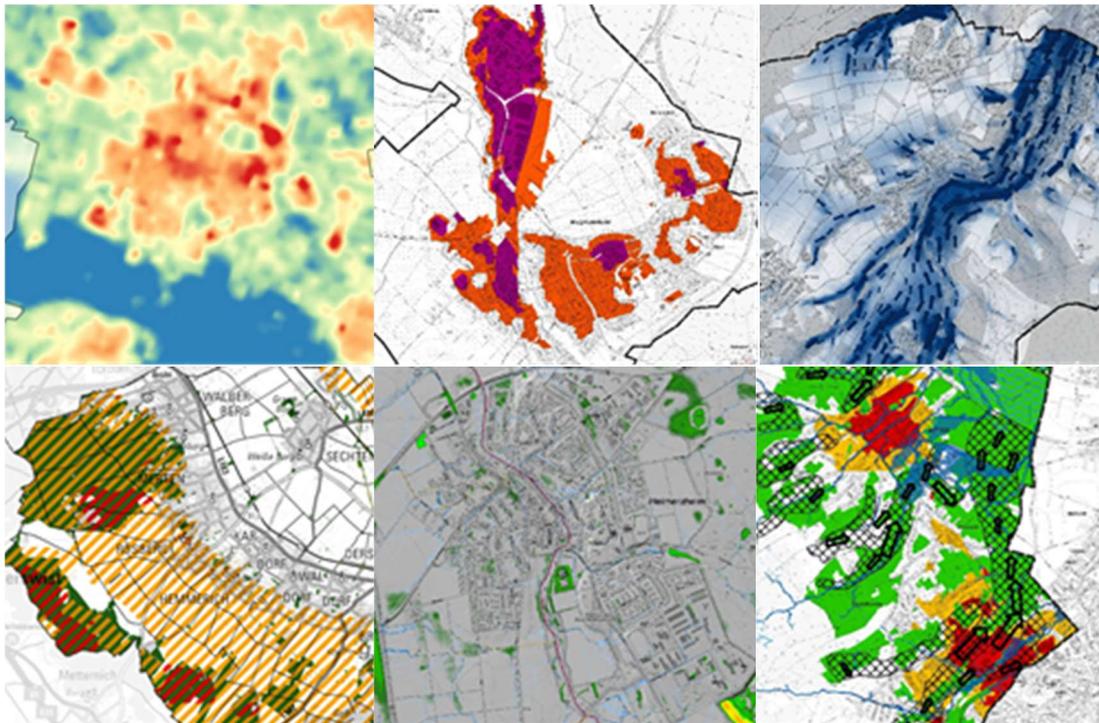


Interkommunales Klimaschutzteilkonzept zur Klimaanpassung in der Region Rhein-Voreifel Alfter, Bornheim, Meckenheim, Rheinbach, Swisttal, Wachtberg

Kurzfassung



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit



NATIONALE
KLIMASCHUTZ
INITIATIVE

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Auftraggeber:



KLIMAREGION
Rhein-Voreifel

Auftragnehmer:



Innovation City Management GmbH

Südring-Center-Promenade 3
D-46242 Bottrop

Telefon +49 2041 723 0650

info@icm.de
www.icm.de

Geschäftsführer:
Burkhard Drescher
Tobias Clermont



K.PLAN - Klima.Umwelt&Planung GmbH

Vertreten durch:
Denis Ahlemann
Dr. Monika Steinrücke
Steffen Schrödter

Telefon: 0234 | 966 48 166
E-Mail: info@stadtklima.ruhr
Adresse: Steinring 55 | 44789 Bochum

Februar 2022

INHALTSVERZEICHNIS

1.	EINLEITUNG	1
2.	BETEILIGUNGSPROZESS	3
3.	RISIKO-/ BETROFFENHEITSANALYSE KLIMAFOLGEN FÜR DIE REGION RHEIN-VOREIFEL	5
3.1	Untersuchungen zur Hitzebetroffenheit	6
3.2	Untersuchungen zum Bodenkühlpotenzial und zur Trockenheitsgefährdung	7
3.3	Untersuchungen zum Sturmrisiko	9
3.4	Untersuchungen zum Überflutungsrisiko	9
4.	HANDLUNGSKONZEPT ZUR KLIMAAANPASSUNG FÜR DIE REGION RHEIN-VOREIFEL	10
4.1	Die Handlungskarte Klimaanpassung für die Region Rhein-Voreifel	11
4.2	Leitfaden für die räumliche Planung	23
5.	MAßNAHMENKATALOGE UND MAßNAHMENUMSETZUNG BEI BEISPIELPROJEKTEN IN DER REGION RHEIN-VOREIFEL	24
5.1	Zusammenstellung geeigneter Maßnahmen zur Klimaanpassung	24
5.2	Integration von Klimaanpassungsmaßnahmen in ausgewählte Beispielprojekte in der Region Rhein-Voreifel	30
6.	VERSTETIGUNG DER KLIMAAANPASSUNGSSTRATEGIE FÜR DIE REGION RHEIN-VOREIFEL	32
6.1	Controlling	33
6.2	Kommunikationsstrategiekonzept	33



1. EINLEITUNG

Mit dem Integrierten Klimaschutzkonzept haben die sechs Kommunen der Klimaregion Rhein-Voreifel – Alfter, Bornheim, Meckenheim, Rheinbach, Swisttal und Wachtberg – seit 2012 eine grundlegende Planungshilfe zur CO₂-Einsparung in der Region vorliegen. Die vorausschauende und strategische Anpassung an den Klimawandel war jedoch kein Bestandteil des damaligen Konzeptes. Daher hat die Region Rhein-Voreifel nun ein Interkommunales Klimaschutzteilkonzept zur Anpassung an den Klimawandel für die Region Rhein-Voreifel erstellen lassen. Zu diesem Zweck haben sich die sechs Kommunen erfolgreich um eine Förderung im Rahmen der Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten in sozialen, kulturellen und öffentlichen Einrichtungen (Kommunalrichtlinie) im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) mit Stand vom 22. Juni 2016 beworben.

Die Erstellung des interkommunalen Klimaschutzteilkonzeptes ist eine Querschnittsaufgabe. Dementsprechend setzt sich das vorgesehene Projektteam aus einem Querschnittsspektrum von Experten zusammen. Durch die Zusammenarbeit von zwei jeweils inhaltlich breit aufgestellten Beratungs- und Planungsunternehmen kann das notwendige geforderte Spektrum in einer übersichtlichen Konstellation angeboten werden. Die Zusammensetzung ist so gewählt, dass ein interdisziplinäres Team aus diesen zwei Unternehmen mit unterschiedlichen Erfahrungen und Kompetenzen alle Bausteine des Erarbeitungsprozesses fachlich kompetent und fundiert bearbeiten konnte.

Die Entwicklung von Konzepten wie die der Anpassung an die Klimawandelfolgen erfolgen zumeist nach einem bestimmten Muster mit gewissen Standardinstrumenten, die nicht zuletzt auch vom Fördergeber größtenteils vorgegeben sind. So liefert ausgehend von einer Bestandserfassung und Potenzialanalyse die zu erstellende Gesamtstrategie den Handlungsrahmen für die spätere Umsetzung. Ein zu erarbeitender Maßnahmenkatalog gibt Überblick über die Handlungsempfehlungen für den Untersuchungsraum. Solche beschriebenen Instrumente werden seit langer Zeit genutzt, ihr Einsatz wird kontinuierlich optimiert und hat sich bewährt, was sich durch zahlreiche erfolgreich abgeschlossenen Projekte nachweisen lässt. Der Einsatz dieser Instrumente kann dabei dennoch nicht von Seiten der Auftragnehmer die erfolgreiche Realisierung des Anpassungskonzeptes in letzter Konsequenz garantieren, da mit dem Projektabschluss der Auftrag endet. Deshalb zählen eine Verstetigungsstrategie und ein Controllingkonzept ebenfalls zum bewährten Instrumentarium und sollen die künftige Realisierung des Konzeptes sicherstellen.

Städte, Kreise und Gemeinden sind das Rückgrat einer praktischen Anpassung an die Folgen des Klimawandels. Sie setzen um, was auf nationaler und europäischer Ebene entschieden wird. Dies können sie jedoch nicht allein realisieren, sondern sie sind auf die Unterstützung aus Politik und Öffentlichkeit angewiesen. Daher ist das wichtigste Ziel der Auftragnehmer, möglichst alle relevanten Akteursgruppen nicht nur im theoretischen Sinne für die Umsetzung zu befähigen, sondern mit ihnen gemeinsam einen Weg zu finden, bereits erste Schritte in Richtung Praxis zu gehen. Hierfür können u.a. Best-Practice-Beispiele aus anderen Kreisen und Kommunen und deren Herangehensweise bei der Umsetzung von klimarelevanten Konzepten herangezogen werden. Welche Schritte sind möglich, um die Durchführungs- und Entscheidungsstrukturen in den relevanten Verwaltungseinheiten des der Region Rhein-Voreifel und seiner Kommunen nachhaltig zu etablieren, die für die Umsetzung eines gemeinsam zu verabschiedenden Konzeptes notwendig sind?

Gerade die jüngsten Bewegungen wie Fridays for Future oder der Ausgang der Bundestagswahl verdeutlichen, dass für immer mehr Menschen der Klimawandel und die damit einhergehenden Folgen das drängendste Problem darstellen. Die Diskussionen um den Klimawandel haben eine bislang nicht dagewesene Präsenz in der Bevölkerung erreicht. Obwohl es einerseits zu bedauern ist, dass „erst jetzt“ ein solch großes Bewusstsein für den Klimawandel besteht, ist dies eine wahrzunehmende Chance, diese „Welle“ als Antriebskraft zur Umsetzung des Anpassungskonzeptes zu nutzen. Die Notwendigkeit der Klimawandelanpassung kann bereits heute aus dem kommunalen Alltag nicht mehr ausgeblendet werden. Durch die Extremwetterereignisse der vergangenen Jahre sind die Folgen des Klimawandels stärker als bisher in das Bewusstsein der städtischen Bevölkerung und in den Fokus der kommunalen Verantwortlichen gerückt. Immer mehr Städte beginnen, sich mit Fragen der Adaption an den Klimawandel zu beschäftigen. Durch einen kontinuierlichen Wissensaustausch zwischen der Forschung und der Praxis sowie Politik und Bevölkerung muss das Risikobewusstsein gefördert und die Akzeptanz für Maßnahmen gesichert werden. Die notwendigen Anpassungen ersetzen jedoch in keinem Fall Maßnahmen zum Klimaschutz, die weiterhin stringent und mit großem Einsatz umgesetzt werden müssen. Entsprechend sind Klimaschutz und Klimafolgenanpassung als zwei Seiten einer Medaille zu sehen sind.

In städtischen Gebieten mit hoher Bevölkerungs- und Bebauungsdichte liegen die durchschnittlichen Temperaturen bereits heute höher als im unbebauten Umland. Hier wird man in Zukunft damit rechnen müssen, stärker als andere Gebiete von Hitzebelastungen betroffen zu sein. Auch sind die Auswirkungen von Starkregenereignissen oder Stürmen in dicht bebauten und stark versiegelten Gebieten oft gravierender mit mehr (materiellen) Schäden als außerhalb der Städte. Aus diesen Gründen müssen sich Kommunen verstärkt und frühzeitig um Anpassungsmaßnahmen an die Folgen des Klimawandels kümmern. Auch der Städtebau der Zukunft kann nicht auf Baukörper, befestigte Straßen und Plätze verzichten. Hier ist das frühzeitige Einbringen von Wissen über mögliche Anpassungsmaßnahmen zur Abmilderung der Klimawandel-Auswirkungen notwendig. Da bei einem nachhaltigen Stadtumbau mit langwierigen Prozessen gerechnet werden muss, müssen rechtzeitig - das heißt jetzt - Maßnahmen getroffen werden, um die negativen Auswirkungen des Klimawandels zu verringern. Dabei ist eine integrierte Herangehensweise an das Thema Anpassung unter Beteiligung verschiedener Akteure innerhalb der kommunalen Planung, aber auch von, Kommunalpolitikern, Architekten, Planungsbüros, Hauseigentümern, der Immobilienwirtschaft und der interessierten Öffentlichkeit allgemein notwendig.

