerabschnitte sind dreidimensionale Rechenanlagen vorzusehen und die Querschnitte der Durchlässe kritisch zu prüfen. Kritische Anlagen können zusätzlich mit Alarm- und Meldeeinrichtungen versehen werden. Zudem ist die Anordnung von ausreichenden Straßeneinläufen beim Straßenbau frühzeitig zu berücksichtigen. Neben punktuellen Einlaufbauwerken (Gullis) bieten sich auch Rinnensysteme zu Ableitung an.

Der Reinigungszyklus der Anlagen sollte an die Gefahrensituation angepasst werden. Planungshinweise sind in einschlägigen Regelwerken und Forschungsprojekten umfassend beschrieben. Im Rahmen der Planung sollten nicht nur offensichtliche Einlaufbauwerke sorgsam

geprüft werden, sondern auch die Lage von Bauwerken und Abflusshindernissen an „schlafenden Gewässern“, die erst bei außergewöhnlichen Starkregenereignissen Wasser führen.

Potenzialräume in Marburg

Alle identifizierten hydraulischen Engpässe stellen Potenzialräume für die Umsetzung der Maßnahme dar. Im Verrohrungskataster wurde zudem eine Priorisierung der Verrohrungen nach Handlungsbedarf vorgenommen.

Referenzen/Gute Beispiele

- Geröllfang Karlsruhe

4.3

Maßnahmen an Gebäuden



Die klimaangepasste Gestaltung von Gebäuden verfolgt vier Ziele: Zum einen umfasst sie Maßnahmen, welche zu einer Verbesserung des thermischen Komforts in Innenräumen beitragen. Andererseits können Anpassungsmaßnahmen an der Gebäudehülle zusätzlich eine kleinräumige Verbesserung des Mikroklimas im angrenzenden Stadtraum bewirken. Die dritte Maßnahmenkategorie umfasst Objektschutzmaßnahmen, die Gebäude vor Schäden durch starkregenbedingte Überflutungen schützen. Darüber hinaus beinhaltet die letzte Kategorie Maßnahmen, mit Hilfe derer Gebäude durch den gezielt Rückhalt von Niederschlagswasser selbst einen Beitrag zur Überflutungsvorsorge leisten können.

Die Anpassung des Gebäudebestandes ist im Zuge der erwarteten Zunahme von Hitzewellen im Zuge des Klimawandels besonders wichtig. Der thermische Komfort in Wohnräumen, aber auch am Arbeitsplatz ist für die Gesundheit von zentraler Bedeutung. Eine über mehrere Tage andauernde hohe thermische Belastung in Innenräumen begünstigt Hitzestress, mindert das allgemeine Wohlbefinden und reduziert die Leistungsfähigkeit. Folgende Aspekte spielen bei der klimagerechten Anpassung von Gebäuden eine besondere Rolle:

- **Dämmung und Gebäudekühlung:** Eine Verbesserung der Gebäudedämmung, die auch durch Dach- oder Fassadenbegrünung erzielt werden kann, mindert die Aufheizung von Innenräumen in

sommerlichen Hitzeperioden. Dies ist jedoch für die Herstellung eines komfortablen Innenraumklimas im Zuge des Klimawandels jedoch vielerorts nicht mehr ausreichend. Auch die technische Gebäudekühlung gewinnt in der Klimaanpassung daher zunehmend an Bedeutung.

- **Strahlungsbilanz:** Durch die Optimierung der Strahlungsbilanz kann die Aufheizung der Gebäudehülle (Fassaden und Dach) reduziert werden. Dies mindert einerseits auch die Aufheizung des umliegenden Stadtraumes, ist bei unzureichend gedämmten Gebäuden und in längeren Hitzeperioden jedoch auch positiv für das Innenraumklima. Maßnahmen umfassen beispielsweise die Beschattung von Fassaden zur Verringerung der direkten Einstrahlung (durch Verschattungselemente oder Fassadenbegrünung) und die Verringerung der Wärmespeicherung durch Erhöhung des Rückstrahlvermögens der Oberflächen (durch Verwendung heller Materialien und Farben).
- **Objektschutz:** Zum Schutz von Gebäuden durch starkregenbedingte Überflutungen gibt es zahlreiche Maßnahmen.
- **Retention:** Durch den Rückhalt von Niederschlägen auf oder in Gebäuden (z.B. durch Retentionsdächer oder Zisternen) können diese einen Beitrag zur Überflutungsvorsorge leisten.



Fassadenbegrünung

Beschreibung

Durch eine Begrünung von Fassaden kann ein Beitrag zur Reduktion der städtischen Überhitzung und zur Verbesserung des Innenraumklimas geleistet werden. Begrünte Fassaden heizen sich weniger auf als herkömmliche Fassaden, wodurch sie weniger Wärme an den umliegenden Stadtraum abgeben. Gleichzeitig bewirkt der Verdunstungseffekt der Vegetation eine weitere Abkühlung. Zusätzlich reduziert sich durch den Schattenwurf der Vegetation auf die Hauswand und die Luftschicht im Zwischenraum die Wärmeaufnahme des Gebäudes. Somit kann durch Fassadenbegrünung sowohl der thermische Komfort in den angrenzenden Freiräumen, als auch im Gebäudeinneren verbessert werden. Auf Straßenniveau ist Fassadenbegrünung in thermischer Hinsicht wirksamer als eine Dachbegrünung.

Grundsätzlich kann bei Fassadenbegrünung zwischen einer bodengebundenen und einer fassadengebundenen Begrünung unterschieden werden. Während Erstere auf Straßenniveau in dafür vorgesehenen Elementen angepflanzt wird und an Rankhilfen entlang der Fassade geleitet wird, wächst letztere direkt in dafür vorgesehenen, in die Fassade integrierten Elementen. Fassadengebundene Begrünungssysteme benötigen grundsätzlich eine permanente und bedarfsgerechte Wasser- und Nährstoffversorgung (u.U. lässt sich Regenwasser von den Dachflächen zu Bewässerungszwecken nutzen).

Wechselwirkungen

Ob eine Fassadenbegrünung Synergien mit der Regenwasserbewirtschaftung aufweist, hängt von ihrer

Umsetzung ab: in den Pflanzgruben bodengebundener Systeme kann Regenwasser zurückgehalten und versickert werden, bei fassadengebundenen Systemen ist der Retentionseffekt meist geringer. Zur Überflutungsvorsorge eignen sich Fassadenbegrünungen demnach nur sehr eingeschränkt. Für die Luftreinhaltung sind begrünte Fassaden von Vorteil: die Vegetation filtert Feinstaub und Schadstoffe aus der Luft und verbessert dadurch die Luftqualität. Auch für die urbane Biodiversität sind begrünte Fassaden positiv: sie bilden Lebensräume und schaffen unter Umständen auch Nahrungsangebote. Der Einfluss einer Fassadenbegrünung auf das Stadtbild ist abhängig von der konkreten Umsetzung, wird jedoch meist positiv gesehen. Unter Umständen können Konflikte mit Belangen des Denkmalschutzes entstehen.

Potenzialräume in Marburg

Zahlreiche Bauwerke (Neubau und Bestand) in Marburg eignen sich für eine Fassadenbegrünung, z.B. Parkhäuser, Öffentliche Gebäude (Schulen, Kitas, Verwaltung), Neubaugebiete (über Festsetzungen)

Referenzen/Gute Beispiele

- Institutsgebäude PTH St. Georgen, Frankfurt am Main
- Bebauungsplan Wiesbaden-Künstlerviertel
- Fassadenbegrünung (TU Darmstadt 2016): Gutachten über quartiersorientierte Unterstützungsansätze von Fassadenbegrünungen für das MKUNLV, NRW
- Grüne Innovation Fassadenbegrünung - Positive Wirkungen, Grundlagenwissen, Praxisbeispiele (Bundesverband GebäudeGrün e.V. 2018)



Dachbegrünung

Beschreibung

Durch die Begrünung der Dächer von Bestandsgebäuden und Neubauten, sowie von (Tief-)Garagen kann sowohl das Lokalklima, als auch das Innenraumklima verbessert werden. Grundsätzlich wird zwischen einer intensiven und extensiven Dachbegrünung unterschieden. Die extensive Dachbegrünung zeichnet eine geringmächtige Substratauflage und Bepflanzung mit Moosen, Sedum-Arten, Gräsern und Kräutern aus. Bei dieser Art der Dachbegrünung ist der Wartungsaufwand gering und eine Bewässerung nicht notwendig. Demgegenüber ist eine intensive Dachbegrünung sowohl in der Anlage, als auch in der Pflege aufwendiger: sie verfügt über eine mächtigere Substratauflage, auf welcher auch Rasen, Stauden, Sträucher und sogar Bäume angepflanzt werden können. Der stadtclimatische Effekt einer intensiven Dachbegrünung ist höher, da durch das höhere Gesamtvolumen der Vegetation und des Bodens der Effekt der Verdunstungskühlung größer ist. Grundsätzlich ist der stadtclimatische Effekt von Gründächern am höchsten auf Dachniveau. Nur durch die Begrünung vieler Dächer kann ein signifikanter Kühlungseffekt auf Block- und Stadtteilebene erzielt werden. Auch die Wasserverfügbarkeit hat einen entscheidenden Einfluss auf die Wirksamkeit der Maßnahme: Bei einer Austrocknung der Vegetation bleibt der Kühleffekt aus.

Die Begrünung von Dächern wirkt sich zusätzlich positiv auf das Innenraumklima aus: Das Dach heizt sich weniger auf, was auch zu einer geringeren Aufheizung der Räume im Dachgeschoss führt. Zusätzlich wirkt die Substratauflage dämmend.

Eine besondere Form der Dachbegrünung stellt das Retentionsgründach dar. Hierbei wird der Ablauf der Dachfläche mit einem Drossellelement versehen, wodurch gezielt eine größere Regenmenge auf dem Dach zurückgehalten werden kann, als bei „normalen“ Gründächern (die Dachkonstruktion muss auf die zeitweilige Belastung mit Wasser ausgelegt sein). Das gespeicherte Wasser kann einerseits zur Bewässerung der Dachbegrünung genutzt werden, aber auch zeitlich verzögert im Gebäudeumfeld einer Versickerungsanlage oder der Kanalisation zugeführt werden. Die Zwischenspeicherung des Niederschlagswassers erfolgt in einem separaten Stauraum unterhalb der Begrünung, die entweder intensiv oder extensiv sein kann.

Wechselwirkungen

Es bestehen positive Wechselwirkungen mit einer dezentralen Regenwasserbewirtschaftung: Da die Vegetation und das Bodensubstrat Wasser speichern und über die Verdunstung auch wieder abgeben, fällt bei Häusern mit begrünten Dächern weniger Abwasser an. Auch für die Starkregenvorsorge sind begrünte Dächer und im besonderen Maße Retentionsgründächer von Vorteil, da sie einen Anteil des Niederschlags zurückhalten und drosseln und somit Überflutungen vorbeugen können.

Da die Vegetation auf Gründächern Feinstaub und Schadstoffe binden kann, trägt die Maßnahme ebenfalls zur Verbesserung der Luftqualität bei. Daneben können Gründächer, insbesondere Intensivgrünräder und Dachgärten auch einen positiven Einfluss auf das lokale Stadtbild haben. Zusätzlich können Dachgärten in dicht bebauten Quartieren die Grünversorgung der Bevölkerung erhöhen



Gründächer verbessern nicht nur das Mikroklima, sondern können auch attraktive grüne Rückzugsräume in der Stadt darstellen (oben rechts). In Kombination mit Retentionselementen können zusätzlich Synergien mit der Starkregenvorsorge und Regenwasserwirtschaft erzeugt werden (unten).

und als Erholungs- und Rückzugsräume dienen. Und auch für das urbane Ökosystem und die Biodiversität sind Gründächer positiv, indem sie beispielsweise als Rückzugsräume oder Nahrungslieferanten für Insekten und Vögel dienen. Grundsätzlich gilt es den Konflikt zwischen Wasserknappheit und Grünbewässerung zu berücksichtigen. In längeren Trockenperioden kann eine Bewässerung intensiver Dachbegrünung nötig sein, diese sollte jedoch idealerweise durch gespeichertes Regenwasser (Retentionsgrün-dach, Zisterne) erfolgen.

Nicht zuletzt können Gründächer auch positive Wechselwirkungen zwischen Klimaanpassung und Klimaschutz erzeugen: eine Dachbegrünung schließt eine energiewirtschaftliche Dachnutzung nicht aus. Die Verdunstungskühlung der Vegetation kann der Ertrag einer Photovoltaikanlage sogar steigern, da diese einen höheren Wirkungsgrad aufweist, wenn sie sich weniger aufheizt.

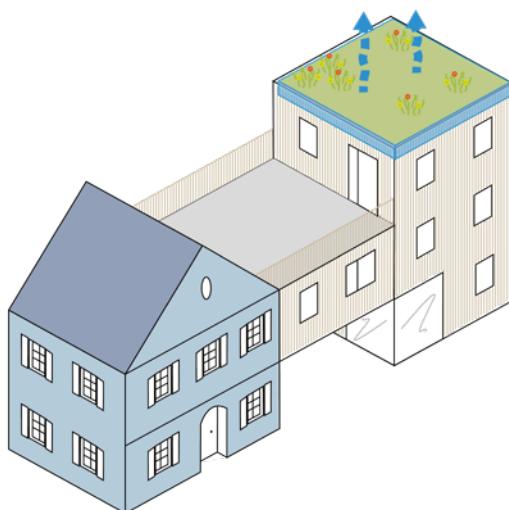
Potenzialräume in Marburg

Nicht alle Dächer eignen sich für eine Begrünung. Am besten geeignet sind Flachdächer oder leicht geneigte Dächer (Neigung < 10°). Bei der Abwägung einer Begrünung

spielt ferner die Frage der statischen Belastbarkeit des Daches eine entscheidende Rolle. Dabei sind ausreichende Sicherheitsreserven für Schneelasten und das Begehen der Dächer zu berücksichtigen. Insbesondere im Fall einer Nachrüstung eines bisher unbegrünten Daches ist die Statik unbedingt vorab zu prüfen. Im Neubau können Dachbegrünungen durch Festsetzungen im Bebauungsplan vorgeschrieben werden. In Marburg bieten sich für eine Dachbegrünung neben gewerblich genutzten Gebäuden vor allem die Hochhäuser des Richtsbergs sowie die jüngeren Solitärbauten und Ensemble der Universität und des Universitätsklinikums an. Einen wichtigen Anhaltspunkt bietet das Gründachkataster der Stadt Marburg.

Referenzen/Gute Beispiele

- Bebauungsplan Wiesbaden-Künstlerviertel
- Grüne Innovation Dachbegrünung - Positive Wirkungen, Grundlagenwissen, Praxisbeispiele (Bundesverband GebäudeGrün e.V. 2018)
- Merkblatt zu den Richtlinien der Universitätsstadt Marburg für die Gewährung von Gründach-Zuschüssen



Retentionssächer

Beschreibung

Herkömmliche Gründächer können durch die häufig sehr geringmächtige Substratauflage im Fall eines außergewöhnlichen Starkregens nur in geringem Maße zum Rückhalt des anfallenden Niederschlagswassers beitragen. Sollen Dächer dazu genutzt werden auch bei stärkeren Niederschlägen einen substanziellen Anteil des Regenwassers zurückzuhalten bietet sich die Ausgestaltung als Retentionsgründach oder Blue Roof an. Das Hauptmerkmal von Retentionsgründächern ist, dass sie nicht nur eine Drainageschicht umfassen, die anfallendes Wasser aufnimmt, sondern unterhalb des eigentlichen Begrünungsaufbaus zudem über künstliche Stauräume verfügt. Dort kann Niederschlagswasser zurückgehalten und über ein Drossellelement, das im Ablauf verankert ist, langsam in einem definierten Zeitraum (zwischen 24 Stunden und mehreren Tagen) in die Kanalisation abgeleitet werden. Erst bei Überschreitung der maximalen Rückhaltekapazität der Füllkörper wird das überschüssige Regenwasser über Notüberläufe in die angrenzenden Freiräume oder Verkehrsflächen geleitet. Das zurückgehaltene Wasser kann ferner zur Bewässerung der Dachbegrünung genutzt werden, was eine andere Artenzusammensetzung und ein höheres Grünvolumen als auf herkömmlichen Gründächern erlaubt.