Schwerpunkt der umfassenden Untersuchungen ist die Entwicklung einer interkommunalen Strategie zur Anpassung an den Klimawandel. Aus der Darstellung der durch den Klimawandel besonders betroffenen Gebiete in der Region Rhein-Voreifel wurden Anpassungsmaßnahmen entwickelt. Diese wurden in einem Maßnahmenkatalog zusammengestellt, der zusammen mit der Akteursbeteiligung in eine kommunale Gesamtstrategie zur Adaption mündete. Es werden die drei Themenblöcke:

- Problemerkennung: Bestandsaufnahme und Handlungsbedarf,
- Lösungsmöglichkeiten: Beispielhafte Lösungen für städtische Teilräume, Handlungskarten, Anpassungsoptionen und Maßnahmenkatalog,
- Praktische Umsetzung: Akteursbeteiligung, Öffentlichkeitsarbeit und Controllingkonzept

behandelt.

2. BETEILIGUNGSPROZESS

Wie grundsätzlich alle Konzepte mit langfristigen und weitreichenden Themenfeldern ist auch bei der Erstellung des vorliegenden Klimafolgenanpassungskonzepts die Beteiligung von betroffenen Akteuren elementar. Eine Umsetzung von notwendigen Maßnahmen kann nur gelingen, wenn die Hintergründe und Ziele des Konzepts, aber auch die finanziellen, technischen und organisatorischen Möglichkeiten aller Akteure bekannt sind. Hinzu kommt die Berücksichtigung von Planungen und individuellen Handlungskorridoren und Interessen, die ebenfalls zu Einschränkungen bei möglichen Maßnahmen führen können. Aus diesem Grund wurde im Rahmen der Erstellung des Klimafolgenanpassungskonzepts für die Region Rhein-Voreifel ein intensiver Beteiligungsprozess geplant und umgesetzt. Dabei wurden folgende Akteursgruppen eingebunden:

- Kommunale Arbeitsgruppe (AG) Klimaschutz
- Interkommunaler Klimafolgenbeirat
- Projektgruppe „Energie & Klima“
- Fachexperten aus Forst- und Landwirtschaft
- Allgemeine Öffentlichkeit

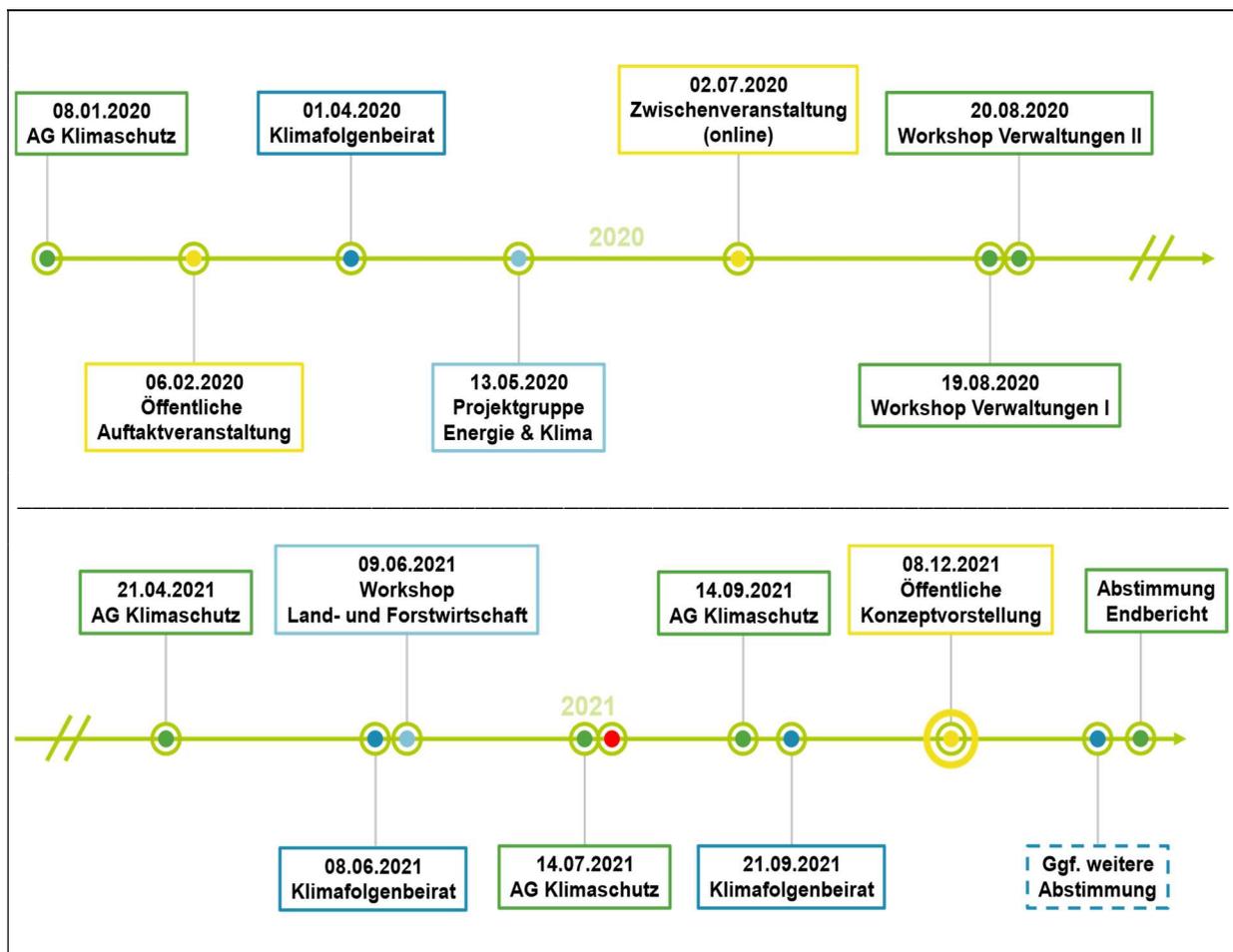


Abb. 2.1 Übersicht der Beteiligungsveranstaltungen im Jahr 2021 (Quelle: ICM)

Wie in Abbildung 2.1 dargestellt, fanden über den gesamten Zeitraum der Konzepterstellung unterschiedliche Abstimmungstermine, vorrangig mit der AG Klimaschutz und dem Klimafolgenbeirat, statt. Dabei wurden Datengrundlagen, Kartenmaterial sowie Zwischenergebnisse präsentiert und abgestimmt, sodass die beteiligten Kommunen aktuelle Entwicklungen, beispielsweise bei den Pilotprojekten, einfließen lassen konnten. Darüber hinaus wurden Workshops mit bestimmten Akteursgruppen sowie drei Schwerpunktveranstaltungen durchgeführt, in die insbesondere auch die allgemeine Öffentlichkeit eingebunden wurde.

KlimaMap

Die KlimaMap unter <http://www.rhein-voreifel.klimamap.de> wurde im Verlauf der Konzepterstellung genutzt, um sowohl individuelle Betroffenheiten durch Hitze, Starkregen, Trockenheit und Sturm, als auch Maßnahmvorschläge zu den entsprechenden Themen sowie zur Begrünung abzufragen. Sie ergänzt bzw. ersetzt die ursprünglich geplanten Beteiligungsformate, die aufgrund der Corona-Pandemie nicht wie geplant durchgeführt werden konnten.

Die erste Beteiligung zu Betroffenheiten wurde von Dezember 2020 bis Ende März 2021 durchgeführt. Dabei wurden insgesamt 31 Eingaben gesammelt, die sich überwiegend auf das Ortgebiet von Meckenheim bezogen. Inhaltlich bezogen diese sich häufig Trockenheit im Sommer und Frühjahr sowie auf Spätfrost-Ereignisse, die zu Schäden im Obstbau geführt haben.

Ab März 2021 wurde die inhaltliche Ausrichtung der KlimaMap dahingehend geändert, dass Nutzer hier konkrete Vorschläge und Anregungen für Maßnahmen einbringen konnten, die die Klimaresilienz stärken und Betroffenheiten durch den Klimawandel reduzieren. Hier wurden bis Dezember 2021 454 Einträge registriert, die bei der Konzepterstellung berücksichtigt wurden.

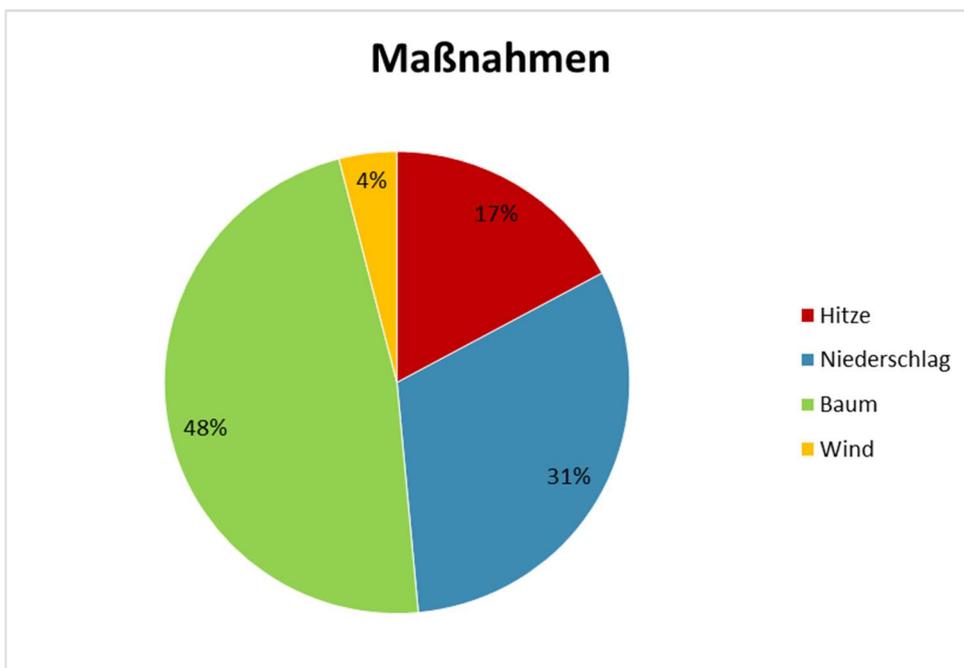


Abb. 2.2 Verteilung der Maßnahmvorschläge aus der KlimaMap auf die vier Themenfelder

3. RISIKO-/ BETROFFENHEITSANALYSE KLIMAFOLGEN FÜR DIE REGION RHEIN-VOREIFEL

Während der Klimaschutz seit vielen Jahren fester Bestandteil der Kommunalpolitik in Nordrhein-Westfalen ist und zahlreiche Städte und Gemeinden eigene Klimaschutzziele und Klimaschutzstrategien haben, beginnt man auf der kommunalen Ebene in den letzten Jahren damit, sich auf die nicht mehr abwendbaren Folgen des Klimawandels einzustellen. Anpassung an den Klimawandel wird zu einem Schwerpunktthema. Das Klimafolgenanpassungskonzept für die Region Rhein-Voreifel bildet für die beteiligten Kommunen Alfter, Bornheim, Meckenheim, Rheinbach, Swisttal und Wachtberg eine Arbeitsgrundlage dafür. Die den Lebensalltag beeinflussenden Veränderungen des Klimas gehen mit erheblichen Belastungen und Risiken einher. Dort, wo Menschen eng zusammenleben und eine funktionierende Infrastruktur sehr wichtig ist, steigt die Anfälligkeit für Störungen durch Wetterereignisse und die Risiken und Gefährdungen sind dort besonders ausgeprägt. Daher kommen insbesondere in den Städten und Kommunen auch in ländlichen Regionen der vorsorgenden Planung und der Durchführung von präventiven Maßnahmen eine große Bedeutung zu. Deshalb ist es notwendig, zukünftig die zu erwartenden negativen Folgen des Klimawandels in ihren Wirkungen durch geeignete Maßnahmen abzumildern. Auch wenn die exakten Vorhersagen des Klimawandels und dessen Folgen für die Region Rhein-Voreifel im Detail unsicher sind, gilt, dass es zu viel Anpassung nicht gibt. Anpassung an das Klima und dessen Wandel ist immer auch mit einer Steigerung der Umwelt- und Lebensqualität verbunden und deshalb niemals überflüssig. Die kommunalen Handlungsfelder zur Klimaanpassung umfassen neben organisatorischen vor allem planerische und bauliche Maßnahmen insbesondere für folgende Problemkreise:

- **Überhitzung in verdichteten Stadtteilen**
- **Überflutungsgefahr durch Starkregenereignisse**
- **Dürregefahr bei sommerlichen Trockenperioden**
- **Gefahren durch Sturmereignisse**

Jeder Mensch, die arbeitende Bevölkerung, aber insbesondere ältere Menschen, die aufgrund des demographischen Wandels bald einen großen Teil der Gesamtbevölkerung ausmachen werden, sowie Säuglinge, Kleinkinder und Kranke leiden verstärkt unter langen Hitzeperioden oder größeren Temperaturschwankungen. In städtischen Gebieten mit hoher Bevölkerungs- und Bebauungsdichte liegen die durchschnittlichen Temperaturen bereits heute höher als im unbebauten Umland. Hier wird man in Zukunft damit rechnen müssen, stärker als andere Gebiete von Hitzebelastungen betroffen zu sein. In einer sommerlichen Nacht bei Strahlungswetterlagen (wolkenloser Himmel und nur geringe Windgeschwindigkeiten) kann es in den Stadtzentren um 6 bis 8 Kelvin (Temperaturänderungen werden in Kelvin angegeben, Schrittweite entspricht der °C-Skala) wärmer sein als im unbebauten Umland. Die daraus resultierenden Handlungserfordernisse werden in ihrer Dringlichkeit erheblich verschärft durch die in den nächsten Jahrzehnten absehbaren Klimaveränderungen. Nicht der mittlere globale Temperaturanstieg von rund 2 bis 4 Kelvin in den nächsten 50 bis 100 Jahren ist von Bedeutung für Klimaanpassungsmaßnahmen, sondern die aus der Verschiebung der Temperaturverteilung resultierende zunehmende Hitzebelastung in den Innenstädten sowie die Zunahme von Extremwetterereignissen.

Zur Beurteilung der stadtklimatischen Situation wurden alle vorhandenen Klimauntersuchungen und städtische Daten der Kommunen herangezogen. Aus der Auswertung lassen sich Belastungsgebiete, in denen aktuell oder zukünftig bedingt durch den Klimawandel verschärft Probleme auftreten werden, berechnen. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Risiko-/ Betroffenheitsanalysen für die Region Rhein-Voreifel vorgestellt. Alle Karten dazu sind unter <https://www.klima-rv.de/projektdoku/> abrufbar.

3.1 Untersuchungen zur Hitzebetroffenheit

Zur Beurteilung der klimatischen Situation in der Region wurden für die IST-Situation und ein Klimawandelszenario jeweils eine flächendeckende Klimakarte mit der Darstellung von Klimatopen gerechnet. Unter dem Begriff *Klimatop* werden Bereiche mit gleicher Struktur und klimatischer Ausprägung zusammengefasst. Bestimmend für die Einteilung von Stadtgebieten in Klimatope sind die dominierende Nutzungsart sowie die thermale Situation an dem jeweiligen Ort. Hinsichtlich der Abgrenzung der Klimatope ist anzumerken, dass sich klimatische Prozesse nicht linienscharf an Bebauungs- und Nutzungsgrenzen anpassen, sondern fließende Übergänge zu benachbarten Flächen aufweisen. Daher dürfen die Abgrenzungen der Klimatope innerhalb der Klimatopkarte nicht als flächenscharfe Grenzbeziehungen dargestellt werden. In den Übergangsbereichen zwischen den Klimatopen treten in der Regel zwei verschiedene Klimatoptypen eng miteinander verzahnt auf.

Für die Berechnung der Klimatopkarte im Zukunftsszenario wurden einerseits Bauvorhaben (jeweils nicht als klimaangepasst), die noch nicht umgesetzt sind, aber einen Aufstellungsbeschluss haben und zeitnah angegangen werden, in die Realnutzungskarte integriert. Weitere für die Zukunft geplante Bauprojekte können in den folgenden Jahren jederzeit in die Klimatopkarte eingerechnet werden. Ein Aspekt des Klimawandels ist der je nach Szenario prognostizierte globale Anstieg der Jahresmitteltemperaturen um mindestens 2 Grad bis zum Jahr 2050 (Zukunftsszenario). Die Jahresmitteltemperatur ist für die sommerliche Hitzebelastung nicht ausschlaggebend, aber die in Zukunft längeren Hitzeperioden führen zu einer größeren Temperaturdifferenz zwischen Stadt und Freiland. Dass schwerwiegende Folgen von Hitzewellen vor allem in Städten auftreten, liegt an der Wärmespeicherung in der Bebauung und an der Bedeutung der Nachttemperaturen für die Erholungsphase des Menschen. Die Auswertung verschiedener Hitzewellen in Städten zeigt, dass im Verlauf einer mehrtägigen Hitzewelle die nächtlichen Lufttemperaturen von Tag zu Tag ansteigen und schon nach drei bis vier Tagen um 2 bis 4 Grad zugenommen haben. Dabei verstärken sich auch die Temperaturunterschiede zwischen dem Freiland und der dichter bebauten Stadt, die bis zu 10 Grad betragen können. Entsprechend der Versiegelungsrate und der Dichte der Bebauung wurde zur Berechnung einer Klimatopkarte im Zukunftsszenario der Temperaturunterschied zwischen Freiland und bebauten Gebieten erhöht. Auf dieser Grundlage wurde mit gleich bleibenden Gewichtungen und Grenzwerten eine Klimatopkarte der Zukunftsprojektion für die Dekade 2050-2060 berechnet. Im Zukunftsszenario kommt es zu einer geringfügigen Ausweitung der Flächen des Stadtklimatops. Unberücksichtigt bleiben bei dieser Berechnung eines möglichen Zukunftsszenarios weitere in den nächsten Jahrzehnten geplante Bauprojekte, die je nach Lage zu einer weiteren Verschärfung der Belastungen durch Hitze führen könnten.

Darauf aufbauend wurden potenzielle Problemgebieten unter dem Aspekt der Hitzebelastung des Menschen abgegrenzt. In diesen Bereichen bilden sich aufgrund der hohen Versiegelung die städtischen Wärmeinseln so stark aus, dass es zu einer Belastung des menschlichen Organismus kommt. Zusätzlich wird die Durchlüftung durch die Bebauungsstrukturen behindert. Diese Flächen wurden als Hitzeareale in die Karte der Hitzebelastungen übernommen. Die Hitzeinseln im IST-Zustand liegen vorwiegend in den Innenstadtbereichen und in den Industrie- und Gewerbegebieten. In diesen bisher schon von Hitze betroffenen Gebieten nimmt die Belastung im Zukunftsszenario deutlich zu. Am stärksten betroffen von einer zunehmenden Hitzebelastung aufgrund des Klimawandels werden die versiegelten ausgedehnten Industrie- und Gewerbeflächen sein. Eine räumliche Ausweitung der Hitzebelastung in die locker bebauten Stadtteile findet dagegen nur punktuell statt. Zum einen ist die Versiegelungsrate hier deutlich geringer, zum anderen sind diese Stadtteile meist von unbebautem Freiland umgeben und werden dadurch auch während einer Hitzewetterlage noch ausreichend gekühlt.

Ein wichtiges Ziel der Klimaanpassung ist es, Wärmeinseleffekte in Städten zu verringern und so den Hitzestress für die Bevölkerung zu minimieren. Hierfür sind unter anderem genügend Frischluftschneisen erforderlich. Die in windschwachen Strahlungsnächten auftretenden Kaltluftströmungen könnten bei entsprechender Anbindung an überhitzte Stadtteile zur Abschwächung von Hitzebelastungen führen. Unter bestimmten meteorologischen Bedingungen können sich nachts über ruhigkeitsarmem Gelände sogenannte Kaltluftabflüsse bilden. Dabei fließt in Bodennähe gebildete kalte Luft hangabwärts.

Die Kaltluftberechnungen wurden mit dem vom Deutschen Wetterdienst entwickelten Kaltluftabflussmodell KLAM_21 (Sievers, U., 2005. In: Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Band 227, Offenbach am Main) durchgeführt. Die Produktionsrate von Kaltluft hängt stark von der Landnutzung ab: Freilandflächen weisen die höchsten Kaltluftproduktionsraten auf, für Waldflächen schwanken die Literaturangaben sehr stark. Die natürliche Kaltluftproduktion einer Fläche ist auch von dem Relief sowie den thermischen Eigenschaften abhängig. Mit Zunahme der Hangneigung nimmt auch die Kaltluftproduktion zu, da diese permanent in Richtung Talsohle abfließen kann und sich in den tieferen Lagen ansammelt. Kaltluft ist schwerer als die Umgebungsluft und folgt daher bodennah dem Geländegefälle. Durch diesen „Abtransport“ der Kaltluft entsteht in den höheren Lagen ein Defizit, welches durch erneute Kaltluftproduktion ausgeglichen wird. Somit wird bei entsprechenden Witterungsbedingungen, das sind wolkenarme, windschwache Strahlungswetterlagen, in der Nacht kontinuierlich Kaltluft produziert. Entsprechend der Geländeformen können die einzelnen Kaltluftströme zusammenfließen oder auch aufgrund von Barrieren oder Geländevertiefungen in Kaltluftsenken teilweise oder vollständig aufstauen. Bebaute Gebiete verhalten sich bezüglich der Kaltluftproduktion neutral bis kontraproduktiv (städtische Wärmeinsel). Hoch versiegelte Bereiche können durch deutliche Erwärmung der herangeführten Luftschichten zum Abbau von Kaltluft führen.

Die Karte zu den Volumenströmen zeigt ein differenziertes Bild der konkreten Kaltluftabflusslinien und Luftleitbahnen für die Region Rhein-Voreifel. Die Verbindungen zwischen den Kaltluftentstehungsgebieten (Freiflächen) und den Wirkgebieten der Kaltluft (Hitzeinseln) werden durch die Darstellung des Kaltluftvolumenstroms sichtbar. Vor allem in engen Tälern werden hohe Volumenströme erreicht. Aufgrund der differenzierten Orographie der Region Rhein-Voreifel ergeben sich für die einzelnen Kommunen lokale und regionale Phänomene bei der Bildung und dem Abfluss von Kaltluft. Diese sollten lokalspezifisch genauer untersucht und bei zukünftigen Bauvorhaben unbedingt berücksichtigt werden, um eine Kühlung der Kommunen weiterhin gewährleisten zu können.

3.2 Untersuchungen zum Bodenkühlpotenzial und zur Trockenheitsgefährdung

Die Wärmespeicherkapazität und die Wärmeleitfähigkeit eines Bodens spielen die entscheidende Rolle für die Aufheizung der Bodenoberfläche und damit der darüberliegenden Luftschichten. Versiegelte Böden sind deshalb in der Regel deutlich wärmer als die Luft und führen zur Aufheizung, während Freilandflächen im Laufe des Abends und der Nacht kühlend auf die Luft wirken. Um einer weiteren Erwärmung der Städte entgegenzuwirken, sollten Böden mit hohen pflanzenverfügbaren Wasserspeicherleistungen und/oder Grundwasseranschluss in stadtklimatisch relevanten Frischluftschneisen und Erholungsräumen von Überbauung, Abgrabung und Aufschüttung freigehalten werden. Diese Böden wirken ganzjährig ausgleichend auf die Lufttemperaturen und kühlend in den Sommermonaten.