Bei einem Blue Roof wird ein großflächiges Regenrückhaltebecken auf der Dachfläche vorgesehen, das in der Lage ist, Regenwasser aufzufangen und temporär zu speichern. Im Gegensatz zu Retentionsgründächern dient diese Maßnahme ausschließlich dem Rückhalt und der gedrosselten Ableitung von Starkniederschlägen.

Einige Kommunen in Deutschland forcieren die Umsetzung

von Retentionsgründächern bereits über deren Festsetzung in Bebauungsplänen (vgl. Referenz Bocholt). Inwiefern dies auch in Marburg möglich ist, müsste geprüft werden.

Wechselwirkungen

Gründächer leisten im Sinne der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung grundsätzlich einen äußerst positiven Beitrag zur Abflussminderung. Zwar ermöglicht das Gründach keine Versickerung des zurückgehaltenen Niederschlags, fördert jedoch dessen Verdunstung und leistet somit einen Beitrag zur Hitzevorsorge (die höchsten Kühlungseffekte werden allerdings auf Dachniveau erzielt).

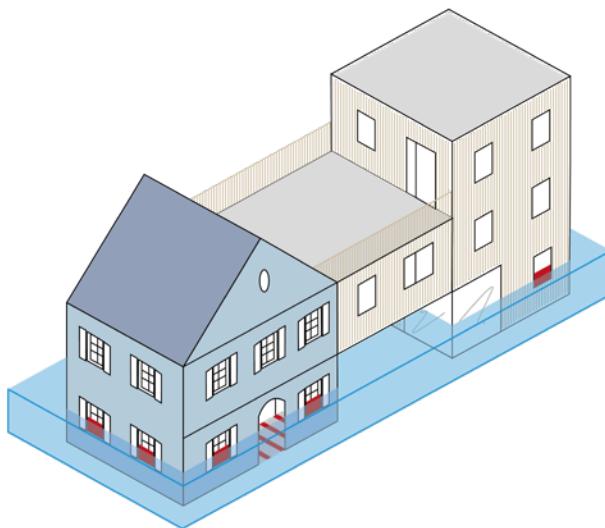
Blue Roofs werden im Gegensatz dazu ausschließlich für die Überflutungsvorsorge bei Starkregen eingesetzt. Da zurückgehaltene Wasser im Anschluss an das Niederschlagsereignis gedrosselt abgeleitet wird, entstehen keine Synergien mit der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung und Hitzevorsorge.

Potenzialräume in Marburg

Beide Maßnahmen erfordern Flachdächer mit vergleichsweise große Lastreserven, um im Falle eines Starkniederschlags entsprechende Wassermassen zurückhalten zu können. Im Bestand sind die Maßnahmen daher häufig nur mit größerem Aufwand umsetzbar und sollten eher bei Neuplanungen in Betracht gezogen werden.

Referenzen/Gute Beispiele

- Gesundheitszentrum Sanoforum, Brunssum
- Bebauungsplan „Auf dem Dannenkamp“, Bocholt
- Soho House, Amsterdam



Objektschutz



Beschreibung

Maßnahmen des Objektschutzes an privaten bzw. öffentlichen Gebäuden bzw. Infrastrukturen verfolgen das Ziel, dass auch bei hohen Wasserständen keine oder nur geringe Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen entstehen. Objektschutzmaßnahmen umfassen einerseits die Abschirmung des Gebäudes vor Überflutungen z.B. durch Mauern oder Schwelten. Ist eine Abschirmung nicht möglich oder nicht ausreichend, kann auch die Abdichtung der Gebäudehülle zur Verhinderung des Eintretens von Wasser angestrebt werden (z.B. durch Tore vor Tiefgaragenzufahrten, fludichte Kellerfenster an Lichtschächten etc.). Auch die sogenannte „nasse Vorsorge“ kann einen Beitrag zur Schadensprävention leisten: dabei wird ein Gebäude so gestaltet, dass auch ein hoher Wasserstand keine oder nur sehr geringe Schäden hervorruft. Bei der Planung des Gebäudes wird der Entwurf bewusst an die Möglichkeit einer Überflutung angepasst (z.B. durch Aufständerung des Gebäudes oder die Schaffung der Möglichkeit der gezielten Flutung bestimmter Gebäudeteile, die an diese Belastung angepasst sind).

Wechselwirkungen

Objektschutzmaßnahmen dienen ausschließlich der Prävention von Schäden im Falle einer Überflutung. Sie haben keinen Effekt auf das Lokalklima, die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung oder die Vermeidung hoher Wasserstände. Bei der Auswahl von Maßnahmen zur Überflutungsvorsorge ist es von essentieller Bedeutung, dass die einzelnen Lösungen ineinander greifen und sich gegenseitig ergänzen. Es ist zudem grundsätzlich zu vermeiden, dass Maßnahmen der Starkregenvorsorge an einem Ort,

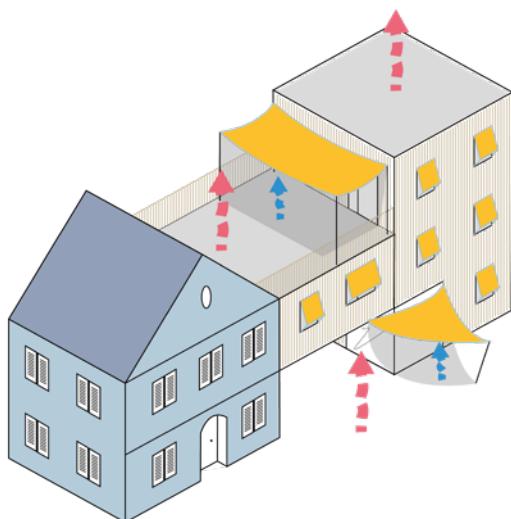
zu einer Verschärfung der Überflutungsgefahr an einem anderen Ort führen.

Potenzialräume in Marburg

Maßnahmen des Objektschutzes sollten prioritätär an Objekten umgesetzt werden, die in besonders überflutungsgefährdeten Bereichen liegen oder deren Beschädigung die Daseinsvorsorge der Bevölkerung beeinträchtigen würde (z.B. Verteilerkästen, Krankenhäuser, Anlagen der Verkehrssteuerung). Im Rahmen des Starkregenrisikomanagements wurde eine stadtgebietssweite Risikoanalyse durchgeführt, die eine erste Einordnung besonders betroffener städtischer Gebäude und Priorisierung der Maßnahmen ermöglicht.

Referenzen/Gute Beispiele

- Wassersensibel Planen und Bauen in Köln – Leitfaden für Hauseigentümer, Bauwillige und Architekten (StEB Köln)



Verschattungselemente am Gebäude



Beschreibung

Die Verschattung von Fassaden mithilfe technischer Elemente wie Lamellen, Jalousien oder Markisen reduziert die Einstrahlung an Fassaden bzw. Fenstern und dadurch die Aufheizung der Gebäudeinnenräume. Die Kühlungswirkung ist abhängig vom Material der Elemente (z.B. Lichtdurchlässigkeit und Albedo) sowie von der Art ihrer Anbringung (z.B. Abstand zur Fassade).

Wechselwirkungen

Da die genannten Verschattungselemente flexibel eingesetzt werden können (z.B. Nutzung von Markisen nur bei hoher Einstrahlung, Montage von Sonnensegeln nur im Sommerhalbjahr), stehen sie dem im Winter angestrebten positiven Effekt von Strahlungsgewinnen nicht entgegen.

Es können Konfliktpotenziale mit denkmalpflegerischen Belangen bestehen.

Potenzialräume in Marburg

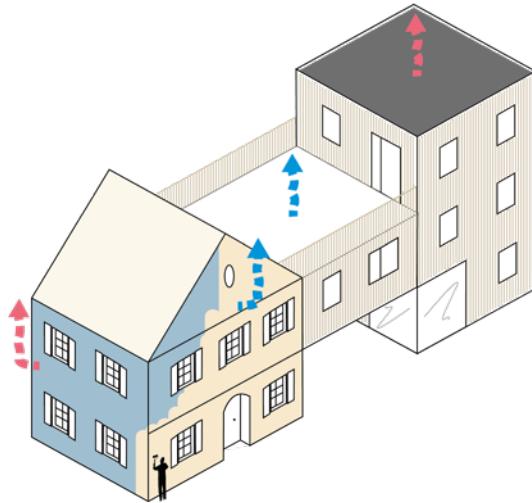
Vor allem Fassaden die eine hohe Sonneneinstrahlung aufweisen (z.B. Südfassaden freistehender Gebäude) profitieren von der Anbringung außenliegender Verschattungselemente. In der Umsetzung sollte die Anpassung von Gebäuden Priorität haben, in welchen sich regelmäßig sensible Bevölkerungsgruppen aufhalten (z.B. Seniorenwohnheime, Kindergärten und Schulen) oder die tagsüber stark frequentiert sind (z.B. Gebäude der Universität, Bürobeäude).

Referenzen/Gute Beispiele

- Verschattungselemente aus Solar- und Holzpanelen

am Rathaus im Stühlinger, Freiburg im Breisgau

- Klimarobust Planen und Bauen - Ein Leitfaden für Gebäude im Bestand (Handwerkskammer Frankfurt-Rhein-Main 2016)
- Sommerlicher Wärmeschutz, aktiv und passiv – ein Leitfaden für Unternehmen, kommunale Verwaltungen und öffentliche Einrichtungen. (Landesenergieagentur Hessen 2020)
- Praxisratgeber Klimagerechtes Bauen - Mehr Sicherheit und Wohnqualität bei Neubau und Sanierung (DIFU 2017)



Farb- und Materialwahl der Gebäudehülle



Beschreibung

Durch die Verwendung heller und glatter Oberflächenmaterialien können Fassaden klimawandelgerecht gestaltet werden. Helle und glatte Oberflächen reflektieren einen höheren Anteil der einfallenden Sonnenstrahlung, als dunkle und raue Oberflächen. So heizen sich beispielsweise weiß verputzte Hauswände weniger stark auf als Natursteinwände. Neben der Albedo, die das oben beschriebene Rückstrahlvermögen einer Oberfläche beschreibt, sind auch die thermischen Eigenschaften (Wärmeleitfähigkeit und Wärmespeicherkapazität) ausschlaggebend für den Einfluss eines Gebäudes auf das umliegende Mikroklima. Speichert eine Fassade nur in geringem Maße Wärme und wird der Wärmedurchgang (z.B. durch Dämmmaterialien) reduziert, beeinflusst dies sowohl das Innenraumklima, als auch das lokale Mikroklima positiv.

Wechselwirkungen

Bei der Auswahl von Materialien, die eine starke sommerliche Aufheizung des Gebäudeinneren und direkten Gebäudeumfeldes verhindern, kann es unter Umständen zu einer Verringerung von Strahlungsgewinnen im Winterhalbjahr kommen (diese werden angestrebt, da sie den Heizwärmebedarf reduzieren) – dies gilt insbesondere für die hohe Albedo heller Oberflächenmaterialien. Eine Anpassung der thermischen Eigenschaften der Gebäudehülle (z.B. durch Dämmung) kann jedoch in beiden Jahreszeiten positive Effekte aufweisen: Im Sommer heizt sich das Gebäudeinnere weniger auf, im Winter geht weniger Wärme verloren.

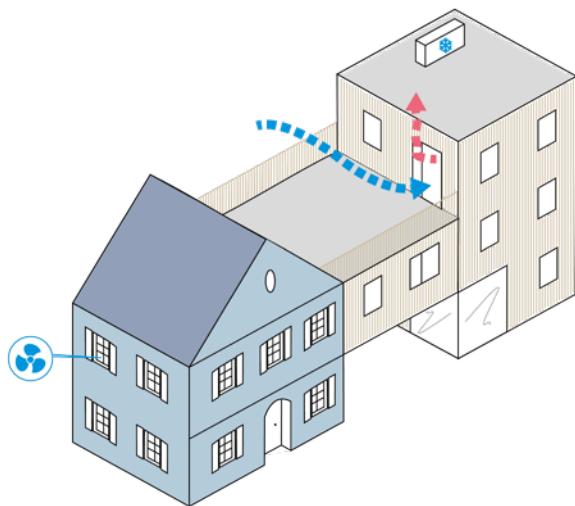
Es können Konfliktpotenziale mit denkmalpflegerischen Belangen bestehen.

Potenzialräume in Marburg

Die Maßnahme lässt sich insbesondere im Neubau umsetzen. Doch auch im Bestand bieten grundsätzlich alle Gebäude mit dunklen Fassaden und mit unvorteilhaften thermischen Eigenschaften (z.B. geringe Dämmung) Potenziale für die Umsetzung. Die thermische Belastung allein wird für die Anpassung des Gebäudes jedoch meist nicht ausschlaggebend sein. Daher sollten ohnehin anstehende Sanierungen von Fassaden als Gelegenheitsfenster verstanden werden, die Farb- und Materialwahl auch hinsichtlich ihrer thermischen Eigenschaften anzupassen.

Referenzen/Gute Beispiele

- Klimarobust Planen und Bauen - Ein Leitfaden für Gebäude im Bestand (Handwerkskammer Frankfurt-Rhein-Main 2016)
- Sommerlicher Wärmeschutz, aktiv und passiv – ein Leitfaden für Unternehmen, kommunale Verwaltungen und öffentliche Einrichtungen. (Landesenergieagentur Hessen 2020)
- Praxisratgeber Klimagerechtes Bauen - Mehr Sicherheit und Wohnqualität bei Neubau und Sanierung (DIFU 2017)



Gebäudekühlung

Beschreibung

Die Gestaltung der Gebäudehülle ist für die Schaffung eines günstigen Innenraumklimas bei Hitze schon heute häufig nicht mehr ausreichend: Dämmung und Verschattung können ein starkes Aufheizen der Innenräume in längeren Hitzeperioden nicht immer verhindern. Daher ist auch die Gebäudetechnik für die Hitzevorsorge von zunehmender Bedeutung. Die Installation klassischer Klimaanlagen soll dabei aufgrund des hohen Energieverbrauchs nicht die bevorzugte Lösung sein. Nachfolgend werden daher einige Alternativen zur klimagerechten Kühlung von Innenräumen vorgestellt.

Nachtlüftung und Querlüftung: Um innerhalb der Gebäude für eine möglichst gute Ventilation zu sorgen, sollte darauf geachtet werden, Möglichkeiten des Querlüftens zu schaffen (z.B. durch Fenster an gegenüberliegenden Außenwänden). Gute Belüftungsmöglichkeiten können die thermische Situation innerhalb des Gebäudes verbessern. Da in gewerblich genutzten Räumen ein ausgiebiges Lüften zur Abkühlung der Innenräume in den kühlen Nacht- und frühen Morgenstunden meist nicht möglich ist, können hier automatisierte Systeme (z.B. Nachtlüftungs-klappen mit Außentemperatursensor) Abhilfe schaffen. Die Ermöglichung von Querlüftung sollte in städtebaulichen Konzepten stets Berücksichtigung finden.

Adiabate Abluftkühlung: Moderne Neubauten sind in der Regel mit Lüftungsanlagen mit Wärmetauscher ausgestattet, die mit einem geringen Mehraufwand auch zur Gebäudekühlung eingesetzt werden können. Dafür wird zurückgehaltenes Regenwasser im Abluftstrom versprüht,

wodurch dieser abköhlt. Am Wärmetauscher wird die wärmeren Zuluft durch die kühle Abluft vorgekühlt.

Absorptionskälteanlagen: Die Absorptionstechnik ist die am häufigsten eingesetzte thermisch betriebene Kälteanlage. Ihr Kühleffekt beruht auf der Ausnutzung der thermischen Eigenschaften eines Kältemittels. Da das System als Kreislauf organisiert ist und einen deutlich geringeren Energieverbrauch aufweist als herkömmliche Klimaanlagen, kann diese Art der Kühlung als klimagerechte Alternative betrachtet werden.