Im Überblick lässt sich das Aufheizungsverhalten von Oberflächen und damit das Bodenkühlleistungspotential auf die Art der Flächennutzung, die Bepflanzung und den Zustand der Böden zurückführen. Besonders der Wasserhaushalt des Bodens und die darüber beeinflusste Verdunstung der Pflanzen sind wesentliche Stellschrauben für die potenzielle Bodenkühlleistung auf Freiflächen. Der Anteil an Versiegelung, Art und Dichte der Vegetation sowie die Bodeneigenschaften werden als Haupteinflüsse auf die Kaltluftbildung verstanden.

Durch den Klimawandel verursachte geänderte klimatische Bedingungen mit zunehmender Sommerhitze in den Städten und damit verbundenen sommerlichen Trockenperioden haben erhebliche Auswirkungen auf die urbane Vegetation und die Land- und Forstwirtschaft. Eine Kühlungsfunktion der Vegetation durch Evapotranspiration setzt eine ausreichende Wasserversorgung der Pflanzen voraus. Eine Möglichkeit zur Anpassung an diese neuen Bedingungen ist die künstliche Bewässerung derjenigen begrünten innerstädtischen Flächen, auf denen während Trockenperioden zu wenig Grundwasser oder Bodenfeuchtigkeit zur Verfügung steht. Zunehmende Sommerhitze kann zudem zur Austrocknung nichtversiegelter Flächen führen. Diese erfüllen aber eine wichtige Funktion für die Niederschlagsversickerung. Stark ausgetrocknete Böden führen beim nächsten Niederschlagsereignis dazu, dass ein größerer Teil des Wassers nicht versickern kann und deshalb oberflächlich abfließt. Dies hat negative Auswirkungen auf die Bodenerosion und die Grundwasserneubildung und erhöht das Überschwemmungsrisiko beim nächsten Starkregen.

Als ein erster Schritt zur Ermittlung der Trockenheitsgefährdungen in der Region Rhein-Voreifel wurde eine einfache Trockenheitsanalyse durchgeführt. Dabei spielen insbesondere Boden- und Geländeparameter eine entscheidende Rolle für das Auftreten von Schäden bei Trockenheit. Die Größe der Bodenwasserspeicherkapazität ist sehr wichtig für die Klimawirksamkeit der Böden. Wie viel Wasser den Pflanzen zur Verdunstung zur Verfügung steht, ist vom Aufbau und den Eigenschaften eines Bodens abhängig. Abhängig von der Sonneneinstrahlung können die oberen Bodenschichten mehr oder weniger stark austrocknen. Südhänge weisen dementsprechend ein deutlich höheres Gefährdungspotenzial für eine Austrocknung des Bodens auf. Als dritter Parameter geht auch die Hangneigung in die Berechnung zur Trockenheitsgefährdung ein. Entsprechend der Stärke der Hangneigung führt der Abfluss von Wasser zu einer zunehmenden Trockenheit im Bodenwasserhaushalt. Ein weiterer Faktor, der zur Austrocknung von Böden bei lang anhaltenden Trockenperioden führen kann, ist der Wind. Zunehmende Windgeschwindigkeiten führen zu einer ansteigenden Verdunstung der Bodenfeuchte der oberen Bodenschichten und damit zu einer größeren potenziellen Trockenheitsgefährdung.

Bei der Pflanzung von Stadtbäumen spielt die Trockenheitsgefährdung eine Rolle. Bäume müssen sich auf veränderte, durch den Klimawandel verursachte Bedingungen einstellen. Insbesondere die zunehmende Sommerhitze in den Städten und damit verbundene sommerliche Trockenperioden erfordern eine gezielte Auswahl von geeigneten Stadtbäumen für die Zukunft. Wärmeresistente Pflanzenarten mit geringem Wasserbedarf sind zukünftig besser für innerstädtische Grünanlagen geeignet. Um eine ausreichende Vielfalt mit Pflanzenarten, die eine sehr hohe Trockenstresstoleranz haben, zu erreichen, ist es notwendig, neben heimischen Arten auch Arten aus Herkunftsgebieten mit verstärkten Sommertrockenzeiten zur Bepflanzung heranzuziehen. Durch eine erhöhte Artenvielfalt im städtischen Raum kann möglichen Risiken durch neue, wärmeliebende Schädlinge vorgebeugt werden. Durch innovative Bewässerungsverfahren können im Einzelfall auch weniger trockenresistente Arten zum Einsatz kommen. Die Kühlung während trockener Hitzeperioden durch Evapotranspiration der Vegetation wirkt vor allem im Bereich der verdichteten Stadtquartiere. Während sommerlicher Tro-

ckenperioden sollte sich die Bewässerung von Parkanlagen auf diese Bereiche konzentrieren, um die Funktionen der Grünflächen zu erhalten bzw. zu optimieren.

3.3 Untersuchungen zum Sturmrisiko

Die Region Rhein-Voreifel wurde hinsichtlich der Gefährdungen und der Anfälligkeiten gegenüber Starkwind und Sturm untersucht. Die Windverhältnisse werden durch das Relief und die Landnutzung intensiv beeinflusst. Das wirkt sich sowohl auf die Windgeschwindigkeit als auch die Windrichtungsverteilung aus. Im Jahresmittel treten entsprechend der Lage in der Westwindzone großräumig Winde aus südwestlichen Richtungen am häufigsten auf. Umlenkungen und Kanalisierungen können dabei zu abweichenden Windrichtungen führen. Bei gradientschwachen Wetterlagen, z. B. Hitzewetterlagen können sich eigenständige lokale und regionale Windsysteme ausbilden.

Zunächst wird der langjährige Jahresmittelwert der Windgeschwindigkeit als Indikator für die Belüftungssituation im Untersuchungsgebiet betrachtet. Auf der anderen Seite können die durch die unterschiedlichen Flächennutzungen und die Bebauungsstruktur hervorgerufenen Rauigkeiten bei Starkwinden durch Böeneffekte extrem hohe Windgeschwindigkeiten erzeugen. Zusätzlich zur Änderung der Windgeschwindigkeit geht eine Böe oft mit einer plötzlichen Windrichtungsänderung einher. Bei einem Starkwindereignis kann davon ausgegangen werden, dass sich die Windgeschwindigkeiten im Bereich der hohen Böengefährdungen nochmal erheblich verstärken. Lokal ist bei einem Sturm hier von einer besonderen Gefährdung durch Sturmschäden auszugehen. Lokal erhöhte Böengeschwindigkeiten werden deshalb als Indikator für eine erhöhte Gefährdung durch Sturmschäden herangezogen.

Um eine Starkwindbetroffenheit für die Region Rhein-Voreifel zu berechnen, die sowohl das erhöhte Risiko des Auftretens von Stürmen wie auch eine Vulnerabilität der Bevölkerung und Infrastruktur einbezieht, wurden verschiedene Einflussparameter herangezogen, die einerseits die Starkwind- und Sturmgefährdung beeinflussen und andererseits die Starkwindanfälligkeit beschreiben. Die Anfälligkeit gegenüber Starkwind und Sturm ergibt sich aus den verschiedenen Nutzungen der Flächen in der Region. Baustrukturen sowohl im Wohn- wie auch im Gewerbebereich können erhebliche Schäden erleiden. Wald- und Straßenbäume sind ebenso sturmgefährdet.

Aus der Verschneidung der Karten zur Starkwindgefährdung, also dem höheren Risiko, dass Starkwinde und Stürme in einem Bereich auftreten, und der Anfälligkeit gegenüber den Auswirkungen der Stürme ergibt sich als Gesamtergebnis eine Betroffenheitskarte für das Themenfeld Starkwind.

3.4 Untersuchungen zum Überflutungsrisiko

Die Region Rhein-Voreifel wurde am 14. Juli 2021 von einem extremen Starkregenereignis getroffen, das zu erheblichen Schäden geführt hat. Zudem haben diese Ereignisse auch zu einer grundlegenden Verunsicherung der Bürger beigetragen. Im Zuge des Klimawandels gilt eine Zunahme außergewöhnlicher und extremer Starkregen als sehr wahrscheinlich. Extreme Niederschlagsereignisse sind meist räumlich begrenzt und lassen sich äußerst schwer vorhersagen. Um jedoch gezielt Vorsorge zu treffen, muss man zunächst besonders risikobehaftete Bereiche identifizieren. Für die Region Rhein-Voreifel wurden daher die Überflutungsbereiche entlang größerer Fließgewässer analysiert und eine Senken- und Fließwegeanalyse durchgeführt.

Da 100-jährliche Ereignisse laut Klimawandelprognosen zukünftig häufiger und mit extremeren Niederschlagsmengen stattfinden werden, macht es als Vorsorge zur Klimafolgenanpassung Sinn, die von Extremereignissen betroffenen Flächen zu betrachten. In der Karte der Flusshochwässer sind die Überschwemmungsgebiete extremer Hochwasserereignisse dargestellt. Kleinere Bäche und Fließgewässer bleiben bei dieser Betrachtung aber unberücksichtigt, da sie nicht in amtlich festgelegte Kategorien der hochwassergefährdeten Gewässer eingeordnet sind.

Flutereignisse wurden in der Vergangenheit für Städte über den gewässerseitigen Hochwasserschutz bewertet. Aus der Formulierung ist bereits zu entnehmen, dass die Gefahr von Überflutungen bisher meist von Fließgewässern ausging. Vom Gewässernetz unabhängige, lediglich durch lokalen Niederschlag herbeigeführte Flutereignisse werden erst seit einigen Jahren untersucht. Die dominanten Abflussprozesse bei Stark- und Extremniederschlagsereignissen finden an der Oberfläche statt. Die hohe Flächenversiegelung in Gemeinden verstärkt das Problem durch die vermehrte Bildung von Oberflächenabfluss. Maßgebend für die Identifikation von Gefahrenzonen ist primär die Topographie. Die Entwässerungsrichtung wird durch das natürliche Relief (Rücken, Täler, Hänge, Senken) bestimmt, während kleine natürliche und anthropogene Geländeelemente (Dämme, Mauern) die Fließwege zusätzlich beeinflussen können. Abflusslose Senken stellen besondere Gefahrenbereiche dar, da das Wasser hier nur von der Kanalisation, falls vorhanden, abgeführt werden könnte. Das Problem verstärkt sich durch eine oft reliefbedingte Häufung von Überstauereffekten, wodurch zusätzliches Wasser in die Senke gelangt. Überstauereffekte der Kanalisation können über den hier verfolgten Ansatz nicht vorhergesagt werden. Das aus der Kanalisation austretende Wasser unterliegt an der Oberfläche jedoch wieder genau den hier betrachteten Gesetzmäßigkeiten und wird über die Fließwege an der Oberfläche abgeführt.

Seit Ende Oktober 2021 steht mit der Starkregenhinweiskarte für NRW des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG) flächendeckend für Nordrhein–Westfalen eine Übersicht zur Verfügung, wie stark sich Starkregenereignisse außerhalb von Fließgewässern auswirken können. Dort, wo kommunale Starkregengefahrenkarten bereits existieren, sollten diese konsultiert werden, da örtliche Gegebenheiten auf der lokalen Skala wesentlich besser dargestellt werden können als auf der Skala von Nordrhein–Westfalen. Für Kommunen, in denen noch keine kommunalen Karten zur Starkregengefahr existieren, liefert die Starkregenhinweiskarte NRW des BKG erste valide Erkenntnisse über die im Rahmen dieses Konzeptes erstellten Fließwegekarte hinaus, die im Rahmen der „Arbeitshilfe kommunales Starkregenrisikomanagement“ vertieft werden sollten (www.klimaanpassung-karte.nrw.de/).

4. HANDLUNGSKONZEPT ZUR KLIMAAANPASSUNG FÜR DIE REGION RHEIN-VOREIFEL

Die große Herausforderung für die kommenden Jahre wird es sein, das interkommunale Klimaschutzteilkonzept zur Klimaanpassung in der Region Rhein-Voreifel in die kommunalen Planungsabläufe der Kommunen Alfter, Bornheim, Meckenheim, Rheinbach, Swisttal und Wachtberg zu integrieren. Auf diesem Wege enthält das Konzept nicht bloß gut gemeinte Handlungsempfehlungen und ist ein hilfeleistender Ratgeber, sondern wird ein fester, und vor allem für die beteiligten Fachämter hilfegebender Bestandteil der Stadtplanung. Eine verwaltungsintern vorgeschriebene Berücksichtigung des Ablaufschemas (Abb. 4.2) zur Integration von Klimaanpassung in die Planungsprozesse der einzelnen Kommunen ist notwendig. Basis für das Ablaufschema ist die Handlungskarte zur Klimaanpassung, die

im Kapitel 4.1 vorgestellt wird, sowie das Maßnahmenkonzept zur Klimafolgenanpassung (Kapitel 5). Die Handlungskarte Klimaanpassung und das Maßnahmenkonzept wurden auf der Grundlage der Risiko-/ Betroffenheitsanalyse erarbeitet. Die Effekte von Anpassungsmaßnahmen wirken sich unmittelbar „vor Ort“ positiv aus. Jede Strategie zur kommunalen Anpassung an die Folgen des Klimawandels sollte unter dem übergeordneten Leitbild einer „nachhaltigen Stadtentwicklung“ stehen. Dabei geht es um die Sicherung und Verbesserung der Lebensqualität in einer Kommune unter der Voraussetzung, notwendige räumliche und wirtschaftliche Entwicklungen zuzulassen. Um eine Gesamtstrategie zur Klimaanpassung entwickeln zu können, müssen drei Kernfragen zur Klimafolgenanpassung behandelt werden:

Warum?	<ul style="list-style-type: none"> lokale Ausprägungen des Klimas in der Region Rhein-Voreifel (städtische Hitzeinseln, Luftleitbahnen, Fließwege und Überflutungsbereiche) Auswirkungen des Klimawandels in den nächsten 50 Jahren (extreme Zunahme der sommerlichen Hitze und Trockenheit, Zunahme von Starkniederschlägen und Stürmen)
Wo?	<ul style="list-style-type: none"> Lage der Hitzeareale in den Kommunen Lage der Überflutungsbereiche in der Region Rhein-Voreifel Lage von trockenheitsgefährdeten Bereichen Lage von sturmexponierten Flächen
Womit?	<ul style="list-style-type: none"> Handlungskarte mit Empfehlungen zur Klimafolgenanpassung Katalog möglicher Anpassungsmaßnahmen Entwicklung von lokalen Projekten zur Klimaanpassung Controllingkonzept zur Verstetigung der Klimaanpassung

4.1 Die Handlungskarte Klimaanpassung für die Region Rhein-Voreifel

Die „Handlungskarte Klimaanpassung“ für die Region Rhein-Voreifel (Abb. 4.1) sowie die Einzelkarten für die 6 Kommunen Alfter, Bornheim, Meckenheim, Rheinbach, Swisttal und Wachtberg sind das Ergebnis aller bestehenden Untersuchungen zum Klima in der Region, insbesondere der Ergebnisse aus der Risiko-/ Betroffenheitsanalyse zu den verschiedenen Klimafolgen. In diesen Karten werden bei einem bestehenden oder zukünftigen Konfliktpotential zwischen einer Flächennutzung und der jeweiligen Klimafunktion Flächen ausgewiesen, für die bestimmte Maßnahmen sinnvoll werden, um den Folgen des Klimawandels zu begegnen. Hier sollten jetzt und zukünftig konkrete Maßnahmenbündel zur Hitzereduktion und zum Erhalt der Kühlleistungen oder zum Regenrückhalt erarbeitet und zeitnah umgesetzt werden. Die Handlungskarte stellt in einem Überblick schon geeignete Klimaanpassungsmaßnahmen vor, die auf die jeweils typischen Konfliktpotentiale der in der Karte dargestellten verschiedenen Zonen (Hitze, Belüftung, Überschwemmung) abgestimmt sind. Damit werden den an einem Prozess beteiligten Planern und Akteuren konkrete Vorschläge zur Klimaanpassung an die Hand gegeben, um die Region nachhaltig vor den Folgen des Klimawandels zu schützen. Das Thema „Klimaanpassung“ wird durch das BauGB gestärkt, ist aber letztendlich ein Belang von vielen, die in einen Abwägungsprozess einfließen müssen.

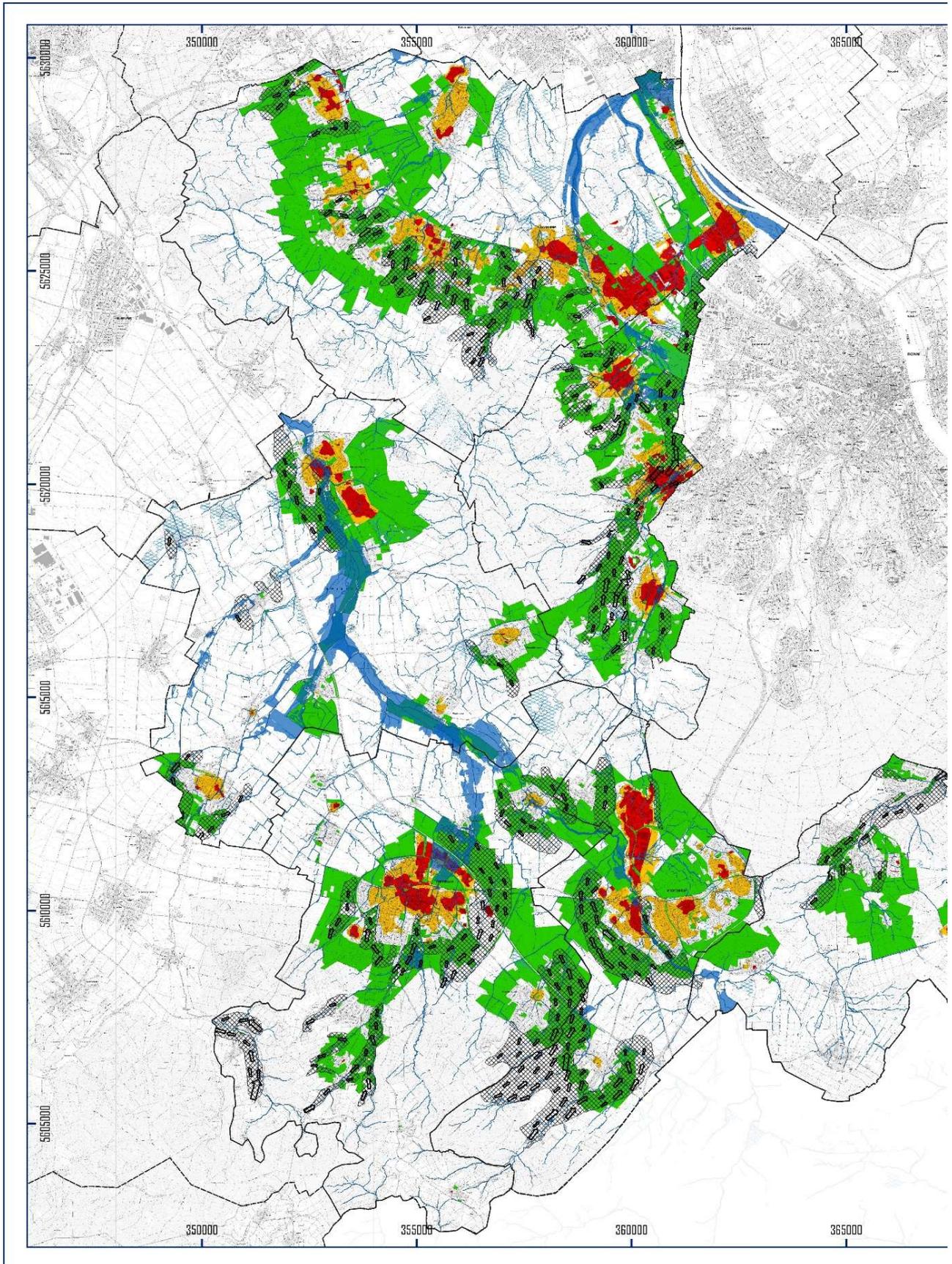
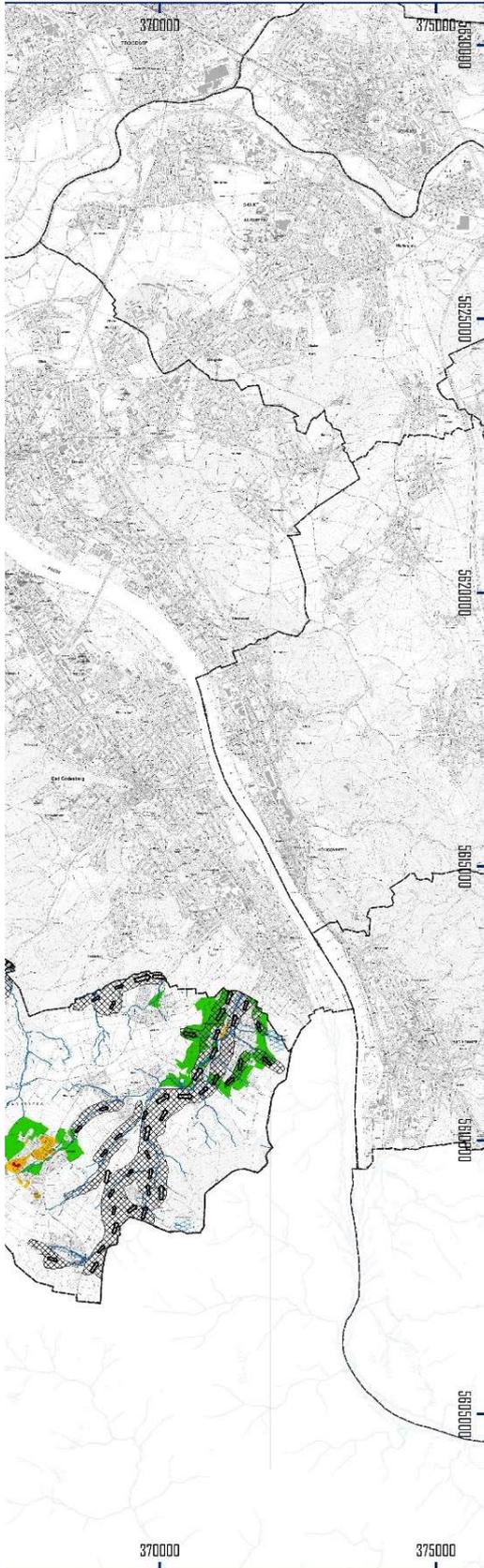


Abb. 4.1 Handlungskarte Klimaanpassung für die Region Rhein-Voreifel



Region Rhein-Voreifel

Handlungskarte Klimaanpassung

Zone 1: Gebiete mit einer stark erhöhten Hitzebelastung

Handlungsempfehlungen

- Aufenthaltsqualität steigern durch Verringerung der Hitzeentwicklung am Tag und der nächtlichen Überwärmung durch:
 - Beschattung durch Vegetation und Bauelemente
 - Kühleffekte der Verdunstung nutzen (Wasserflächen, Begrünung)
 - Ausgleichsräume schaffen/erhalten (Parks im Nahbereich, Begrünung von Innenhöfen)
 - Straßenbegleitgrün erhalten und möglichst ausbauen
 - Geeignete Baumaterialien verwenden
 - Prüfung möglicher Entsiegelung von Flächen oder Ersatz mit geeigneteren Materialien (Versickerungsfähigkeit sowie Wärmeleit- und Speicherfähigkeit der Bodenflächen berücksichtigen)
 - Zufuhr kühlerer Luft aus der Umgebung verbessern

Zone 2: Gebiete mit einer erhöhten Hitzebelastung im Zukunftsszenario

Handlungsempfehlungen

- Durchgrünung, falls möglich erhöhen (Grünflächen, Gebäudebegrünung, grüne Luftleitbahnen)
- Freiflächen, falls notwendig, nur angepasst zur Innenverdichtung heranziehen
- Bei Neuplanungen durch Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen (z.B. Dachbegrünungen) eine zusätzliche Hitzebelastung vermindern