Kühlung mit Eisspeicher-Heizung: Die Eisspeicherheizung macht sich die Eigenschaften von Wasser zunutze: beim Wechsel des Aggregatzustandes von Wasser zu Eis wird eine vergleichsweise große Menge Energie freigesetzt bzw. absorbiert wird. Über einen Wärmetauscher kann dies einerseits im Winter zur Heizung des Gebäudes genutzt werden, während umgekehrt im Sommer damit die Innenräume geköhlt werden können.

Kühlung über Erdreich- oder Grundwasserwärmepumpen: Beide Anlagen ermöglichen eine effiziente, passive Kühlung: überschüssige Raumwärme wird über das Rohrsystem einer Flächenheizung (z.B. Fußbodenheizung) aufgenommen und über den Wärmetauscher abgeführt.

Wechselwirkungen

Mit Ausnahme der Nacht- bzw. Querlüftung stellen die genannten Kühlsysteme Lösungen dar, die aktuell nicht dem Standard entsprechen. Aufgrund der geringen Bekanntheit könnten private Eigentümer:innen weniger geneigt



C

Die Nachtlüftung ist eine gleichermaßen simple und effektive Form der Gebäudekühlung. In Nicht-Wohngebäuden werden dafür am besten automatisch öffnende Nachtlüfterklappen eingesetzt, die auch über einen Einbruchschutz verfügen müssen.

sein diese Lösungen umzusetzen, als gängige Klimaanlagen. Auf Grund des Zielkonfliktes zwischen Klimaanpassung und Klimaschutz, den der hohe Energiebedarf dieser Anlagen begründet, wird an dieser Stelle dennoch auf eine Empfehlung der energieintensiven Gebäudeklimatisierung verzichtet. Es ist mit einem höheren Beratungsaufwand und einem größeren Bedarf an Überzeugungsarbeit zu rechnen, um die Umsetzung der nachhaltigeren Optionen der Gebäudekühlung auch durch Private zu fördern. Im Zuge einer Beratung sollte insbesondere auf die geringeren langfristigen Kosten eingegangen werden (durch den geringen Energiebedarf). Die Stadt Marburg hat zudem die Möglichkeit bei kommunalen Liegenschaften mit gutem Beispiel voranzugehen und so die Bekanntheit und Akzeptanz dieser noch weniger verbreiteten Möglichkeiten der Gebäudekühlung zu fördern.

Potenzialräume in Marburg

Die Maßnahmen finden vor allem im Neubau Anwendung, aber auch im Bestand ist die Aufrüstung von Gebäuden mit den vorgestellten Systemen teilweise möglich. Prioritär sollten Gebäude angepasst werden, in denen sich sensible

Bevölkerungsgruppen aufhalten (z.B. Seniorenwohnanlagen, Schulen, Kindergärten) oder die stark frequentiert sind (z.B. Gebäude der Universität, Rathaus).

Referenzen/Gute Beispiele

- Installation von Nachtlüftungsklappen in der Kinder-tagesstätte Frankfurt-Schwanheim
- Sanierung des Max-Planck-Gymnasiums, Karlsruhe
- Klimarobust Planen und Bauen - Ein Leitfaden für Gebäude im Bestand (Handwerkskammer Frankfurt-Rhein-Main 2016)
- Sommerlicher Wärmeschutz, aktiv und passiv – ein Leitfaden für Unternehmen, kommunale Verwaltungen und öffentliche Einrichtungen. (Landesenergieagentur Hessen 2020)
- Praxisratgeber Klimagerechtes Bauen - Mehr Sicherheit und Wohnqualität bei Neubau und Sanierung (DIFU 2017)
- KLBAU - Weiterentwicklung und Konkretisierung des Klimangepassten Bauens. Handlungsempfehlungen für Planer und Architekten (BBSR 2019)

4.4

Wirksamkeit der Maßnahmen



Maßnahmen zur Verbesserung des Stadtklimas

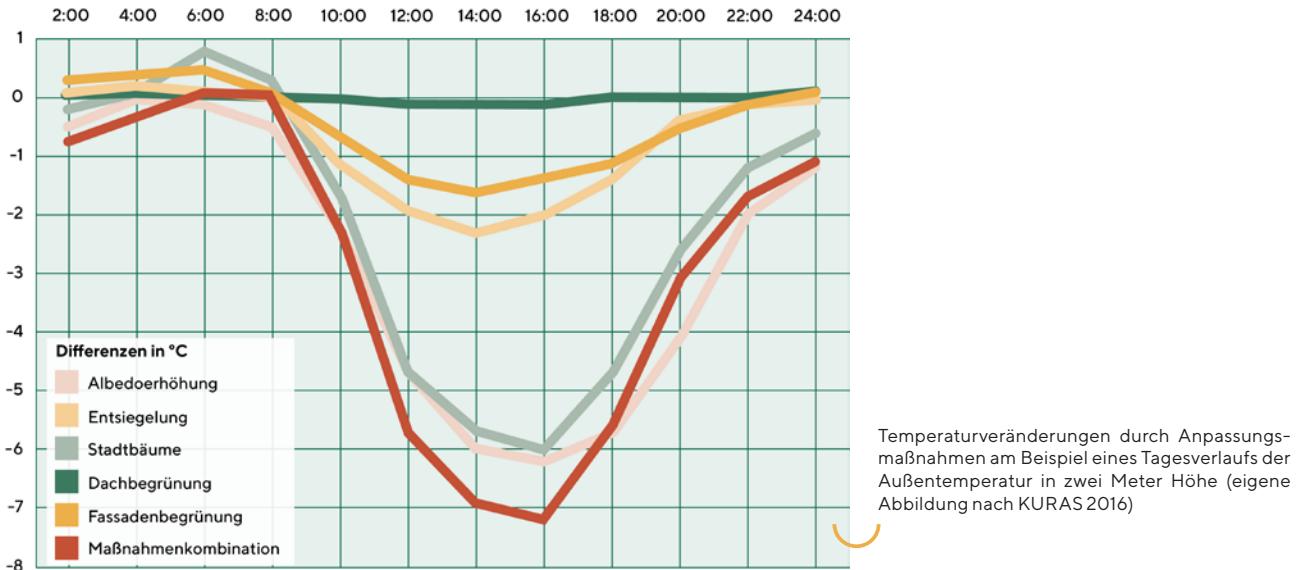
Die Stadt Marburg verfolgt das Ziel, die Wärmebelastung in der Stadt zu senken und die Bevölkerung sowie die lokale Flora und Fauna vor Beeinträchtigungen durch Hitze zu schützen. Grundsätzlich gilt, dass die vorgestellten Anpassungsmaßnahmen eine wichtige Rolle für die Hitze minderung in Marburg spielen. Eine Übersetzung des Ziels in konkrete Grenz- oder Orientierungswerte (etwa zur erlaubten Auftrittshäufigkeit von heißen Tagen oder der maximalen Temperatur in Schlafzimmern) liegt jedoch weder auf Bundes- noch EU-Ebene vor.

Im Folgenden wird erläutert, welche stadtclimatischen Wirksamkeit die verschiedenen Maßnahmen nach sich ziehen. Dabei muss beachtet werden, dass die jeweiligen Maßnahmen zeitlich und räumlich unterschiedlich wirksam sein können, also bspw. nur am Tag oder nur in der Nacht als stadtclimatich günstig einzustufen sind und sich nur auf ihr Nahumfeld oder auch quartiersweit bis hin zu regional auswirken können. Da zudem Wechselwirkungen zwischen den Maßnahmen untereinander sowie zu anderen Handlungsfeldern bestehen (z.B. Luftreinhaltung, Reduzierung von Sturmgefahren, Starkregenvorsorge, etc.), gibt es angesichts der Komplexität noch keine umfassende und gleichzeitig eindeutige Zusammenschau zur Wirksamkeit einzelner Maßnahmen. Allerdings existiert eine Vielzahl an wissenschaftlichen Veröffentlichungen und

praxisbezogenen Projekten, in denen einzelne Maßnahmen bzw. Maßnahmenbündel untersucht wurden. Diese Fallstudien erlauben für viele planerischen Fragestellungen mindestens hilfreiche Hinweise, beantworten jedoch nicht alle Detailfragen und stellen in der Regel vereinfachende Ansätze dar (oftmals werden bspw. nur die zeitlichen oder räumlichen Auswirkungen untersucht).

Je nach Untersuchungsansatz¹ werden bspw. für die Fassadenbegrünung in der Nacht keine Kühlungseffekte bis hin zu einer deutlichen Reduktion der bodennahen Lufttemperatur im Nahumfeld festgestellt (Hoelscher et al. 2016, Stadt Zürich 2020). Für die Situation am Tag und für das Innenraumklima der Gebäude gilt die Fassadenbegrünung dagegen als effektive Maßnahme zur Hitzereduzierung. Die Komplexität zeigt sich auch bei Stadtbäumen, die durch ihre Verschattung und Verdunstung lokal zu einer deutlichen Reduktion der Hitzebelastung am Tag beitragen. Je nach Untergrund ist die bodennahe Lufttemperatur unter Bäumen nachts jedoch ähnlich oder meist sogar höher als im Umfeld, da das Kronendach die Wärmestrahlung zurückhält (Wujeska-Klause, Pfautsch 2020; MVI Baden-Württemberg 2012). Bäume sind zudem nicht

¹ Begrünung von Fassaden in allen oder nur bestimmten Himmelsrichtungen, wo wird gemessen, etc.



an jedem Standort geeignet (Leitungen im Boden, Windwurfgefahr bei Sturm, ggf. Strömungshindernis bei dichtem Bestand) und können die Luftqualität beeinflussen².

Die Beispiele verdeutlichen, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt kaum allgemeingültige Aussagen zur Wirkung einzelner Maßnahmen möglich sind. Daher bleiben die folgenden Ausführungen bewusst auf der Ebene von qualitativen Hinweisen. Es ist jedoch zu erwarten, dass sich in den kommenden Jahren – angetrieben durch das weiter steigende gesellschaftliche Interesse – ein stetiger Erkenntnisgewinn entwickeln wird, der mittelfristig valide und umfassende quantitative Aussagen möglich machen wird.

Was wir über die Wirksamkeit der Maßnahmen wissen

Zu den weitgehend gesicherten Erkenntnissen gehört die Feststellung, dass sich mit vielen der „klassischen“ stadtclimatischen Anpassungsmaßnahmen positive Effekte für den thermischen Komfort erzielen lassen (bspw. Stadt- und Straßenbäume, Entsiegelungen, vertikale Gebäudebegrünungen und die Erhöhung der Albedo von Oberflächen). Die obige Abbildung veranschaulicht an einem Fallbeispiel aus dem Stadtentwicklungsplan Klima Berlin (SenSw 2021), dass sich **die stärksten Wirkungen durch die kleinräumige Kombination von Maßnahmen ergeben**. Der verkürzte Aristoteles-Grundsatz „Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile“ scheint auch für stadtclimatische Maßnahmen zu gelten. Die Abbildung verdeutlicht darüber hinaus eine weitere Erkenntnis, die mit hinreichender Sicherheit übertragbar sein dürfte: **Die klassischen Anpassungsmaßnahmen weisen insbesondere tagsüber eine deutliche Wirksamkeit auf**, während sie in den Nachtstunden weniger bis kaum zur Abkühlung beitragen (Stadt Zürich 2020).

Die Wirkung einer Dachbegrünung auf den Außenraum hängt wesentlich vom betrachteten Maßstab ab. Bei der Begrünung von Dächern auf hohen Gebäuden ist keine stadtclimatische Wirkung auf den thermischen Komfort im Straßenraum nachweisbar (die Maßnahme ist „zu weit entfernt“). Für flache Gebäude bis ca. 5 m Höhe (bspw. Garagenhöfe) gibt es dagegen Hinweise, dass sich eine intensive Dachbegrünung positiv bis auf das bodennahe Umfeld auswirken kann (KURAS 2016). Auf Dachniveau sind unabhängig von der Gebäudehöhe positive Effekte mit einer Dachbegrünung verbunden, bspw. eine (mitunter deutliche) Reduktion der Oberflächentemperatur (TU Darmstadt 2013), die auch durch eine Erhöhung der Albedo erreicht werden kann („weiße Dächer“). Aus stadtclimaticher Sicht gibt es also verschiedene Möglichkeiten zur Dachgestaltung, um die Gebäudeenergie zu verbessern. Eine Dachbegrünung bietet darüber hinaus weitere Vorteile (Rückhalt von Regenwasser, Beitrag zur Biodiversität, etc.), die bei einer intensiven statt extensiven Begrünung stärker ausfallen.

Ein weiterer Punkt ist, dass blau-grüne Maßnahmen (die das Regenwassermanagement adressieren) insbesondere in der Nacht mitunter zu einer Erwärmung der Umgebung beitragen können. Dies betrifft bspw. offene Wasserflächen, die aufgrund ihrer Wärmespeicherung in den (späten) Sommermonaten häufig wärmer sind als die Luft im näheren Umkreis. In anderen räumlich-zeitlichen Kontexten kann die Maßnahme dagegen auch nachts sinnvoll sein. Zum Beispiel sind größere Fließgewässer in einer frühen Hitzeperiode (z.B. im Juni) oder in ihren Oberläufen

² Im Straßenraum ist durch Deposition und Filterung von Luftschadstoffen eine Verbesserung der Luftqualität möglich, unter Trockenstress können Bäume jedoch auch Aerosole abgeben, die zur Feinstaubbildung beitragen.

auch den ganzen Sommer tendenziell kälter als die Umgebungsluft. Dies verdeutlicht, dass Maßnahmen immer im konkreten Kontext entwickelt werden sollten, um ungewünschte Effekte zu vermeiden (SenSw 2010).

Da die nächtliche Abkühlung durch Maßnahmen im Außenraum aufgrund des Bedarfs weiterer Siedlungsentwicklung und der Auswirkungen des Klimawandels nur bedingt möglich zu sein scheint, kommt zwei Maßnahmenpaketen eine besondere Bedeutung zu. Zum einen unterstreichen die genannten Erkenntnisse die hohe Relevanz von **Erhaltung und Verbesserung der nächtlichen Durchlüftung des Stadtkörpers** (in der durchgeführten Stadtclimaanalyse werden für die Kaltluftströmung wichtige Strukturen identifiziert). Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass die während Hitzeperioden zwar meist ebenfalls warme – aber im Vergleich zur InnenTemperatur immer noch deutlich kühlere – Außenluft in die Quartiere und Gebäude hineinfließen kann. Mit Blick auf ein gesundes Innenraumklima rücken die Gebäude selbst bzw. Maßnahmen zu ihrer Kühlung in den Fokus, da Maßnahmen zur passiven und vor allem aktiven Gebäudekühlung ein größeres Potenzial zugeschrieben wird als Maßnahmen im

Außenraum (Buchin et al. 2016). Der baulich-technischen Gebäudekühlung haftet dabei der Ruf der Umweltschädlichkeit an, wobei bereits heute nachhaltige Lösungen existieren bzw. sich in der fortgeschrittenen Entwicklungsphase befinden (z.B. Kompressionskältemaschinen oder Ab- und Adsorptionskältemaschinen, adiabatische (Abluft-)Kühlung (UBA 2020). Auch die in der DIN-Norm 4108-2 zum sommerlichen Wärmeschutz subsummierten Maßnahmen gehören in diesen hochwirksamen Maßnahmenkomplex (innovative Glastechniken, Außenjalousien, smarte Nachtlüftungssysteme).

Den Gebäuden (inkl. ihrer Hülle und der installierten Haustechnik) kommt bei der Hitzevorsorge also eine zentrale Bedeutung zu. Die große Herausforderung liegt in der passgenauen Kombination mit anderen Maßnahmenpaketen, Strategien und Paradigmen – wie bspw. dem Schwammstadt-Ansatz, blau-grüner Infrastruktur, der dezentralen Regewasserbewirtschaftung oder der doppelten/dreifachen Innenentwicklung (UBA 2019). Dabei müssen individuelle Lösungen für die spezifischen Ausgangs- und Rahmenbedingungen in den Kommunen entwickelt werden.