Zone 3: Gebiete der stadtklimarelevanten Grün- und Freiräume

Handlungsempfehlungen

- Innerstädtische Grünflächen möglichst erhalten, untereinander vernetzen und bei Bedarf ertüchtigen
- Parkartige Strukturen von innerstädtischen Grünflächen erhalten und bei Bedarf verbessern
- Keine großflächigen Aufforstungen auf Kaltluftbildungs- und Kaltluftabflussflächen außerhalb von Parks und Wäldern

Zone 4: Gebiete der Luftleitbahnen

Handlungsempfehlungen

- Beachtung der Funktion der Luftleitbahnen bei künftigen Planungen/Bautätigkeiten
- Zusätzliche Emissionen in diesen Bereichen minimieren
- Bebauung sollte keine Riegelwirkung erzeugen
- Dichte Vegetation sollte keine Riegelwirkung erzeugen
- Im Bereich von Luftleitbahnen Aufforstung vermeiden
- Übergangsbereiche zwischen Luftleitbahn und Bebauung luftdurchlässig gestalten

Zone 5a: Hochwasserrisikobereich für extreme Hochwasserereignisse (HQ extrem)

Zone 5b: Fließwege

Zone 5c: Senkenbereiche

Handlungsempfehlungen Zone 5

- Informationsvorsorge und Krisenmanagement mit Infomaterial zum Verhalten bei Extremwetterlagen
- Objektschutzmaßnahmen
- Risikovorsorge durch dezentralen und zentralen Regenrückhalt
- Berücksichtigung der Gefahren durch Überflutung in der Bauleitplanung (Senkenlage, Lage an einem Fließweg)

Stand: 11/2021



0 2 4 km



Zusätzlich zum ausgewiesenen Handlungsbedarf bezüglich Hitze und potenzieller Überflutungsgefahr enthält die Handlungskarte Klimaanpassung auch zwei unterschiedliche Typen von Funktionsflächen (stadtklimarelevante Grün- und Freiräume sowie Gebiete der Luftleitbahnen). Im gesamten Untersuchungsgebiet der 6 Kommunen wurden Grünflächen und Freiräume bezüglich ihrer Relevanz für das Klima bewertet. Neben innerstädtischen Parks haben vor allem Grünflächen im städtischen Randbereich, die die Hitzeinseln begrenzen können, und Freiflächen mit stadtklimarelevantem Kaltluftbildungspotential eine hohe Bedeutung. Diese Flächen wurden als Gebiete der stadtklimarelevanten Grün- und Freiräume (Zone 3) in die Handlungskarte übernommen.

Eine gute Belüftungssituation trägt wesentlich zur Qualität des Mikroklimas bei. Durch einen guten Luftaustausch können überwärmte Luftmassen aus dem Stadtgebiet abgeführt und durch kühlere aus dem Umland ersetzt werden. Weiterhin können mit Schadstoffen angereicherte Luftmassen durch Frischluft ersetzt und die vertikale Durchmischung der Luft erhöht werden. Aufgrund ihrer Lage, der geringen Oberflächenrauigkeit bzw. des geringen Strömungswiderstandes und der Ausrichtung können einzelne Flächen im Stadtgebiet zu einer wirkungsvollen Stadtbelüftung beitragen. Dabei sind die vorherrschenden Strömungsrichtungen des Windes bei austauscharmen Warm- und Hitzewetterlagen zu berücksichtigen und die Ergebnisse der Kaltluftsimulationen einzubeziehen. Die relevanten Luftleitbahnen mit Anschluss an überhitzte Stadtgebiete wurden identifiziert und als Zone 4 in die Handlungskarte übernommen.

Zusätzlich zur Gefährdung durch Oberflächenabfluss bei Stark- oder Extremniederschlägen muss insbesondere auch die Überflutungsgefahr entlang von Gewässern betrachtet werden. In der Handlungskarte sind die Haupt-Oberflächenfließwege, Senkenbereiche und die Hochwasserrisikobereiche für seltene, extreme Hochwasserereignisse (aus den amtlichen Hochwasserkarten der Bezirksregierung) in der Region Rhein-Voreifel dargestellt.

Als unmarkierte „weiße Flächen“ verbleiben in der Handlungskarte Klimaanpassung solche Bereiche, die keine oder nur eine sehr geringe Betroffenheit durch insbesondere nächtliche Hitzebelastung oder Überflutungen aufweisen und großflächige Freiräume ohne besondere stadtklimatische Beziehungen. Aber auch bei diesen Flächen ist es für den weiteren Planungsprozess mit Blick auf die Zukunft wünschenswert, dass mögliche Änderungen des Klimas und potenziell damit verbundene, notwendige Anpassungsmaßnahmen berücksichtigt werden. Grundsätzlich bewirken Klimaanpassungsmaßnahmen eine Erhöhung der Umweltqualität und damit eine Aufwertung des Gebietes, in dem sie umgesetzt werden.

Nachfolgend werden die einzelnen Zonen der Handlungskarte ausführlich beschrieben. Für die Entwicklung von Maßnahmenbündeln im nächsten Schritt der konkreten Umsetzungsphase werden für die jeweilige Zone schon erste geeignete Anpassungsmaßnahmen vorgeschlagen.



Zone 1: Gebiete mit einer stark erhöhten Hitzebelastung

Die Zone 1 ist ein Lastraum mit hoher Hitzeeinwirkung schon im IST-Zustand und zugleich hoher Betroffenheit. Die Hitzeeinwirkung wird im Zuge des Klimawandels sowohl in ihrer Intensität wie auch in der Andauer von Hitzewellen verstärkt. Zone 1 umfasst Gebiete mit einer hohen Flächenkonkurrenz. Platzmangel setzt hier enge Grenzen für Maßnahmen zur klimatischen Optimierung, bioklimatische Extreme können nur abgemildert werden. Eine Ausdehnung von Flächen dieses Lastraums im Stadtge-

biet ist möglichst zu vermeiden, eventuell durch Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen bei zukünftigen Bauvorhaben.

Die generelle Anfälligkeit gegenüber einer Hitzebelastung ergibt sich in der Zone 1 der Handlungskarte aus der typischen, hoch versiegelten Bebauungsstruktur der Stadtzentren, insbesondere die Bereiche, die überwiegend als Dienstleistungszentrum genutzt werden. Dies sind Problemgebiete mit anderer Anfälligkeit als reine Wohngebiete. Bei einem Aufenthalt in den Innenstädten tagsüber kann einer Hitzebelastung durch Standortwechsel und Vermeidung von besonnten Standorten entgegengewirkt werden. Da dies von Seiten der Stadt und der Geschäftsleute nicht gewünscht sein kann, ist eine Verbesserung der Innenstadtattraktivität auch im Sinne der Klimaanpassung anzustreben.

Darüber hinaus fallen in diese Zone auch fast alle Kernbereiche der Gewerbe- und Industrieflächen. Die insgesamt hohe Flächenversiegelung teilweise bis zu 90 % bewirkt in diesen Bereichen eine starke Aufheizung tagsüber und eine deutliche Überwärmung nachts. Die Hitze tagsüber kann zu einer gesundheitlichen Gefährdung und Verminderung der Produktivität der in diesen Bereichen beschäftigten Menschen führen. Der nächtliche Überwärmungseffekt kann hier eine der Innenstadt analoge Ausprägung erreichen. Aufgrund der Gebäudeanordnungen und der hohen Rauigkeit in den Gewerbe- und Industriegebieten wird das Windfeld stark verändert. Dies kann sich äußern durch Düseneffekte im Bereich der Werkhallen, die jedoch keine immissionsverbessernden Effekte haben müssen. Besonders problematisch sind unmittelbar an das Zentrum angrenzende Gewerbe- oder Industriekomplexe, die aufgrund der hohen Versiegelungsrate eine stark eingeschränkte nächtliche Abkühlung aufweisen. Im Zusammenspiel mit dichter Stadtbebauung könnten sich große Wärmeinseln ausbilden. Die dicht bebauten Industrie- und Gewerbegebiete sind aus klimatischer wie auch aus lufthygienischer Sicht als ausgeprägte Lasträume zu bezeichnen. Einige Gewerbegebiete, z. B. in Meckenheim weisen zum Teil eine stärker durchgrünte Struktur auf und sind dann etwas weniger stark von Hitzebelastung betroffen.

Ein häufiges Problem der hoch verdichteten Innenstadt- sowie Industrie- und Gewerbeflächen ist auch, dass hier über den erhitzten Oberflächen die Kaltluft aufgezehrt wird und den angrenzenden Gebieten nicht mehr im vollen Umfang zur Verfügung steht.

Maßnahmenvorschläge:

Sinnvolle Maßnahmen in den innerstädtischen Bereichen haben zum Ziel, die Aufenthaltsqualität zu steigern durch Verringerung der Hitzeentwicklung am Tag. Hierzu können Maßnahmen auf Gebäudeebene und Maßnahmen zur Anpassung der städtischen Infrastruktur herangezogen werden wie:

- Beschattung durch Vegetation und Bauelemente (z. B. Pergola, Arkaden, Sonnensegel)
- Kühleffekte der Verdunstung nutzen (offene und bewegte Wasserflächen, Begrünung)
- Helle Farben für Oberflächen und Hausfassaden verwenden, um die Hitzaufnahme der Materialien zu reduzieren
- Entsiegelung von Flächen (z. B. Straßenbankette, Mittelstreifen, Innenhöfe)
- Verbesserung der Zufuhr kühler Luft

Viele Verkehrsflächen leisten aufgrund ihrer dunklen Farbe und Materialien einen großen Beitrag zur Aufheizung dieser Stadtgebiete. Verschattungen oder hellere Farben können hier einen Beitrag sowohl zur Hitzevermeidung am Tag wie auch zur Verringerung der nächtlichen Überwärmung leisten. Ein weiterer Aspekt in Synergie mit Überlegungen zur Mobilität ist die Verschattung und/ oder Begrünung und damit Verringerung der Aufheizung von ÖPNV-Haltestellen, die als Folge besser genutzt

werden könnten. Über eine Mehrfachnutzung versiegelter Flächen, zum Beispiel von Parkplätzen, die tagsüber von Angestellten und abends von Kneipenbesuchern genutzt werden, kann eine Reduzierung der Versiegelung erreicht werden. Da bewegtes Wasser einen besonders großen Beitrag zur Kühlung der Luft leisten kann, ist es sinnvoll zu erkunden, an welchen Stellen zusätzlich verrohrte Wasserläufe reaktiviert werden können. Hier gilt es, Synergien mit dem Überflutungsschutz zu finden und gemeinsame Lösungen zu erarbeiten.

Hitzebelastungen in Industrie- und Gewerbegebieten betreffen in erster Linie die tagsüber dort tätigen Menschen. Hier sind Klimaanpassungsmaßnahmen notwendig, um die Produktivität zu erhalten und gesunde Arbeitsbedingungen zu schaffen. Im Sinne des Klimaschutzes gilt es zu vermeiden, den Stromverbrauch, beispielsweise durch Klimaanlage, zu erhöhen. Maßnahmen, die zu einer Verbesserung der Situation in den Lasträumen der Gewerbe- und Industrieflächen führen, bestehen in erster Linie in der Entsiegelung und dem Erhalt sowie der Erweiterung von Grün- und Brachflächen. Die Erfordernisse gewerblich-industrieller Nutzungen bestimmen maßgeblich die Gestaltung der Gebiete und schränken somit den Rahmen für klimaverbessernde Maßnahmen ein. Es entstehen Zielkonflikte zwischen einer anzustrebenden Verbesserung der Grünstruktur und Verringerung des Versiegelungsgrades einerseits und einer notwendigen Vollversiegelung betrieblicher Funktionsbereiche auch zum Schutz des Grundwassers andererseits. Lösungsmöglichkeiten sind in diesem Fall in einer ausreichenden Gliederung von hochversiegelten Bauflächen und betrieblichen Funktionsbereichen wie Lager- und Freiflächen durch breite Pflanzstreifen und Grünzüge zu suchen. Darüber hinaus bieten sich oft Stellplatzanlagen, Randsituationen und das Umfeld von Verwaltungsgebäuden für Begrünungen an. Weitere sinnvolle Maßnahmen sind die Begrünung von Fassaden und Dächern sowie die Nutzung von gespeichertem Regenwasser zur Kühlung. Der Rückhalt von Regenwasser kann zudem wirtschaftliche Vorteile (Abwassergebühren sinken) und ein positives Image für den jeweiligen Betrieb bringen.