Maßnahmen zur Überflutungsvorsorge

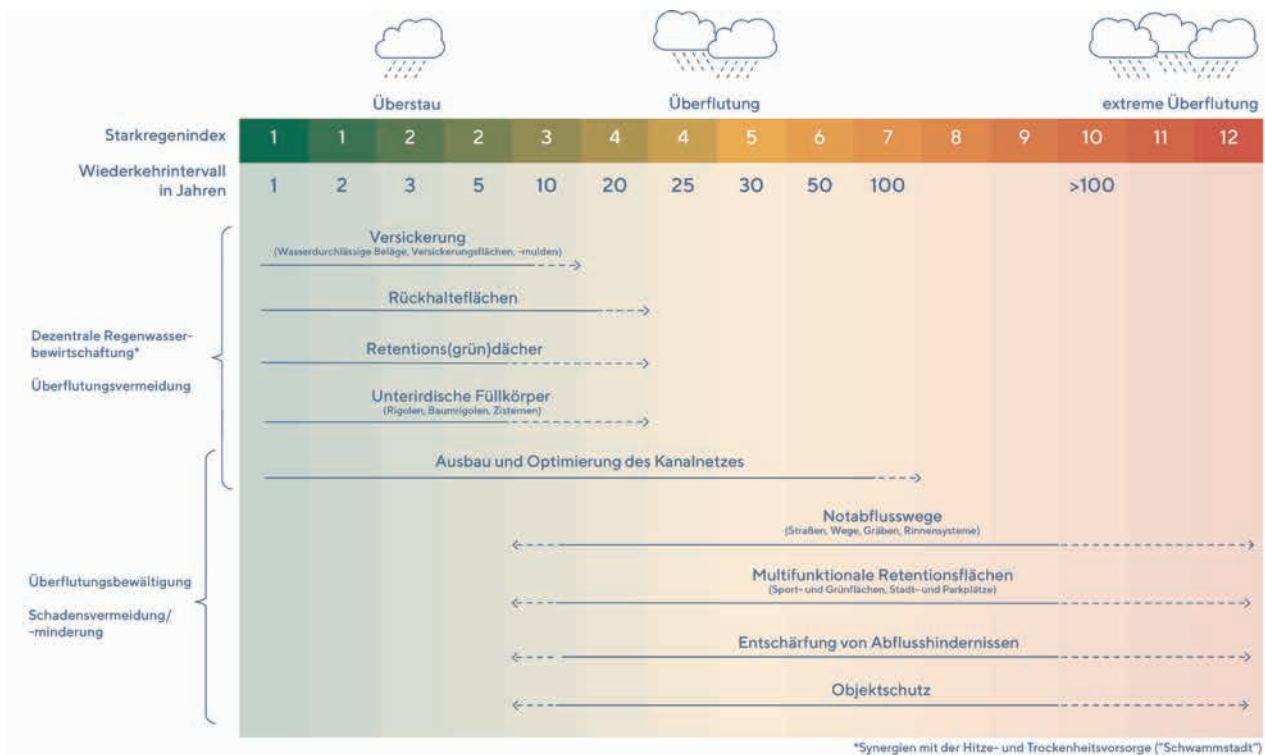
Bislang standen in den Kommunen Maßnahmen zum Hochwasserschutz zur Minderung von Überschwemmungen, die von den Gewässern ausgehen, im Vordergrund. In den letzten Jahren haben inzwischen auch Maßnahmen zur Überflutungsvorsorge bei Starkregen bundesweit an Bedeutung gewonnen. Starkregen führt, anders als Hochwasser, auch weitab der Gewässer zu unkontrollierten Oberflächenabflüssen (auch urbane Sturzfluten genannt), die dann zu Überflutungen mit erheblichen Sach- und Personenschäden führen können. In topografisch stark bewegten Einzugsgebieten, wie sie auch in Marburg anzutreffen sind, können die Abflüsse mit hohen Fließgeschwindigkeiten zusätzliches Schadenspotenzial entfalten. Vorwarnzeiten sind sehr gering und Vorhersagen nur sehr kurzfristig möglich. Diese Aspekte sind bei der Auswahl und Wirkung von Maßnahmen zu beachten. Hinweise aus Forschungsprojekten zu Analysen zur Grundlagenermittlung und Maßnahmenkonzepten sowie die Berücksichtigung des Klimawandels finden sukzessive Eingang in das technische Regelwerk (HSB, 2017; DWA, 2016).

Maßnahmen zur Überflutungsvorsorge bei Starkregen haben zum Ziel, die Schäden starkregenbedingter Überflutungen zu reduzieren bzw. idealerweise zu vermeiden.

Mit dem Klimawandel werden neben der Zunahme von Starkregen, die die Auslegung der städtischen Kanalisation bei weitem übersteigen, auch längere Trockenphasen zunehmen, wie sie in den Jahren 2019 und 2020 beobachtet wurden.

Um diesen unterschiedlichen Auswirkungen des Klimawandels auf das Niederschlagsgeschehen mit seinen Auswirkungen auf extreme Abflüsse und Verschiebungen des Wasserhaushaltes zu begegnen, werden Maßnahmen zur Starkregenvorsorge im Rahmen von Konzepten zur Klimafolgenanpassung mit Maßnahmen kombiniert, die auf eine Stärkung des natürlichen Wasserhaushaltes abzielen. Die beiden unterschiedlichen Ziele – Starkregenvorsorge und Stärkung des natürlichen Wasserhaushalts – lassen sich naturgemäß nicht mit einer einzelnen Maßnahme erreichen (DWA, 2016, 2021).

Die Wirkungsbereiche der kommunalen Maßnahmenplanungen müssen unterschiedliche Niederschlagsintensitäten und Niederschlagsdauern abdecken und dabei die jeweiligen lokalen Gegebenheiten berücksichtigen, die den Oberflächenabfluss und den Wasserhaushalt der unterschiedlichen Hotspots und Planungsräume im



Typische Wirkungsbereiche von potenziellen Maßnahmen zur Starkregenvorsorge und Stärkung des lokalen Wasserhaushalts nach dem Leitbild der „Wasserbewussten Stadt“ in Abhängigkeit des Starkregenindexes bzw. der Wiederkehrzeit der Niederschlagsereignisse

Stadtgebiet beeinflussen. Hierzu gehören in Marburg insbesondere das Geländegefälle, die Größe und Struktur der natürlichen Außengebiete, die Bodeneigenschaften, die Flächennutzung und Anteile befestigter Flächen ebenso wie die technische Entwässerungsinfrastruktur.

Wie bei Maßnahmen zur Hitzevorsorge bestehen auch bei den wasserwirtschaftlichen Maßnahmen zahlreiche Wechselwirkungen zwischen den Maßnahmen untereinander sowie zu anderen Handlungsfeldern. Für einzelne Maßnahmen oder Maßnahmenkombinationen sind angesichts der Komplexität, der Abhängigkeit von Niederschlagsintensität und -dauer von den lokalen kleinräumigen Randbedingungen und von der technischen Auslegung keine allgemeingültigen quantitativen Aussagen zur Wirksamkeit möglich.

Basierend auf Monitoringergebnissen und Wirksimulationen aus durchgeföhrten Forschungsprojekten, wie KURAS und SAMIWA (KURAS, 2016; Deister et al., 2016), aus Praxisprojekten zu erprobten Maßnahmen und Angaben aus dem technischen Regelwerk liegen jedoch zahlreiche Planungshinweise vor, die sich im Rahmen erster Maßnahmenkonzeptionen qualitativ auch auf die Verhältnisse in Marburg übertragen lassen.

In der obigen Abbildung sind typische Wirkungsbereiche von Maßnahmen zur Starkregenvorsorge und Stärkung des lokalen Wasserhaushalts nach dem Leitbild der „Wasserbewussten Stadt“ in Abhängigkeit des Starkregenindexes bzw. der Wiederkehrzeit der Niederschlagsereignisse dargestellt.

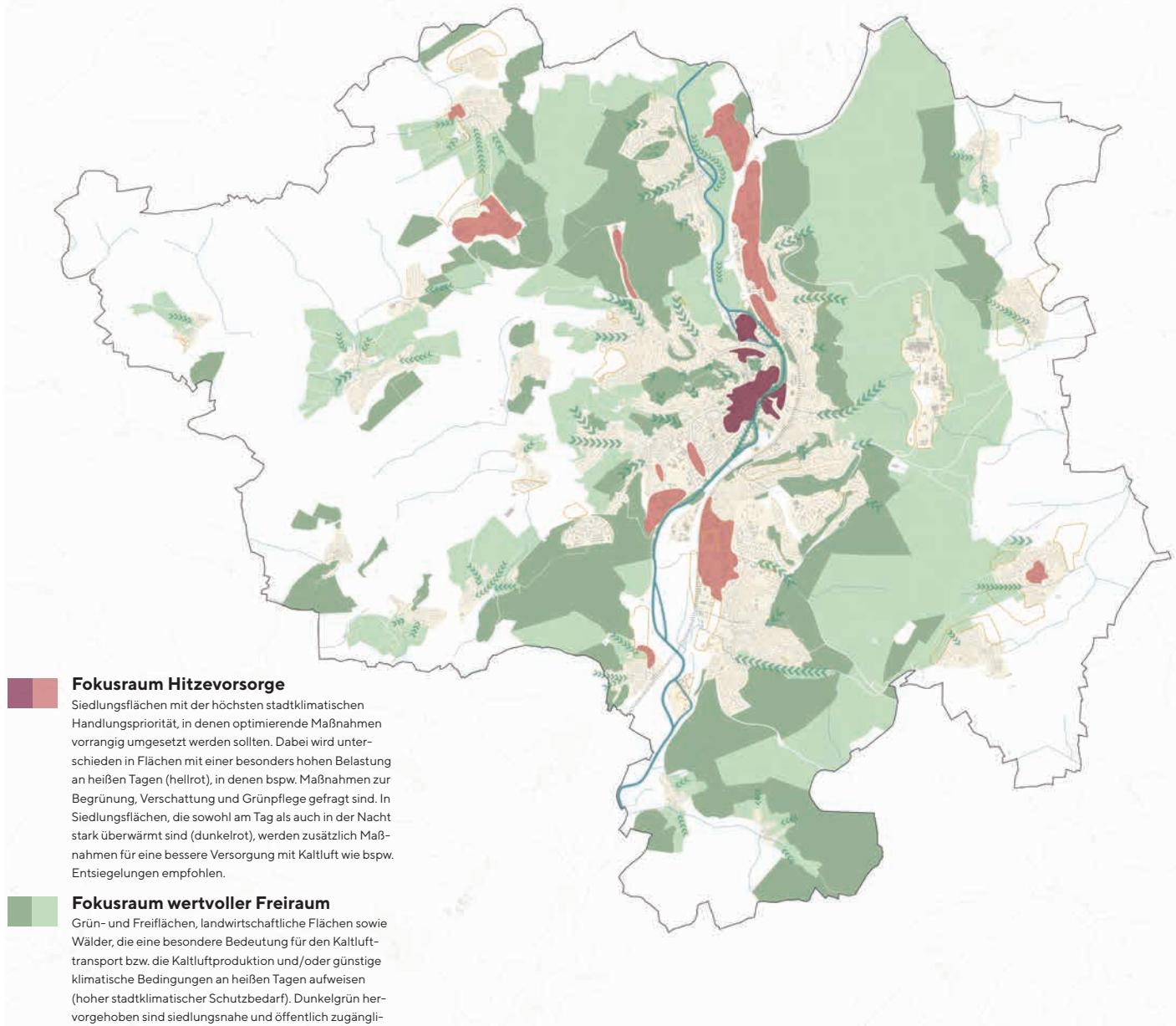
Um das ganze Spektrum möglicher Niederschlagsbelastungen und -extreme abdecken zu können, sind z. B. Maßnahmen zum Ausbau und zur Optimierung der technischen Entwässerungsinfrastruktur, die nach geltendem Regelwerk in der Regel für Jährlichkeiten bis $T = 50$ a, bemessen werden (DIN, 2017), durch die Entschärfung von Abflusshindernissen sowie Notabflusswege, multifunktionale Retentionsräume und Objektschutzmaßnahmen zu ergänzen. Diese Maßnahmen wirken dann auch bei sehr seltenen und damit extremen, außergewöhnlichen Starkniederschlägen. Für häufigere, aber weniger extreme Niederschläge sind zudem Maßnahmen zur Abflusspufferung und Stärkung des lokalen Wasserhaushalts notwendig. Hierzu gehören alle Maßnahmen zur Förderung von Versickerung und Verdunstung wie Baumrigolen, Dachbegrünung und Entsiegelungen. Insbesondere diese Maßnahmenkombinationen weisen in der Regel erhebliches Synergiepotenzial zu Hitzevorsorge auf (Deister et al., 2016).



5. Fokusräume für die Klimaanpassung

Die Kapitel 3 beschriebenen Maßnahmen zur Hitzeinderung und zur Überflutungsvorsorge bei Starkregen in Marburg können grundsätzlich an vielen Stellen in der Stadt umgesetzt werden. Für die Priorisierung von Umsetzungsprojekten empfiehlt es sich allerdings, vorrangige Handlungsräume im Marburger Stadtgebiet zu identifizieren, in denen Maßnahmen zur Klimaanpassung besonders zielführend und effektiv sind. Die Auswahl der sogenannten „Fokusräume“ ergibt sich insbesondere aus der

Betroffenheit der Gebiete (z.B. Hitzeentwicklung, Überflutungsgefahren, vgl. Kapitel 2). Darüber hinaus werden in der Karte diejenigen Flächen dargestellt, die für die Erhaltung des thermischen Komforts in den Siedlungsräumen besonders relevant und somit zu schützen sind (wichtige Leitbahnen, Kaltluftproduktionsflächen).



Fokusraum Hitzevorsorge

Siedlungsflächen mit der höchsten stadtclimatischen Handlungspriorität, in denen optimierende Maßnahmen vorrangig umgesetzt werden sollten. Dabei wird unterschieden in Flächen mit einer besonders hohen Belastung an heißen Tagen (hellrot), in denen bspw. Maßnahmen zur Begrünung, Verschattung und Grünpflege gefragt sind. In Siedlungsflächen, die sowohl am Tag als auch in der Nacht stark überwärmten sind (dunkelrot), werden zusätzlich Maßnahmen für eine bessere Versorgung mit Kaltluft wie bspw. Entsiegelungen empfohlen.

Fokusraum wertvoller Freiraum

Grün- und Freiflächen, landwirtschaftliche Flächen sowie Wälder, die eine besondere Bedeutung für den Kaltlufttransport bzw. die Kaltluftproduktion und/oder günstige klimatische Bedingungen an heißen Tagen aufweisen (hoher stadtclimatischer Schutzbedarf). Dunkelgrün hervorgehoben sind siedlungsnahe und öffentlich zugängliche Flächen, die an heißen Tagen dank ihrer Verschattung als Rückzugsorte für die Bevölkerung dienen können (z.B. Parks). Die stadtclimatische Funktion des wertvollen Freiraums sollte durch ein Freihalten der Flächen bzw. eine klimaangepasste Bauweise erhalten bleiben.



Fokusraum Kaltluftzufuhr

Diese Korridore erfüllen eine besonders wichtige Funktion für den Transport von Kaltluft in das Stadtgebiet aus den umliegenden Freiräumen (Kaltluftleitbahnen, Kaltluftabflüsse, Lahntal-Abwind) sowie aus innerstädtischen Grünflächen (Parkwinde).

Sonstige Siedlungsflächen

In diesen Bereichen kann durch eine klimagerechte Gestaltung der Gebäude, Verkehrs- und Freiflächen eine nachhaltige Verbesserung des Mikroklimas und der Lebensqualität erzielt werden.

Entwicklungsflächen

Mögliche wohnbauliche und gewerbliche Entwicklungsf lächen in Marburg, deren stadtclimatische Verträglichkeit und Starkregenrisiken untersucht werden (gesonderte Steckbriefe)

Fokusräume Stadtklima

Die oben stehende Karte hebt hervor, wo im Marburger Stadtgebiet besonders überwärmte Siedlungsräume zu finden sind (Fokusräume Hitzevorsorge), in denen vorrangig Maßnahmen zur Verbesserung des Stadtklimas umzusetzen sind, und welche (Grün-) Flächen ausgleichend auf das klimatische Geschehen wirken (Fokusräume Kaltluftzufuhr und wertvoller Freiraum), sodass sie eines besonderen Schutzes bedürfen. Die Ableitung der Fokusräume

erfolgte aus der Planungshinweiskarte Stadtklima und deren zugehörigen Bewertungskarten.

Fokusraum Hitzevorsorge

Als Fokusräume Hitzevorsorge wurden Siedlungsflächen ausgewiesen, in denen eine besonders hohe Belastung an heißen Tagen besteht (hellrot) bzw. die sowohl am Tag als auch in der Nacht stark überwärmten sind (dunkelrot) und als stadtclimatische Hot-Spots verstanden werden¹. Auch in anderen Stadtgebieten können thermische Belastungen

¹ In Anlehnung an die Methodik der Planungshinweiskarte umfassen die Hot-Spots Siedlungsräume, die bereits heute besonders belastet sind oder für die dies unter Einfluss des Klimawandels zukünftig zu erwarten ist (dabei wurde das Szenario „schwacher Klimawandel“ betrachtet, mit dem nach aktuellem Stand der Forschung in Marburg mindestens gerechnet werden muss).

aufreten, doch ist es der Anspruch der Fokusraumkarte, die wichtigsten Belastungsbereiche (anschaulich) darzustellen. Daher wurden kleinräumige Flächen (z.B. einzelne Baublöcke) nicht als Hot-Spots in die Karte aufgenommen. Nebeneinanderliegende Flächen wurden aggregiert und zu Fokusräumen in einer räumlichen Auflösung von Quartieren schematisiert.

Die auf dieser Basis identifizierten Hot-Spots für den Tag treten in Wohngebieten und insb. Gewerbegebieten im gesamten Stadtgebiet auf (z.B. in den Gewerbegebieten Görzhausen und entlang der Lahn (Wehrda, Nordviertel, Cappel), kleinräumig auch in den Zentren von Michelbach und Schröck). In den Flächen steht die Aufenthaltsqualität im Innen- und Außenraum für die dort lebende und arbeitende Bevölkerung sowie Pendlerinnen und Pendler im Vordergrund. Zur Verbesserung des Stadtklimas an heißen Tagen bieten sich hier bspw. Maßnahmen zur Verschattung von Straßen, Plätzen und Gebäuden, zur Begrünung von Gebäuden sowie zur Erhaltung, Pflege und Schaffung von (öffentliche zugänglichen) Grünflächen mit hoher Aufenthaltsqualität an.

Die Hot-Spots für den Tag und die Nacht konzentrieren sich besonders auf die innere Kernstadt im Bereich der Oberstadt bis hin zum Hauptbahnhof. Dabei handelt es sich um Wohnquartiere und öffentliche Begegnungs- bzw. Einkaufsorte, sodass neben der Aufenthaltsqualität im Außenraum auch die Gewährleistung gesunder Schlafverhältnisse in den Blick rückt. Zusätzlich zu den genannten Maßnahmen sind hier Maßnahmen für eine bessere Versorgung mit Kaltluft (bspw. Entiegelungen, Sicherung von Kaltluftleitbahnen) und ggf. zur (klimagerechten) Gebäudekühlung gefragt. Das laufende Städtebauförderprogramm „Lebendige Zentren“ sollte hier als Gelegenheitsfenster genutzt werden, die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen zu forcieren. Mit den Fokusräumen Hitzevorsorge werden Siedlungsflächen mit der höchsten stadtclimatischen Handlungspriorität gekennzeichnet, doch sind die genannten Maßnahmen auch in anderen Quartieren von Vorteil und sollten dort bei Gelegenheit geprüft werden.

Fokusraum Kaltluftzufuhr

Das Marburger Stadtklima wird wesentlich durch das hügelige Gebiet und die Lage im Lahntal geprägt. Durch den Lahntal-Abwind und die Hangabwinde aus den vielen Seitentälern profitieren weite Teile der Kernstadt von der

Kaltluftzufuhr. Mit den Pfeilsignaturen werden der Kaltlufttransport aus den umliegenden Freiräumen in das Stadtgebiet als Fokusräume Kaltluftzufuhr hervorgehoben. Geraide im Bereich von Hanglagen und einer aufgelockerten Bebauung kann sich diese Kaltluftströmung auch im Siedlungsraum fortsetzen. Zudem sorgen innerstädtische Grünflächen wie der Alte Botanische Garten oder der Schloßpark für eine Kaltluftströmung in die umliegende Bebauung.

Die Fokusräume Kaltluftzufuhr kennzeichnen die für den Kaltlufttransport bedeutendsten Korridore im Marburger Stadtgebiet, deren Funktion zu sichern ist. Darüber hinaus gibt es im Stadtgebiet weitere Flächen mit einer lokalen Bedeutung für den Kaltlufthaushalt, sodass im Einzelfall die detaillierteren Ergebnisse der Stadtklimaanalyse zu betrachten sind.

Fokusraum wertvoller Freiraum

Als Fokusräume wertvoller Freiraum gelten Flächen mit einer hohen Funktion für den Kaltlufttransport bzw. die Kaltluftproduktion. Dabei handelt es sich vorwiegend um Freiflächen oder landwirtschaftliche Flächen, im Bereich der Hanglagen auch um Wälder, die in Zusammenhang zu den Fokusräumen Kaltluftzufuhr stehen. Zusätzlich umfassen die Fokusräume wertvoller Freiraum jene Grünflächen und Wälder, die an heißen Tagen eine angenehme Aufenthaltsqualität bieten. Dunkelgrün hervorgehoben sind öffentlich zugängliche und erreichbare Grünflächen, die Rückzugsorte für die Bevölkerung darstellen (bspw. der Alte Botanische Garten, Schloßpark, Ludwig-Schüler-Park, viele Friedhöfe, die Grünzüge entlang der Lahn oder am Rotenberg sowie die vielen siedlungsnahen Waldgebiete). Die Fokusräume wertvoller Freiraum sind aus stadtklimatischer Sicht besonders schützenswert, da sie wichtige stadtklimatische Funktionen für das Marburger Stadtgebiet erfüllen. Eine geplante Entwicklung dieser Flächen kann stadtklimatisch maximal dann als vertretbar eingestuft werden, wenn ein (bei Bedarf modellhafter) Nachweis erfolgt, dass die jeweiligen stadtklimatischen Funktionen der Flächen (bspw. Kaltlufttransport, Verschattung) durch eine klimaangepasste Bauweise erhalten bleiben.

Die Auswahl der Fokusräume wertvoller Freiraum stellt eine aus stadtklimatischer Sicht vorgenommene Priorisierung dar und bildet nicht die Belange anderer Fachdisziplinen ab (z.B. Natur- oder Gewässerschutz). Zudem ist zu beachten, dass auch außerhalb der Fokusräume weitere wertvolle Grün- und Freiflächen auftreten können.

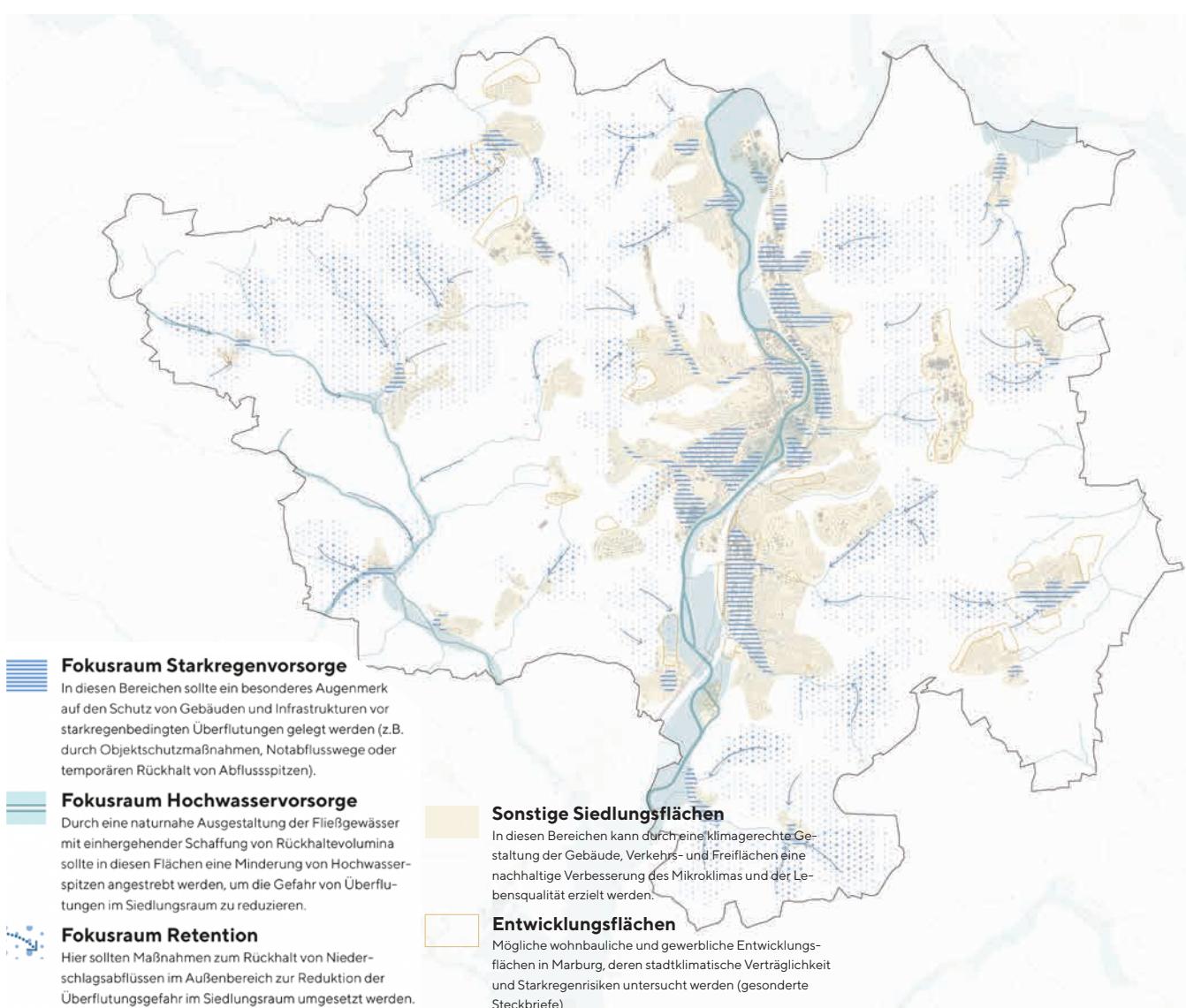
Fokusräume für die Überflutungsvorsorge

Während in der Karte des Starkregenrisikomanagements auch kleinräumige Herkunftsgebiete der potenziell durch Überflutung gefährdeten Flächen dargestellt werden, fasst die Fokusraumkarte die Ergebnisse der Gefährdungsanalyse zu sog. Fokusräumen zusammen und verbindet diese mit den Ergebnissen der Stadtclimaanalyse. Dargestellt sind die Fokusräume „Starkregenvorsorge“, „Hochwasservorsorge“ und „Retention“. Sie stellen generalisierte, großräumige Potenzialflächen dar, die prioritätig bei der Konzeption von Maßnahmen zur Klimaanpassung im Bereich der Starkregenvorsorge berücksichtigt werden sollten. Die Fokusraumkarte verweist damit auch auf die zugrundeliegenden detaillierteren Kartenwerke.

Fokusraum Starkregenvorsorge

Die Fokusräume Starkregenvorsorge stellen Bereiche dar, in denen die Betroffenheit durch Überflutungen in Folge

von Starkregen besonders hoch sein kann. Diese Gebiete haben sich in der Aufmerksamkeitskarte (siehe SRRM) auch als Hotspots herausgestellt. Hier kann sich das Wasser während und auch nach Starkregenereignissen mehrere Dezimeter hoch einstauen und zu lokalen Schäden auf der Oberfläche oder an Gebäuden führen. Ergänzend zur differenzierteren Darstellung in der Aufmerksamkeitskarte wurden die als „Fokusraum Starkregenvorsorge“ dargestellten Gebiete weiter zusammengefasst, um besonders relevante Handlungsräume für Maßnahmen festzulegen. In der Maßnahmenplanung sollte hier ein besonderes Augenmerk auf den Schutz von Menschen, (kritischer) Infrastruktur und Gebäuden gelegt werden. Dies können spezifische Objektschutzmaßnahmen, aber auch multifunktionale Retentionsflächen oder Notabflusswege sein, um die Abflüsse weitgehend schadens- und gefahrenfrei zielgerichtet ableiten und ggf. temporär zurückhalten zu



können.