Bei Neuplanungen von Gewerbe- und Industriegebieten ist darauf zu achten, in den jeweiligen Planungsstufen die Belange von Klimaanpassung zu berücksichtigen. Zu nennen sind die Rahmenplanung, die Flächennutzungsplanung, die Bebauungsplanung, die Vorhaben- und Erschließungsplanung sowie das Baugenehmigungsverfahren. Klimawirksame Maßnahmen lassen sich insbesondere in der Bauleitplanung für neue und zu erweiternde Standorte umsetzen. So ist im Rahmen der Eingriffsregelung darauf zu achten, soweit möglich die Kompensationsmaßnahmen auf dem Gelände selbst durchzuführen, um für eine Verbesserung der klimatischen und lufthygienischen Bedingungen vor Ort zu sorgen. Mit Hilfe geeigneter Festsetzungen ist im Bebauungsplan eine Begrenzung der Flächeninanspruchnahme sowie eine ausreichende Grünausstattung zu sichern. Weiterhin ist durch eine geeignete Baukörperanordnung und die Beschränkung bestimmter Bauhöhen eine optimale Durchlüftung zu gewährleisten. Durch die Wahl eines geeigneten Areals zur Sicherung einer hinreichenden Be- und Entlüftung kann die Ausbildung großflächiger Wärmeinseln vermieden werden. Dazu kann auch ein bepflanzter Freiraum als Puffer zu angrenzenden Flächen dienen.

In Bereichen der Hitzeinsel mit einer hohen Wohnbevölkerung müssen Maßnahmen zur Klimaanpassung einerseits die Aufenthaltsqualität steigern durch Verringerung der Hitzeentwicklung am Tag. Andererseits müssen aber auch Maßnahmen ergriffen werden, die die nächtliche Überwärmung verringern. Hierzu können Maßnahmen herangezogen werden wie:

- Nächtliche Überwärmung verringern durch eine Verringerung der Hitzeentwicklung am Tag (Beschattung, Verdunstung, helle Farben, Entsiegelung)
- Zufuhr kühlerer Luft aus der Umgebung

- Ausgleichsräume schaffen/erhalten (Parks im Nahbereich, Begrünung von Innenhöfen)
- Reduzieren der Versiegelung, Freiflächen möglichst nicht zur Innenverdichtung heranziehen (neben planerische auch informelle Instrumente, z.B. Information nutzen)
- Gebäude und Gebäudeumfeld begrünen, insbesondere Dachbegrünungen anstreben

Eine Erhöhung des Grünanteils durch Baumpflanzungen im verdichteten Bereich der Zone 1 ist nur unter der Berücksichtigung der Belüftung, die durch die Maßnahme nicht eingeschränkt werden darf, anzustreben. In schlecht durchlüfteten Bereichen ist eine dichte Vegetation zu vermeiden. Hier sind Detailuntersuchungen vor der Durchführung von Begrünungsmaßnahmen notwendig. Für Baumpflanzungen bieten sich besonders größere Plätze und Stellplatzanlagen an. Hierbei steigern insbesondere großkronige Laubbäume durch ihren Schattenwurf die Aufenthaltsqualität. An Hauptverkehrsstraßen bestehen meist weitreichende Restriktionen durch Leitungen und Kanäle im Boden. Die Neuanpflanzung von innerstädtischen (Straßen-)Bäumen ist eine sinnvolle Maßnahme zur Reduzierung der Hitzebelastungen. Bei der Entwicklung von konkreten Pflanzprojekten sind die Aspekte weiterer Klimawandelfolgen mit zu berücksichtigen. So können die prognostizierten sommerlichen Trockenperioden oder die Zunahme von Sturmereignissen zu Stress bei Stadtbäumen führen. Eine Optimierung der Baum-scheiben-Standorte, der Bewässerungspläne sowie der Auswahl geeigneter Baumarten ist zukünftig notwendig. Hierzu geben die Maßnahmensteckbriefe im Katalog der Anpassungsmaßnahmen detaillierte Informationen und Hinweise.

Tagsüber müssen Ausgleichsräume für die Bevölkerung geschaffen werden, z.B. Parks in Nahbereich (siehe Zone 3). Parkanlagen, aber auch Friedhöfe, Kleingartenanlagen und Spielplätze können lokale Klimaoasen sein, die der Erholung vor Ort dienen und bei entsprechender Größe auch zur Abkühlung der direkten Umgebung beitragen können. Bewegte Wasserflächen oder Springbrunnen im Park erhöhen das Kühlpotential der Grünanlage. Durch Beschattung von Straßenräumen mit Bäumen kann der Hitzeeintrag am Tag reduziert werden, was wiederum die Überwärmung in der Nacht vermindert. Bei einem geringen bis fehlenden Platzangebot für die Neuanlage von Grünflächen im dicht bebauten innerstädtischen Bereich können ergänzend Fassaden- und Dachbegrünungen zur Verbesserung des Mikroklimas durchgeführt werden. Zur Begrenzung von Neuversiegelung und zum Erhalt von Freiflächen sind beispielsweise Festsetzungen im Bebauungsplan zur Gestaltung von Stellplätzen heranzuziehen. In schon bebauten Gebieten sollten Entsiegelungen überall dort erfolgen, wo sie aufgrund der jeweiligen Nutzung möglich sind. Abseits der öffentlichen Straßen können Bodenversiegelungen durch den Einsatz von durchlässigen Oberflächenbefestigungen vermieden bzw. reduziert werden und zwar vor allem dann, wenn die Nutzungsform der Flächen nicht unbedingt hochresistente Beläge wie Beton oder Asphalt voraussetzt. Zur notwendigen Reduzierung der nächtliche Überwärmung sind Maßnahmen zur Anpassung der gesamten Stadtstruktur notwendig, damit die Zufuhr kühlerer Luft aus der Umgebung verbessert wird. Frischluftschneisen und Luftleitbahnen (siehe Zone 4) spielen für diese Hitzegefährdungsgebiete eine wichtige Rolle. Raumbezogene Maßnahmen zur Hitzeprävention werden im Kapitel 5 in Form von Steckbriefen detailliert beschrieben.

Zone 2: Gebiete mit einer erhöhten Hitzebelastung im Zukunftsszenario

Die Hitzeareale der Zone 2 fallen im IST-Zustand noch in das Siedlungsklimatop mit nur geringen Hitzebelastungen. Im Zuge des Klimawandels mit vermehrten und länger andauernden Hitzewellen sind diese Gebiete aber zukünftig dem Stadtklimatop mit einer erhöhten Hitzebelastung zuzuordnen.

Durch eine Ausweitung der Hitzeinseln im Zuge des Klimawandels kommen im Zukunftsszenario 2050 insbesondere im Randbereich der Stadtviertel Gebiete dazu, die von einer hohen Hitzebelastung betroffen sein werden.

Wohngebiete um die Siedlungskerne der Kommunen und Randbereiche der Industrie- und Gewerbegebiete machen den Hauptanteil dieser Belastungszone aus. Die meist dichte, mehrstöckige Bebauung in den Wohngebieten erschwert den Abtransport von tagsüber aufgenommenen Hitze deutlich. Für Begrünungen ist in der Regel wenig Platz. In diesen Bereichen spielt insbesondere die fehlende nächtliche Abkühlung, die zu einer Belastung des menschlichen Organismus führen kann, eine entscheidende Rolle für das Belastungspotenzial. Während langanhaltender Hitzeperioden bleiben die Nachttemperaturen zukünftig deutlich über 20 °C und eine Lüftung zur Kühlung von aufgeheizten Innenräumen ist nicht mehr möglich.

Maßnahmenvorschläge:

- Die Anpassungsmaßnahmen der Zone 1 sollten auch im Bereich der Zone 2 zur Anwendung kommen, auch wenn die Hitzebelastung momentan noch nicht so ausgeprägt ist
- Freiflächen, falls notwendig, nur klimasensibel zur Innenverdichtung heranziehen

Anpassungsmaßnahmen für Veränderungen, die sich erst in der Zukunft ergeben, müssen bereits heute beginnen. Durch geeignete Maßnahmen kann einer Ausweitung der Hitzeinseln in der Zukunft entgegengewirkt werden. Momentan noch vorhandene Freiflächen in dieser Zone, die für eine Innenverdichtung herangezogen werden sollen, dürfen nur klimasensibel umgenutzt werden. Hier sollten neue Belastungen durch sinnvolle Maßnahmen abgemildert werden. Die Neuplanung von stark durchgrünter Wohngebieten mit einer aufgelockerten Bebauungsstruktur, die kühle Freilandluft tief eindringen lässt, sind möglich. Im Bereich der privaten Hausbesitzer muss mit Aufklärungskampagnen dem Trend der versiegelten Vorgärten oder den Steingärten entgegengewirkt werden. Im Neubau sind hierzu Vorgaben festzuschreiben, um den Versiegelungsgrad zu verringern.



Zone 3: Gebiete der stadtklimarelevanten Grün- und Freiräume

Im gesamten Untersuchungsgebiet der 6 Kommunen wurden alle Grünflächen und Freiräume bezüglich ihrer Relevanz für das Stadtklima bewertet. Vegetationsflächen haben eine bedeutende Wirkung auf das Lokalklima, da sie einerseits die nächtliche Frisch- und Kaltluftproduktion ermöglichen und andererseits tagsüber thermisch ausgleichend sind. Innerstädtische und siedlungsnahe Grünflächen beeinflussen die direkte Umgebung in mikroklimatischer Sicht positiv. Sie spielen eine Rolle als lokale, innenstadt- und siedlungsnahe Aufenthaltsräume, die es als klimatische Gunsträume und zur Naherholung zu erhalten gilt.

Freiflächen mit einer hohen Klimaaktivität sind vor allem Gebiete mit direktem Bezug zu den Hitzebelastungsgebieten wie z.B. innerstädtische und siedlungsnahe Grünflächen oder solche, die im Einzugsgebiet eines Kaltluftsystems liegen. Innerhalb der bebauten Bereiche sind vorhandene Grünflächen überwiegend mit den höchsten Empfindlichkeiten und Restriktionen gegenüber Nutzungsänderungen versehen. Vegetationsflächen am Siedlungsrand fördern den Luftaustausch. Größere zusammenhängende Vegetationsflächen stellen ein klimatisch-lufthygienische Regenerationspotential dar. Aufgrund der Ergebnisse der Kaltluftberechnungen sind viele Flächen im Außenbereich über Luftleit-

bahnen an überhitzte Stadtteile angebunden. Entsprechend sind diese Freiflächen oder auch Waldgebiete als Kaltluftlieferanten schützenswert.

Maßnahmenvorschläge:

Die Flächen der Zone 3 sind mit einer hohen Empfindlichkeit gegenüber nutzungsändernden Eingriffen bewertet; d.h. bauliche und zur Versiegelung beitragende Nutzungen können zu bedenklichen klimatischen Beeinträchtigungen führen. Sinnvolle Maßnahmen in dieser Zone der Handlungskarte sind:

- Innerstädtische Grünflächen möglichst erhalten, untereinander vernetzen und bei Bedarf ertüchtigen
- Parkartige Strukturen von innerstädtischen Grünflächen erhalten und bei Bedarf verbessern
- Straßenbegleitgrün erhalten und bei Bedarf erhöhen
- Übergänge zu den bebauten Bereichen durchlässig gestalten.