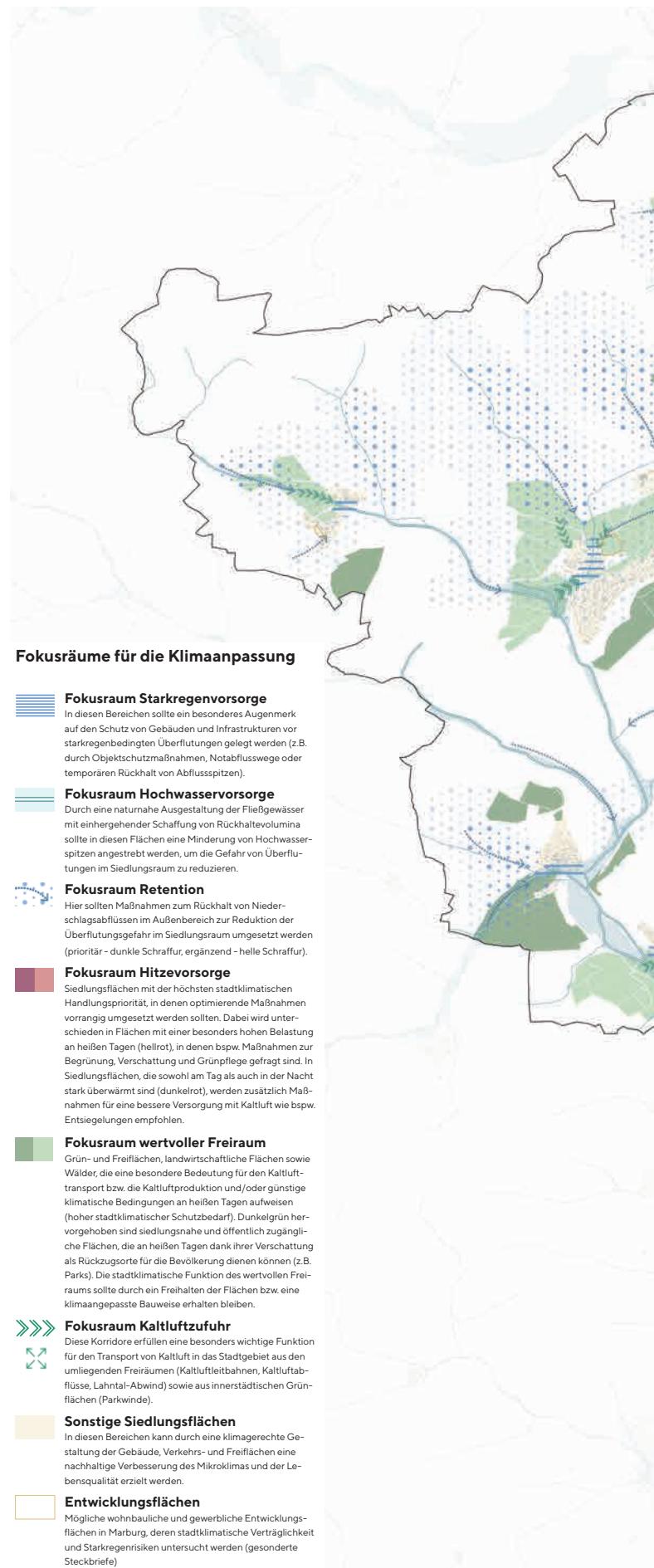
Fokusraum Hochwasservorsorge

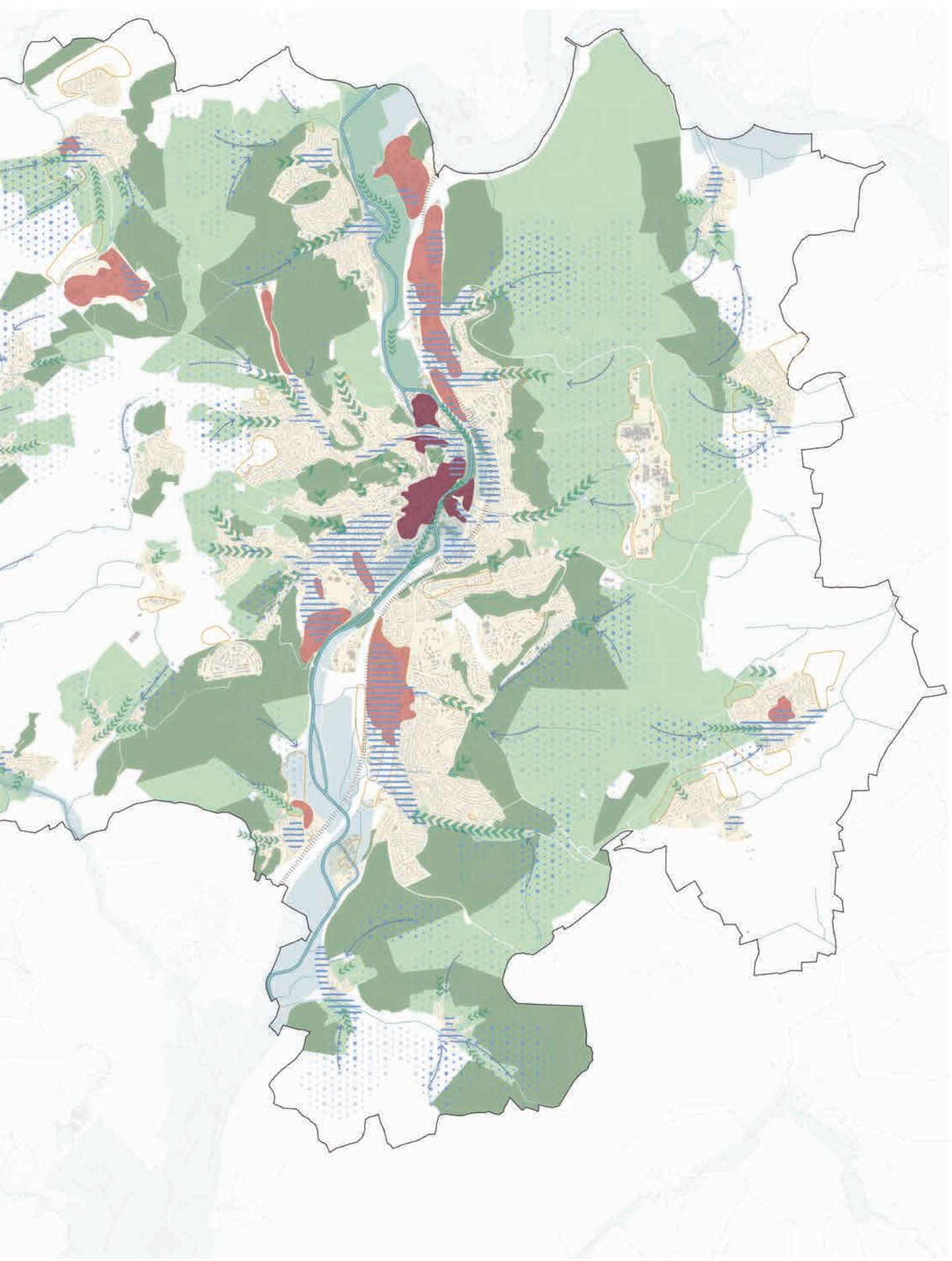
Innerstädtische Überflutungen bei Starkregen müssen nicht immer kanalinduziert sein oder von Außengebietzuflüssen hervorgerufen werden. Sie können auch fluvialer Herkunft sein, d. h. durch Hochwasser in Fließgewässern hervorgerufen. Daher sind in der Fokusraumkarte auch Bereiche hervorgehoben, die von Hochwasserereignissen an Fließgewässern betroffen sein können. Dabei handelt es sich um Gebiete aus den vorliegenden Hochwassergefahrenkarten.

Grundsätzlich sollten die Fließgewässer möglichst naturnah gestaltet sein, d. h. mit ausreichend Ausbreitungsflächen zur Retention von Hochwasser. Die Schaffung von Rückhalteräumen kann Hochwasserspitzen und die Ausbreitung des Wassers in Siedlungsgebiete mindern und somit Schäden vorbeugen. Insbesondere bei sehr großen Außengebieten kann es zu Synergien zwischen Hochwasser- und Starkregenvorsorge kommen.

Fokusraum Retention

Nicht nur die Schaffung von Schutzeinrichtungen vor oberflächlich abfließendem Wasser, sondern auch der (weit früher beginnende) Rückhalt von Niederschlagswasser ist für die Starkregenvorsorge von besonderer Bedeutung. Daher werden in der Karte die „Fokusräume Retention“ ausgewiesen. Hierbei handelt es sich um Bereiche, in denen die 2D-Oberflächenabflusssimulation und topografische Fließweganalyse in der Gefährdungsanalyse Hauptfließwege ergaben. In diesen Hauptfließwegen sammelt sich abfließendes Niederschlagswasser und wird in Richtung der Siedlungsgebiete geführt, wo es sich wegen mangelnder Retentionsräume einstauen und zu großräumige Überflutungen führen kann. Auch diese Fokusräume sind Ergebnis eine Zusammenfassung der Detailergebnisse um die potenziellen Hauptfließwege herum. Bei einem lokalen Starkregenereignis ist dementsprechend auch mit Zuflüssen weiter außerhalb dieser Retentionsbereiche zu rechnen. Auf den aufgewiesenen Flächen empfehlen sich insbesondere Maßnahmen zum Rückhalt des Niederschlagswassers vor Erreichen des Siedlungsgebietes, um die Überflutungsgefahr im Siedlungsraum zu mindern.





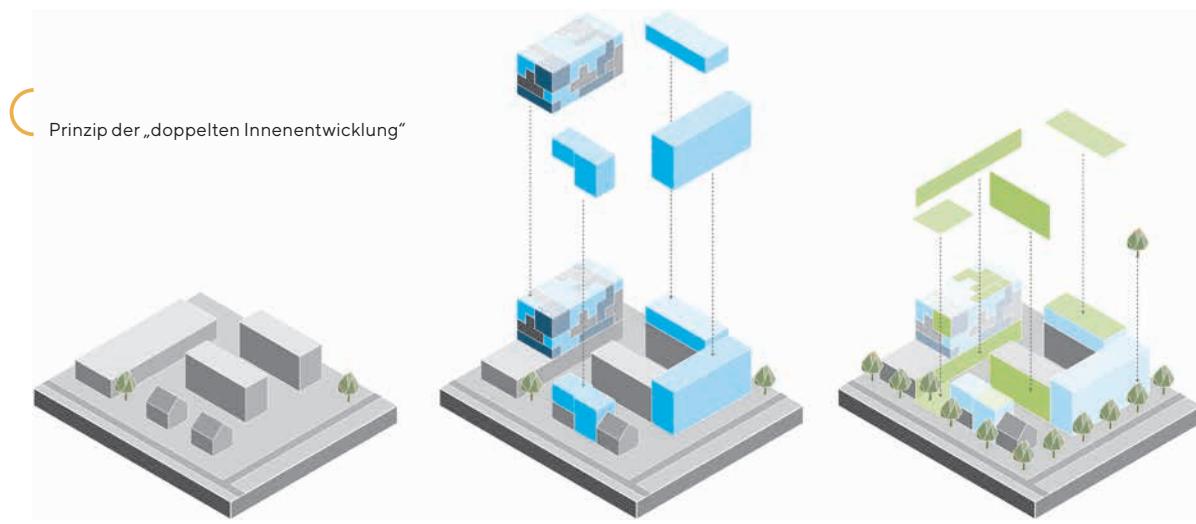


6. Wege zur Umsetzung und Verfestigung



Die im vorherigen Kapitel erläuterten Maßnahmen für eine dem Stadtklimawandel gerecht werdende Stadt- und Freiraumgestaltung sind zumeist nicht neu. Lösungen zur Belüftung und Begrünung urbaner Räume sind inzwischen seit vielen Jahren erprobt. Allerdings konkurrieren derartige Maßnahmen, auch in Marburg, in der planerischen Abwägung häufig mit dem zunehmendem Wachstumsdruck und der Zielstellung einer kompakten Stadtentwicklung. Der Grundsatz „Innen- vor Außenentwicklung“ mit der daraus resultierenden Nachverdichtung scheint den

Belangen der Klimaanpassung auf den ersten Blick entgegenzulaufen. Es bedarf daher einer strategischen Orientierung auf eine „doppelte Innenentwicklung“, bei der die Umgestaltung der Stadt Marburg in ihrem Bestand nicht nur im Sinne einer baulichen Verdichtung betrieben wird, sondern der Blick zugleich auch immer auf die Erhaltung, Weiterentwicklung und Qualifizierung des urbanen Grüns gerichtet wird (vgl. Abbildung S.61). Die Innenentwicklung bietet somit ein Gelegenheitsfenster, Stadtreparatur im Sinne einer klimagerechten Umgestaltung zu betreiben.



Durch die aktuelle Diskussion um den Klimawandel haben die Maßnahmen zur Begrünung von Stadträumen und zur Gestaltung lebenswerter Quartiere einen Bedeutungszuwachs erfahren. Es ist inzwischen unumstritten, dass Grün- und Freiflächen prägende Elemente der Stadt darstellen und vielfältige soziale, gesundheitliche, wirtschaftliche, ökologische und klimatische Funktionen übernehmen. Um eine nachhaltige Umsetzung von Maßnahmen zur Klimaanpassung in Marburg sicherzustellen, müssen die vorliegenden Erkenntnisse zu den lokalen Wirkungen des Klimawandels sowie die daraus abgeleiteten Ziele und Handlungsstrategien für die Hitze- und Überflutungsvorsorge künftig verstärkt als Abwägungsmaterial in Entscheidungsprozesse eingespeist werden. Ziel muss es sein, dass Aspekte der Klimaanpassung in Zukunft bei allen räumlichen Planungen und Genehmigungen in Marburg frühzeitiger und kontinuierlicher als bisher berücksichtigt werden, ohne den Verwaltungsaufwand spürbar zu erhöhen. Angesichts der Herausforderungen des Klimawandels bedarf es dabei eines integrierten Ansatzes, der die Interessen der bislang stark voneinander getrennten Planungsdisziplinen (Städtebau, Freiraumplanung, Straßenbau, Stadtentwässerung etc.) zusammenführt. Für diesen Austausch müssen ausreichend personelle und finanzielle Ressourcen freigestellt werden. Dabei ist auch zu prüfen, inwieweit hierzu Fördermittel des Bundesumweltministeriums („Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels - Förderschwerpunkt A: Einstieg in das kommunale Anpassungsmanagement“) akquiriert werden können¹.

Es bestehen zahlreiche Möglichkeiten, eine klimangepasste Stadtentwicklung über informelle Ansätze zu stärken und zu verstetigen. Daneben bieten sich formelle Handlungsspielräume zur Sicherstellung der Umsetzung in Marburg, insbesondere in der Bauleitplanung, in der

Städtebauförderung und im Bauordnungsrecht.

Grundsätze und Standards

Abgesehen von der Bauleitplanung (siehe folgende Seiten) handelt es sich bei der klimagerechten Stadtentwicklung bislang um keine etablierte kommunale Pflichtaufgabe, die standardmäßig bearbeitet werden muss. Um der Forderung nach einem vorsorgenden, planerischen Umgang mit den erwarteten Klimafolgen auch in Marburger Planungsverfahren nachzukommen, sollten verwaltungsinterne Verfahrensregeln für die Kooperation zwischen den beteiligten Fachbereichen erarbeitet werden. Dabei gilt es klar festzulegen, wo und wie Klimaanpassung (z.B. die Erkenntnisse der Stadtklimaanalyse) frühzeitig in den Prozessen der stadt-, straßen- und freiraumplanerischen Konzepte, Planungen und Projekte (z.B. Rahmenpläne, städtebauliche Verträge, Wettbewerbe, Straßenausbaupläne etc.) berücksichtigt werden kann. Hierzu kann es hilfreich sein, eine Handreichung für die Marburger PlanerInnen bzw. VerwaltungsmitarbeiterInnen zur Verfügung zu stellen (z.B. in Form von Leitlinien oder einer Checkliste). Dadurch kann sichergestellt werden, dass klimaanpassungsbezogene Anforderungen bei unterschiedlichen Planungsaufgaben berücksichtigt, überprüft und bewertet werden. Die Handreichung kann als internes Instrument zur Entscheidungsvorbereitung in der Marburger Stadtverwaltung oder Bewertungsgrundlage für externe gutachterliche bzw. planerische Leistungen dienen. Insbesondere für Neubaumaßnahmen können zudem allgemeingültige Standards (z.B. für Oberflächenmaterialien und -farben, Begrünung, Baumarten etc.) festgelegt werden.

Die zentrale Voraussetzung für ein stringentes Vorgehen bei der Umsetzung der Standards der klimagerechten Stadtentwicklung ist allerdings erst dann gegeben, wenn

¹ Hiermit sollen kommunale Akteur:innen und EntscheidungsträgerInnen und -träger in der Erarbeitung von Anpassungskonzepten durch Klimaanpassungsmanager:innen (Personalstelle) unterstützt werden

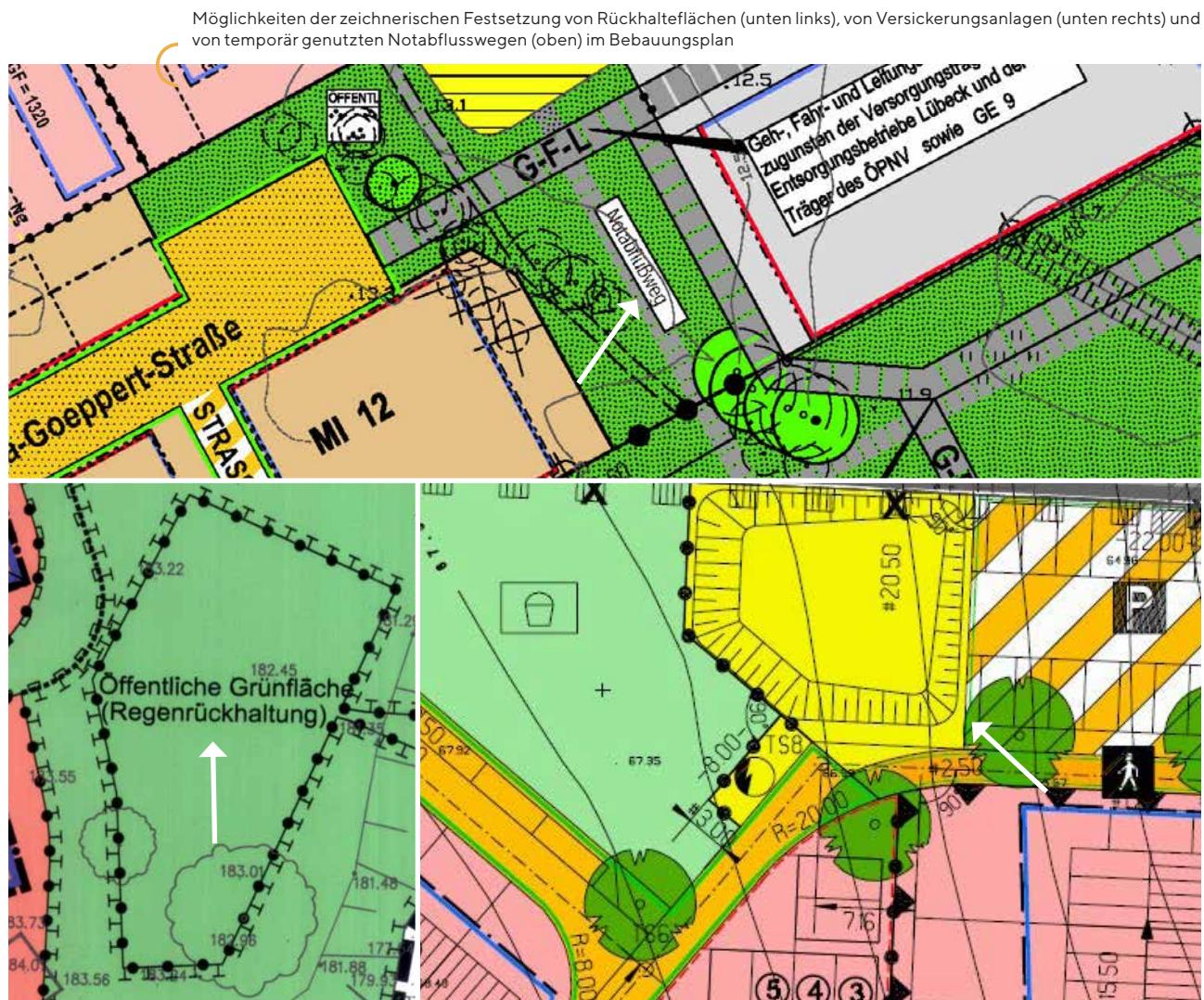
die Leitlinien und Standards als Entscheidungshilfe und Planungsgrundlage für alle Aktivitäten in der Stadt Marburg auf politischer Ebene legitimiert wird. Daher wird ein politischer Grundsatzbeschluss als allgemeingültiger Auftrag an die Marburg Verwaltung empfohlen. Dieser sollte im Zusammenhang mit einer allgemeinen Leitbilddiskussion zur klimagerechten Entwicklung Marburgs stehen und - im Sinne des Grundsatzes einer „doppelten Innenentwicklung“ (siehe oben) - auf eine kontinuierliche Erhöhung des Grün-/Blauanteils in den belasteten Bereichen der Stadt ausgerichtet sein.

Bauleitplanung

Mit der Klima-Novelle des Baugesetzbuches hat der Bund der Klimafolgenanpassung bereits 2011 einen höheren Stellenwert im Zuge der planungsrechtlichen Abwägung eingeräumt. Mit den hier formulierten Zielen und Grundsätzen im BauGB wurden auf Bundesebene die ersten

Weichen für eine kontinuierliche Betrachtung der Klimaveränderungen im Rahmen der Bauleitplanung und somit für eine klimagerechte Stadtentwicklung gestellt.

Doch nicht erst seit diesen Änderungen bietet das BauGB ein breites Spektrum an Möglichkeiten, Maßnahmen zum Umgang mit dem Stadtklimawandel über Planzeichen oder textlich im Bebauungsplan festzusetzen. Durch das 2017 in Kraft getretene Hochwasserschutzgesetz II wurden zudem die Festsetzungsmöglichkeiten des § 9 Absatz 1 Nummer 16 Baugesetzbuch zur Vermeidung oder Verringerung von Überflutungsschäden neu strukturiert. Dadurch wird die Festsetzung von Gebieten möglich, in denen bei Errichtung baulicher Anlagen bestimmte bauliche oder technische Maßnahmen (z.B. die Verwendung bestimmter Bauteile oder Freihaltung von Retentionsflächen) getroffen werden müssen, die der Vermeidung oder Verringerung von Überflutungsschäden durch Starkregen dienen. Die nachfolgende Tabelle (Seite 61) gibt eine



Festsetzungsmöglichkeiten für eine klimagerechte Bebauungsplanung nach BauGB i.V.m. BauNVO

§ 9 (1) Nr. 1, 2, 3 BauGB	Verringerung baulicher Dichte (Maß der baulichen Dichte, Bauweise, überbaubare Flächen)	 
§ 9 (1) Nr. 4 BauGB	Stellplätze und Garagen außerhalb der überbaubaren Grundstücksfläche (z.B. auch unterirdisch)	 
§ 9 (1) Nr. 10 BauGB	Freihaltung von Flächen (Versiegelungsgrad) und Nutzung der freizuhaltenden Flächen, um z.B. Biotope zu erhalten und zu vernetzen	 
§ 9 (1) Nr. 14 BauGB	Flächen für die Rückhaltung und Versickerung von Niederschlagswasser	
§ 9 (1) Nr. 15 BauGB	(Öffentliche und private) Grünflächen wie Parks, Dauerkleingärten, Sport-, Spiel-, Zelt- und Badeplätze	 
§ 9 (1) Nr. 16 BauGB	Flächen für die Wasserwirtschaft, für die Regelung des Wasserabflusses und für die Versickerung, insbesondere zur Vorbeugung gegen Schäden durch Starkregen (z.B. Rückhaltebecken)	
§ 9 (1) Nr. 18 BauGB	Flächen für Landwirtschaft und Wald	 
§ 9 (1) Nr. 20 BauGB	Flächen oder Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft	 
§ 9 (1) Nr. 21 BauGB	Mit Geh-, Fahr- und Leitungsrechten zugunsten der Allgemeinheit, eines Erschließungsträgers oder eines beschränkten Personenkreises zu belastenden Flächen (z. B. Notabflusswege)	
§ 9 (1) Nr. 24 BauGB	Von Bebauung freizuhaltende Schutzflächen und ihre Nutzung, die Flächen für besondere Anlagen und Vorrangungen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen	 
§ 9 (1) Nr. 25a BauGB	Anpflanzen von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen auf Flächen oder Teilen baulicher Anlagen (z.B. Dachbegrünung)	
§ 9 (1) Nr. 25b BauGB	Bindungen für Bepflanzungen und für die Erhaltung von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen sowie von Gewässern	 
§ 9 (2) BauGB	Festsetzungen über die Bauweise und die Stellung der Baukörper	
§ 9 (3) BauGB	Höhenlage (z. B. Erdgeschosshöhe und Straßenoberkante)	
§ 9 (4) BauGB	Übernahme auf Landesrecht beruhender Regelungen (z.B. Gestaltung von Gebäuden)	 
§ 9 (5) Nr. 1 BauGB	Flächen, bei deren Bebauung besondere bauliche Vorrangungen gegen äußere Einwirkungen oder besondere bauliche Sicherungsmaßnahmen gegen Naturgewalten erforderlich sind	 
§ 16 (2) und §21 BauNVO	(Grundflächenzahl oder Grundflächengröße, Geschossflächenzahl oder Geschossfläche, Baumassenzahl oder Baumasse, Zahl der Vollgeschosse, Höhe)	
§ 18 BauNVO	Höhe der Bebauung	
§ 19 BauNVO	Zulässige Grundfläche Abstandsflächen Baulinien, Baugrenzen	 
§ 20 BauNVO	Vollgeschosse, GFZ, Geschoßfläche	
§ 22 BauNVO	Offene oder geschlossene Bauweise	
§ 23 BauNVO	Überbaubare Grundstücksfläche	 

	Verfahrensschritt Bebauungsplanung	Üblicher Detaillierungs- grad der Planung	Integration von Klimabelangen in den Planungsprozess
Vorphase	<p>Planungsanstoß durch politische Gremien, Behörden oder Bedarfsträger</p> <p>↓</p> <p>Aufstellungsbeschluss</p> <p>↓</p> <p>Erarbeitung eines ersten städtebaulichen Konzepts</p> <p>↓</p>	<p>Geltungsbereich, Ziel und Zweck der Planung, Art der baulichen Nutzung</p> <p>Nutzungs- und Bebauungskonzept, evtl. in Varianten (Gebäudegruppierung und Erschließung)</p>	<p>Vorprüfung</p> <ul style="list-style-type: none"> • klimatische Relevanz der Planflächen (s. SKA) • Versickerungspotenziale / Grundwasserstände <p>• Zielformulierung für klimagerechte Planung</p> <p>• Vorgaben für den Entwurfsprozess/Wettbewerb</p> <p>Mikrosimulation der klimatischen Auswirkungen der Bebauungskonzepte (Vergleich/Bewertung der Varianten)</p>
Entwurfsphase	<p>Grobabstimmung des Konzeptes mit ausgewählten Dienststellen (Scoping)</p> <p>↓</p> <p>Frühzeitige Behörden- und Öffentlichkeitsbeteiligung</p> <p>↓</p> <p>Auswertung der Beteiligungen</p> <p>↓</p> <p>Erarbeitung des Bebauungsplanentwurfes mit Begründung und Umweltbericht</p> <p>↓</p> <p>Beteiligung der Behörden und sonstigen Träger öffentlicher Belange</p> <p>↓</p>	<p>Städtebauliches Detailkonzept (Vorzugsvariante)</p>	<p>Prüfung der Sensitivitäten und der Klimaanpassungsfähigkeit der geplanten Nutzungen (evtl. Fachgutachten)</p> <p>Erarbeitung möglicher Vermeidungs-, Mindeungs- und Kompensationsmaßnahmen</p>
Abwägungsphase	<p>Öffentliche Auslegung</p> <p>↓</p> <p>Prüfung der Stellungnahmen (Abwägung)</p> <p>↓</p> <p>Satzungsbeschluss</p> <p>↓</p>	<p>Entwurf Rechtsplan</p> <ul style="list-style-type: none"> • Festsetzungen (Plan/Text) • Begründung / Umweltbericht • Erschließungsplanung 	<ul style="list-style-type: none"> • Festsetzungsvorschläge für Klimaanpassung • Beiträge zum Umweltbericht <p>Prüfung und Bewertung der Planänderungen aus Sicht der Klimaanpassung</p> <p>Evtl. Erarbeitung weiterer Vermeidungs-, Mindeungs- und Kompensationsmaßnahmen</p>
Umsetzungsphase	<p>Inkrafttreten des Bebauungsplans durch Bekanntmachung</p> <p>↓</p> <p>Objektplanung und Baugenehmigung</p> <p>↓</p> <p>Erschließung und Realisierung</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bebauungsplan • Erschließungsplanung • evtl. städtebaul. Vertrag 	<p>Beratung/Empfehlungen zum klimagerechten Planen und Bauen</p> <p>Umsetzungskontrolle der klimarelevanten Ziele und Festsetzungen</p> <p>Monitoring der Klimasensitivitäten und der Anpassungskapazitäten der neuen Flächennutzungen</p>

Übersicht der planungsrechtlichen Festsetzungsmöglichkeiten für die Hitzevorsorge, die Starkregenvorsorge und für die Umsetzung der Prinzipien der Schwammstadt im Rahmen der verbindlichen Bauleitplanung.

Von zentraler Bedeutung ist, dass die Erkenntnisse zum Klimawandel und die vereinbarten Ziele einer klimagerechten Stadtentwicklung frühzeitig und kontinuierlich in das Verfahren zur Aufstellung von Bebauungsplänen einfließen. Das folgende Ablaufschema auf Seite 66 soll aufzeigen, bei welchen Verfahrensschritten sich Möglichkeiten bieten, Klimabelange in den Prozess einzubringen.

Stadterneuerung

Die Anpassung an das sich ändernde Stadtklima ist eine Herausforderungen, die gerade auch im Kontext der Stadterneuerung zukünftig eine zentrale Rolle spielen wird. Der Umgang mit den Folgen des Klimawandels bei der Anpassung der Stadtquartiere und Ortschaften an die Bedürfnisse der Bürgerinnen und Bürger ist zu einem wichtigen Handlungsfeld städtebaulicher Erneuerungsmaßnahmen und damit auch der Städtebauförderung in Hessen geworden. Gemäß der aktuellen Richtlinie des Landes Hessen zur Förderung der nachhaltigen Stadtentwicklung (RiLiSE) werden Städtebaufördermittel vorrangig für Städte und Gemeinden bereitgestellt, die bei ihren Vorhaben auch ökologische Zielsetzungen verfolgen, die Flächeninanspruchnahme reduzieren, Versiegelungen verringern und die Umweltqualität verbessern. „Dazu sind insbesondere Maßnahmen zur Stärkung der Innenentwicklung, zur energetischen Stadterneuerung einschließlich Klimaanpassung und Klimaschutz sowie umfassende Maßnahmen zur Freiraumentwicklung für die Gesamtstadt und das einzelne Quartier von Bedeutung“ (RiLiSE 2017).

Für eine optimale und nachhaltige Nutzung von Finanzmitteln ist es zweckmäßig, Sanierungsmaßnahmen in Marburg, die beispielsweise aufgrund sozialer oder demografischer Herausforderungen durchgeführt werden, möglichst mit Aktivitäten zur Klimaanpassung abzustimmen und zu kombinieren. Die Ziele und Handlungsfelder der Städtebauförderung gehen in vielerlei Hinsicht mit denen einer klimagerechten Stadtentwicklung einher. Dies betrifft zum Beispiel die Aufwertung von Grün- und Freiflächen. Darüber hinaus gibt es weitere Synergiepotenziale durch die Anpassung und Sanierung von Gebäuden, durch die städtebauliche Neuordnung von brachgefallenen Flächen sowie durch den mancherorts erforderlichen Rückbau von Gebäuden und Infrastrukturen. Wenn es gelingt die primären Aufgaben der Städtebauförderung (z.B.

Lebendige Zentren, sozialer Zusammenhalt etc.) in Marburg künftig stärker mit Belangen der Klimaanpassung abgestimmt wird, können viele Synergien erzielt und eventuelle Gegensätze vermieden werden.

Gemäß der „Richtlinie des Landes Hessen zur Förderung von kommunalen Klimaschutz- und Klimaanpassungsprojekten sowie von kommunalen Informationsinitiativen“ (veröffentlicht im Staatsanzeiger des Landes Hessen Nr. 38/2019) werden Klimaanpassungsmaßnahmen für Klimakommunen mit 100 Prozent und bis zu 400.000 Euro gefördert. Dazu zählen auch investive Maßnahmen wie z.B. die Schaffung von Retentionsräumen zur Abminderung von Schäden durch Starkregenereignisse.

Bauordnung

Gemäß § 8 (1) der Hessischen Bauordnung (HBO) sind die nicht überbauten Grundstücksflächen generell „wasser durchlässig zu belassen oder herzustellen und zu begrünen oder zu bepflanzen, soweit sie nicht für eine andere zulässige Verwendung benötigt werden“. Diese Vorgaben entsprechen den Zielsetzungen der „Schwammstadt“ – der Rückhalt von Niederschlagswasser und die Stärkung des natürlichen Wasserkreislaufes liefern einen wichtigen Beitrag zur Hitze- und Trockenheitsvorsorge.

Zudem ermächtigt die Hessische Landesbauordnung die Gemeinde in § 91 (1) HBO zudem, örtliche Bauvorschriften z.B. über die Begrünung von baulichen Anlagen oder über die Gestaltung und Bepflanzung der Grundstücksfreiflächen (z.B. Vorgärten, Stellplätze etc.) zu erlassen. Diese Satzungen sind auf Vorhaben anzuwenden, für die ein Bauantrag oder ein die baurechtliche Prüfung umfassender Antrag gestellt wird. Durch die Vorschriften können z.B. die Bepflanzung der nicht überbauten Flächen eines Grundstücks sichergestellt (Vermeidung von Schottergärten) und Vorgaben zur Bepflanzung getroffen werden. Die Vorgaben zur Begrünung sollten dabei darauf abzielen den doppelten Effekt der Vegetation (Verdunstungskühlung und Verschattung) für die Klimaanpassung, insbesondere die Hitzevorsorge, zu optimieren.

Die Universitätsstadt Marburg hat von der Ermächtigung Gebrauch gemacht und das Thema Grün in der örtlichen Stellplatzsatzung von 2014 berücksichtigt. Gemäß § 5 der Satzung über die Schaffung von Stellplätzen und Garagen sowie von Abstellplätzen für Fahrräder in der Universitätsstadt Marburg dürfen private Stellplätze „(außer bei Reihenhaus-Bebauung) in Vorgärten nur angelegt werden,

wenn mindestens 40 % der Vorgartenfläche als Grünfläche gestaltet wird und gleichzeitig mindestens 40 % der Breite des Grundstücks an der Grenze zur öffentlichen Verkehrsfläche als Grünflächen angelegt sind". §6 (3) der Stellplatzsatzung fordert zudem dass die Fassaden und die Dächer von Garagen, Carports oder Parkdecks mit Rank- und Klettergehölzen versehen bzw. begrünt werden.

Darüber hinaus kann die Marburger Bauaufsicht über eine freiwillige informelle Bauberatung (z.B. durch die Bereitstellung von Empfehlungen zur Gebäudebegrünung, zur Materialwahl und zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung) Einfluss auf klimaangepasste bzw. hitzesensible Gebäude- und Grundstücksgestaltung nehmen.

Finanzielle Anreize

Maßnahmen einer klimaangepassten Gestaltung privater Gebäude und Grundstücke können durch direkte finanzielle Zuschüsse oder durch indirekte finanzielle Anreize gefördert werden. Der 2017 in der Universitätsstadt Marburg durch den Beschluss der Stadtverordnetenversammlung eingeführte Gründach-Zuschuss bildet einen ersten Schritt in diese Richtung. Die Förderung ist inzwischen als jährliche Maßnahme verankert und gilt seit kurzer Zeit auch für Eigenleistungen. Bezuschusst werden Neubauten sowie Nachrüstungen vorhandener Dächer auf Wohn- und Gewerbegebäuden sowie Garagen und Carports. Mit der Förderung leistet die Stadt einen Beitrag zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels.

Es ist denkbar, das kommunale Programm durch Subventionen zur Entsiegelung bzw. zur Hofbegrünung oder zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung zu ergänzen (vgl. z.B. Kommunales Anreizprogramm zur Hofbegrünung im Bahnhofsviertel Frankfurt am Main). Ein derartiges Förderprogramm sollte durch eine Informationskampagne begleitet werden, die auf die Zuschussmöglichkeiten aufmerksam macht und gleichzeitig Hinweise zur Umsetzung sowie der Wirkungen von Maßnahmen gibt.

Gewisse Anreize bieten sich zudem durch die Marburger Abwassersatzung mit gesplitteten Gebühren. Diese ermutigt private EigentümerInnen, Maßnahmen zur Abkopplung u.a. durch Dachbegrünungen, Zisternen oder Versickerungsanlagen umzusetzen, da somit die Entsorgungskosten des Niederschlagswassers gesenkt werden können.

Ergänzende Maßnahmen

Für eine erfolgreiche Umsetzung und Verfestigung der Klimaanpassung in Marburg bedarf es neben den bisher genannten Lösungsansätzen weiterer begleitender Maßnahmen.

Information und Sensibilisierung der Öffentlichkeit

Zunächst ist es von essentieller Bedeutung, dass die Marburger Öffentlichkeit verstärkt in den Anpassungsprozess eingebunden wird. Die Anpassung der Stadt an den Klimawandel kann nicht alleine durch die öffentliche Da-seinsvorsorge erreicht werden. Vielmehr müssen die Bevölkerung und die lokale Wirtschaft an der Umsetzung einer klimagerechte Stadtentwicklung beteiligt und zur Eigenvorsorge bewegt werden. Hierzu sind kommunikative Maßnahmen erforderlich.

Zunächst ist in der Öffentlichkeit ein stärkeres Bewusstsein für den Klimawandel und für den bereits heute bestehenden Anpassungsbedarf zu schaffen. Das Thema Klimaschutz ist mittlerweile für viele Akteure präsent. Es ist allgemein bekannt, dass der Energieverbrauch und der Ausstoß von Treibhausgasen reduziert werden müssen, um dem fortschreitenden Klimawandel entgegenzuwirken. Die Notwendigkeit, sich an die nicht mehr vermeidbaren Auswirkungen des Klimawandels in der eigenen Stadt anzupassen ist im Bewusstsein der Öffentlichkeit dagegen bislang jedoch bislang nur wenig präsent.

Die meisten Klimaprojektionen beziehen sich auf einen Zeitraum von 50 bis 100 Jahren und die in Deutschland bereits spürbaren Auswirkungen werden noch kaum mit dem globalen Klimawandel in Verbindung gebracht. Deshalb wird empfohlen, bei der Kommunikation des Klimawandels einen persönlichen Bezug herzustellen, sodass die individuelle Risikowahrnehmung gesteigert wird. Das Anknüpfen an bestehende Erfahrungen mit Extremwetterereignissen in Marburg und damit verbundene Auswirkungen auf den Arbeitsalltag oder die Freizeitgestaltung kann hier helfen. Außerdem kann es förderlich sein, Kommunikationselemente vorzubereiten und diese an geeigneten Momenten wie nach längeren Hitzewellen oder Trockenperioden einzusetzen, um so eine erhöhte Aufmerksamkeit zu nutzen.

Beratung und Motivation zur Eigenvorsorge

Im nächsten Schritt geht es darum, die unterschiedlichen Zielgruppen zum eigenen Handeln zu motivieren und sie zu befähigen, eigenständig oder in Kooperation mit anderen

Akteuren Maßnahmen zur Klimaanpassung umzusetzen.

Einen wesentlichen Baustein zur Reduzierung Belastungen durch Hitzewellen oder Starkregenereignisse bildet die Aufklärung der Bevölkerung über die potenzielle Auswirkungen solcher Ereignisse. Nur wenn der Öffentlichkeit die Gefahr bewusst ist, kann sie selbst Anstrengungen unternehmen, sich davor schützen. So kann die Bevölkerung über unterschiedliche Medien (Flyer, Website, social media, Werbung im Stadtraum etc.) über ein richtiges Verhalten, z.T. bei Hitze oder sonstigen Extremwetterereignissen informiert werden.

Hinsichtlich der Starkregenvorsorge sind vor allem GrundstückseigentümerInnen, BauherrInnen oder ArchitektInnen in besonders betroffenen Stadtgebieten anzusprechen. Für die Schadensprävention an Gebäuden ist hier die Information und Beratung dieser Akteure z.B. über Informationsmaterialien oder Beratungsgespräche von großer Bedeutung. Die im Zuge des Klimaanpassungskonzeptes entstandenen Starkregen Gefahrenkarten können hierfür ein wichtiges Instrument der Risikokommunikation bilden. Eine gute Erläuterung der Karten ist dabei von besonderer Bedeutung, um eine Missinterpretation vorzubeugen. Starkregenfahnenkarten sind ein wichtiges Instrument zur Anregung der privaten Eigenvorsorge.

Des Weiteren bietet es sich als ergänzende Maßnahme an, die Bevölkerung stärker an der Klimaanpassung zu beteiligen und zur Eigeninitiative zu motivieren. Dabei sollte möglichst eine einseitige Kommunikation von Risiken und Worst-Case-Szenarien vermieden werden. Vielmehr sollten vor allem positive Aspekte im Zusammenhang mit Klimaanpassungsmaßnahmen wie z.B. die Verbesserung der Lebensqualität, der Gesundheit und der Aufenthaltsqualität in der Stadt herausgestellt werden. Auch gute, innovative Beispiele und bereits umgesetzte private oder öffentliche Maßnahmen können inspirieren und zum Nachmachen anregen.

Vielerorts gibt es bereits ehrenamtliches Engagement zur Klimaanpassung, z.B. Gießpatenschaften oder Patenschaften für die Pflege von Baumstandorten und Pflanzbeeten. Dies kann in Trockenperioden einerseits die Stadt massiv entlasten, gleichzeitig empfinden es die AnwohnerInnen häufig als positiv, selbst gestaltend auf ihr direktes Wohnumfeld einwirken zu können - z.B. durch die Gestaltung und Pflege des Grüns im eigenen Straßenraum.

Unterstützung vulnerabler Bevölkerungsgruppen

Nicht zuletzt gilt es, besonders verwundbare Gruppen in der Marburger Bevölkerung (Alte, Kleinkinder, Kranke, Obdachlose) zukünftig noch mehr bei der Bewältigung von Extremwettern zu unterstützen. So bietet es sich beispielsweise an, über die Einrichtung von „Cooling Centern“ nachzudenken. Dabei handelt es sich klimatisierte, öffentliche Orte, an denen sich Menschen vor der Hitze im öffentlichen Raum oder in ihrem Zu Hause zurückziehen können und so zumindest temporär vor den gesundheitlich schädlichen Auswirkungen von Hitze geschützt sind. Gerade für sensible Bevölkerungsgruppen und Menschen mit prekären Wohnsituationen (Gründefizite etc.) ist diese Maßnahme zur Minderung der individuellen Hitzebelastung von großer Bedeutung.

Es muss jedoch auch bedacht werden, dass bewegungseingeschränkte Personen und kleine Kinder nicht in der Lage sind, selbstständig Cooling Center aufzusuchen. Daher sollte auch die Anpassung von Gebäuden, in welchen sich vulnerable Gruppen aufhalten (Alten- und Pflegeheime, Kindergärten, Krankenhäuser etc.) und eine entsprechende Schulung des betreuenden Personals bzw. der Aufsichtspersonen forciert werden.

Die individuelle Belastung durch Hitze wird zudem häufig durch die damit einhergehende Dehydrierung verschärft. Hier bieten sich verschiedene Maßnahmen an, um die mit der Dehydrierung verbundenen gesundheitlichen Risiken zu vermeiden, z.B. die Installation von Trinkbrunnen an stark frequentierten, überhitzten Orten oder die kostenfreie Bereitstellung von Trinkwasser (Leitungswasser) in öffentlichen Gebäuden. Auch die Motivation von Einzelhandel und Gastronomie zur Teilnahme an der REFILL-Kampagne kann eine deutliche Verbesserung des einfachen Zugangs zu Trinkwasser in heißen Tagen bewirken.

Auch die Einrichtung eines „Hitzetelefons“ nach dem Kasseler Vorbild kann wirksam die Exposition vulnerabler Bevölkerungsgruppen gegenüber Hitze verringern. Bei diesem kostenlosen Telefonservice können sich SeniorInnen anmelden und werden im Anschluss telefonisch über die Hitzewarnungen des Deutschen Wetterdienstes informiert und zu einem angepassten Verhalten beraten. Dies erhöht das Bewusstsein gegenüber der zu erwartenden Belastung und ermöglicht es den Betroffenen nicht notwendige Aktivitäten zu verschieben oder das eigene Verhalten (Trinken, Bewegen etc.) anzupassen.

Abbildungsverzeichnis

Dr. Pecher AG	S. 13
Geestra Bau GmbH	S. 36 (rechts)
GEO-NET	S. 9, S. 10
GEZE	S. 47 (links)
Greenleaf	S. 27 (oben links)
Hansestadt Lübeck	S. 60 (oben)
Hydro bei Wikipedia	S. 8
Max-Planck-Gymnasium Karlsruhe	S. 47 (rechts)
MUST	S. 16–17, S. 19 (links), S. 20, S. 21, S. 22, S. 23, S. 25 (links), S. 26, S. 28, S. 29, S. 30, S. 31, S. 32, S. 33, S. 34, S. 35, S. 36 (links), S. 37, S. 39, S. 40, S. 41 (rechts oben), S. 42 (links), S. 43, S. 44, S. 45, S. 46 (links), S. 49 (nach KURAS 2016), S. 51 (nach Dr. Pecher AG), S. 53, S. 55, S. 56–57, S. 59
Optigrün	S. 43 (unten rechts), S. 44 (rechts)
Philadelphia Water Dept.	S. 27 (rechts)
Pixabay	Titelseite, S. 6, S. 16, S. 21 (rechts), S. 29 (oben rechts), S. 29 (unten), S. 43 (links), S. 60
Stadt Aachen	S. 60 (unten links)
Stadt Bonn	S. 60 (unten rechts)
Wikimedia	S. 48 (rechts), S. 52

Literaturverzeichnis

- Buchin, O., M.-T. Hoelscher, F. Meier, T. Nehls, F. Ziegler (2016): Evaluation of the health-risk reduction potential of counter measures to urban heat islands. Energy and Buildings 114: 27-37.
- Deister L., Brenne F., Stokman A., Henrichs M., Jeskulke M., Hoppe H. und Uhl M. (2016). Wassersensible Stadt- und Freiraumplanung. Handlungsstrategien und Maßnahmenkonzepte zur Anpassung an Klimatrends und Extremwetter. SAMUWA Publikation. https://www.project.uni-stuttgart.de/samuwa/img/pdfs/leitfaden_wassersensible_stadtentwicklung.pdf
- DIN (2017): Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden. DIN EN 752, Deutsches Institut für Normung e. V., April 2008, Berlin.
- DWA (2016): Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen. DWA Merkblatt 119, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Dezember 2016, Hennef
- DWA (2020) Merkblatt DWA-M 102 (BWK-M 3-4) – Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer – Teil 4: Wasserhaushaltsbilanz für die Bewirtschaftung des Niederschlagswassers – Entwurf Dezember 2020
- DWA (2021) DWA-Positionspapier „Wasserbewusste Entwicklung unserer Städte“ – Wasser, zentraler Baustein der Klimaanpassung im urbanen Raum. https://bayika.de/bayika-wAssets/docs/aktuelles/2021/2021-05-20_DWA-Positionspapier-Wasserbewusste-Entwicklung-unserer-Staedte.pdf
- Hoelscher, M.-T., T. Nehls, B. Jänicke, G. Wessolek (2016): Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation. Energy and Buildings 114: 283-290.
- HSB (2017): Ermittlung von Überflutungsgefahren mit vereinfachten und detaillierten hydrodynamischen Modellen. Praxisleitfaden, erstellt im Rahmen des Forschungsprojekts „KLAS II“, Lehrgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Hochschule Bremen, Oktober 2017
- KURAS (2016 – Forschungsprojekt „Konzepte für urbane Regenwasserbewirtschaftung und Abwassersysteme“. Durch das BMBF im Rahmenprogramm „FONA – Forschung für nachhaltige Entwicklungen“ gefördert. Online: <http://www.kuras-projekt.de>
- MVI Baden-Württemberg 2012: Städtebauliche Klimafibel. <https://www.staedtebauliche-klimafibel.de/pdf/Klimafibel-2012.pdf>
- Rauthe M., Malitz G., Gratzki A., Becker A. (2014): Starkregen. In: Becker P., Hüttl R. F. (Hrsg.): Forschungsfeld Naturgefahren. Potsdam und Offenbach, S. 112.
- SenSw – Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen (2021): Stadtentwicklungsplan Klima 2.0. unveröffentlicht
- SenSw – Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen (2010): Stadtentwicklungsplan Klima. Urbane Lebensqualität im Klimawandel sichern. Stadt Zürich (2020): Fachplanung Hitze-minderung. <https://www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/gsz/planung-und-bau/fachplanung-hitzeminderung.html>
- Technische Universität Darmstadt (Hrsg., 2013): Gebäude, Begrünung und Energie – Potenziale und Wechselwirkungen. Interdisziplinärer Leitfaden als Planungshilfe zur Nutzung energetischer, klimatischer und gestalterischer Potenziale sowie zu den Wechselwirkungen von Gebäude, Bauwerksbegrünung und Gebäudeumfeld. Abschlussbericht. In Kooperation mit der Technischen Universität Braunschweig.
- UBA (2020): Gebäudeklimatisierung. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/fluorierte-treibhausgase-fckw/anwendungsbereiche-emissionsminderung/gebaeudeklimatisierung>
- UBA (2019): Untersuchung der Potentiale für die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung in Städten. UBA-Texte. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/untersuchung-der-potentiale-fuer-die-nutzung-von>
- Wujeska-Klause, A., S. Pfautsch (2020): The Best Urban Trees for Daytime Cooling Leave Nights Slightly Warmer. Forests 11(9):945.