Im Bereich der stadtklimarelevanten Kaltluftentstehungsgebiete, die über den Anschluss mit einer Luftleitbahn kühle Umgebungsluft für die überwärmten Stadtbereiche bereitstellen können, sollten außerhalb von Waldgebieten keine großflächigen Aufforstungen stattfinden, um die Bildung und den Transport der Kaltluft nicht zu behindern. Stadtnahe und innerstädtische Grünflächen sollten zur Abmilderung der Hitzebelastungen erhalten und gegebenenfalls weiterentwickelt werden. Zur Sicherung einer guten Belüftung sollten auch hier großflächige Aufforstungen vermieden werden. Innerstädtische Grünflächen sollten eine parkartige Struktur mit Einzelbäumen, Baumgruppen und Büschen aufweisen und möglichst nicht als reine Rasenflächen angelegt oder erhalten werden. Großkronige Einzelbäume oder Baumgruppen als Schattenspender sind auf diesen Flächen sinnvoll. Die Funktionen der Grün- und Freiflächen sind auch im Zusammenhang mit weiteren Klimawandelfolgen zu betrachten. Die Zunahme von Trockenperioden und Stürmen sollte eine Rolle spielen bei der Auswahl geeigneter Pflanzenarten zur Begrünung. Grünflächen können als multifunktionale Flächen gerade innerstädtisch einen wertvollen Beitrag zur Retention und damit zur Abschwächung der Folgen von Starkregenereignissen spielen.

Diese Schutzzone ist bei der Bauleitplanung in die Abwägung einzustellen, die Auswirkungen von Eingriffen in die betroffenen Flächen können klimatisch relevant sein. Sollten Flächen aus dieser Zone dennoch bebaut werden, sollen entsprechende Maßnahmen, wie unter Zone 2 beschrieben, ergriffen werden, um die Auswirkungen abzumildern.



Zone 4: Gebiete der Luftleitbahnen

Eine gute Belüftungssituation in der Region trägt wesentlich zur Qualität ihres Mikroklimas bei. Durch einen guten Luftaustausch können überwärmte Luftmassen aus den Stadtgebieten abgeführt und durch kühlere aus dem Umland ersetzt werden. Weiterhin können mit Schadstoffen angereicherte Luftmassen durch Frischluft ersetzt und die vertikale Durchmischung der Luft erhöht werden. Neben der Schutzzone der stadtklimarelevanten Grün- und Freiflächen werden auch die für den Luftaustausch wichtigen Leitbahnen als Schutzzone in der Handlungskarte ausgewiesen.

Die stadtklimarelevanten Luftbewegungen des autochthonen (eigenbürtigen, lokalen) Windfeldes aus der Kaltluftsimulation sind in die Handlungskarte übernommen. Entlang dieser mit Pfeilen gekennzeichneten Bereiche findet bei Schwachwindlagen eine Belüftung des überwärmten Bereichs durch

Kaltluftzufluss oder Flurwinde statt. Kaltluftströme sind empfindlich gegenüber Störungen wie Hindernisse. Die in der Handlungskarte ausgewiesenen Bereiche der Zone 4 sind aus klimatischer Sicht für die lokalen Windströmungen während austauscharmer Wetterlagen von besonderer Bedeutung. Bauliche Eingriffe in diese Bereiche werden zu Einschränkungen der lokalen thermisch induzierten Windsysteme führen. Die Folgen können eine geringere Abkühlung in heißen Sommernächten und ein verringerter Luftaustausch sein.

Maßnahmenvorschläge:

Die in der Handlungskarte ausgewiesenen Luftleitbahnen sind aufgrund ihrer Bedeutung für die klimatische Situation im Bereich der Hitzebelastungsgebiete wichtig und ihre Funktion ist schützenswert. Zur Unterstützung der Funktion von Luftleitbahnen sollten hier die folgenden Maßnahmen eingehalten werden:

- Beachtung der Funktion der Luftleitbahnen bei künftigen Planungen/Bautätigkeiten
- Zusätzliche Emittenten vermeiden, Minimierung und Optimierung bestehender Emittenten durch neue Technologien
- Bebauung sollte keine Riegelwirkung erzeugen
- Hohe und dichte Vegetation (Sträucher und Bäume) als Strömungshindernis im Bereich von Luftleitbahnen vermeiden, Aufforstungen in diesen Bereichen vermeiden
- Übergangsbereiche zwischen den Luftleitbahnen und der Bebauung sollten offen gestaltet werden, um einen guten Luftaustausch zu fördern.

Zur Unterstützung der Belüftungsfunktion wird die Anlage zusätzlicher rauhigkeitsarmer Grünzonen im Umfeld einer Luftleitbahn empfohlen. Hierzu sollte entlang der Belüftungsbahn unbedingt auf weitere Strömungshindernisse verzichtet und im bebauten Bereich die Entsiegelung von Flächen angestrebt werden, dies kann schwerpunktmäßig im Rahmen einer Umnutzung von Flächen oder auch in Verbindung mit Begrünungsmaßnahmen und einer Grünvernetzung geschehen.

Diese Schutzzone ist bei der Bauleitplanung mit einer sehr hohen Priorität in die Abwägung einzustellen, die Auswirkungen von Eingriffen in die betroffenen Flächen sind im Verfahren durch einen entsprechenden Fachbeitrag qualitativ und quantitativ näher zu untersuchen. Es wird empfohlen, die Auswirkungen geplanter Veränderungen durch eine mikroskalige Modellierung zu überprüfen.

Zone 5: Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde die Zone 5 in drei Unterzonen dargestellt.



Zone 5a: Hochwasserrisikobereich für extreme Hochwasserereignisse (HQ extrem)

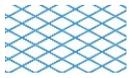
Als Hochwasserrisikobereich wurden die Überschwemmungsgebiete niedriger Wahrscheinlichkeit bei Extremereignissen (HQ extrem) aus den Hochwassergefahrenkarten für NRW dargestellt. Sie beziehen sich nur auf die Überschwemmungsgebiete von hochwassergefährdeten Gewässern. Kleinere Bäche und Fließgewässer bleiben bei dieser Betrachtung aber unberücksichtigt, da sie nicht in amtlich festgelegte Kategorie der hochwassergefährdeten Gewässer eingeordnet sind.



Zone 5b: Fließwege

Für frei abfließendes Oberflächenwasser bestimmt die Regenmenge maßgeblich das Auftreten von freiem Oberflächenabfluss. Während der Niederschlag eines normalen Regenereignisses über die Ka-

nalisation abgeführt wird, entstehen bei Extremniederschlagsereignissen stark wasserführende Fließwege. Von den in der Fließwege- und Senkenanalyse (Kapitel 3.4) berechneten Oberflächenfließwegen sind die Hauptfließwege ab einem Einzugsgebiet von 50.000 m² in die Handlungskarte übernommen.



Zone 5c: Senkenbereiche

Senkenbereiche sind abflusslose Vertiefungen im Gelände, die abfließende Regenmengen aufnehmen und bei Stark- und Extremregenereignissen voll- und überlaufen können. Einige Senken enthalten Teiche, diese sind in der Handlungskarte ausgespart.

Potenzielle Belastungsbereiche finden sich dort, wo ein großes Oberflächenabflussvolumen auf Siedlungen, Gebäudekomplexe oder städtische Infrastruktur trifft. Im Fall von unversiegelten Gebieten mit hohem Oberflächenabfluss und im Bereich von abflusslosen Senken besteht momentan noch keine Gefährdung von Infrastruktur. Bei einer geplanten Nutzungsänderung / Bebauung ist aber mit einem Gefährdungspotential durch Überflutungen zu rechnen. Kleinräumig müssen darüber hinaus Senken als Belastungsgebiete Beachtung finden. In solchen Senken kann das Wasser nur über die Kanalisation abgeführt werden. Insbesondere während intensiver Starkregenereignisse kann die überlastete Kanalisation dies nicht leisten.

Maßnahmenvorschläge:

Ein erster Schritt ist die hier erfolgte Erfassung und Visualisierung der Fließwege und der abflusslosen Senken im Gemeindegebiet. Weitere erforderliche Schritte sind daraus zu entwickelnde Starkregengefahren- und Starkregenrisikokarten und die Entwicklung von Maßnahmen für eine Überflutungsvorsorge. Eine 2D-Oberflächenberechnung liefert allgemeinverständliche Ergebnisse durch Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten bei verschiedenen Starkregenereignissen. Diese Karte eignet sich zur Kommunikation mit Politik und Bürgern, sowie zur Veröffentlichung. Dabei werden hauptsächlich Starkregenereignisse berechnet, bei denen aufgrund der Wassermenge der Kanal kaum noch einen Einfluss hat.

Allgemein zusammengefasst sind in den ausgewiesenen Belastungsbereichen, in denen eine hohe Überflutungstiefe zur Gefährdung von Infrastruktur führen kann, neben technischen Maßnahmen des Objektschutzes Maßnahmen erforderlich, die die Abflussmenge reduzieren und Abflussspitzen durch verzögerten Abfluss verringern. Dazu gehören in erster Linie:

- Entsiegelung und Begrünung der hoch versiegelten Bereiche zur Reduzierung des Oberflächenabflusses und Verbesserung des Stadtklimas
- Retentionsmaßnahmen in Form von Überlaufbecken (techn. Bauwerke) oder Überflutungsflächen mit Entlastungspotential für extreme Regenereignisse

Durch Entsiegelungs- und Begrünungsprogramme kann jeweils auch eine Verbesserung des Stadtklimas erreicht werden. Multifunktionale Überflutungsflächen sollten einhergehen mit stärker begrünten und entsiegelten Stadtbereichen. Ein bewusstes Wasserwegenetz steigert die Wohnqualität und bietet gleichzeitig Möglichkeiten für eine gezielte Ableitung des Direktabflusses. Untersuchungen zeigen deutlich, dass Begrünungs- und Entsiegelungsmaßnahmen auf die Direktabflussmenge von seltenen Starkregenereignissen nur eine verhältnismäßig geringe Auswirkung haben. Als reine Anpassungsmaßnahme an Starkregen ist die Wirkung von Entsiegelungsprogrammen eher gering, während sich Retentionsmaßnahmen in Form von Überlaufbecken oder Überflutungsflächen als sehr effektiv erwiesen

haben. Neben der hohen Effektivität von Retentionsbecken und dem geringen Flächenverbrauch, besteht ein weiterer Vorteil in der schnellen und einmaligen Umsetzung. Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen müssten sukzessive umgesetzt werden, so dass eine maximal mögliche Wirkung erst nach langer Zeit erreicht werden könnte. Entsiegelte und begrünte Flächen entfalten ihre Wirkung vor allem in ihrer alltäglichen Wirkung. Neben einer deutlichen Aufwertung des innerstädtischen Klimas wird die Lebensqualität deutlich verbessert. Aus hydrologischer Sicht zeigen sich die Vorteile des reduzierten Oberflächenabflusses insbesondere bei mittleren Niederschlagsereignissen. Hier verringert sich das Verhältnis aus Gesamtniederschlag und Oberflächenabflussvolumen. Während beispielsweise die Speicherkapazität eines Gründaches bei einem 50-jährlichen Niederschlagsereignis schnell erschöpft ist, kann die gleiche Fläche einen gewöhnlichen sommerlichen Starkregen nahezu vollkommen aufnehmen. Wird die Aufnahmekapazität überschritten, werden trotzdem die Abflussspitzen deutlich verringert.

Die Karte der Fließwegakkumulation und Senkenberechnung liefert Hinweise auf Stellen im Untersuchungsgebiet, an denen Vorsorgemaßnahmen ergriffen werden sollten. Diese Maßnahmen können sich beziehen auf:

- Informationsvorsorge
- Objektschutzmaßnahmen
- Flächenvorsorge (Freihaltung, Sicherung, Rückgewinnung)
- Risikovorsorge.

Ein weiterer Schritt nach oder im Zusammenhang mit der Erstellung einer Starkregengefahrenkarte wäre eine flächige Risikoanalyse für Starkregenereignisse unter Berücksichtigung der öffentlichen Gebäude und Infrastruktureinrichtungen, die Informationsvorsorge für die Bürgerschaft und die Anpassung des Krisenmanagements. Eine Bestimmung der Vulnerabilität bzw. der Schadenspotentialklasse ermöglicht eine Selektion bzw. stellt ein Hilfsmittel für die Priorisierung von Maßnahmen dar. Die Zuordnung zu einer Schadenspotentialklasse erfolgt über die Gebäudenutzung.

In der zukünftigen Bauleitplanung sind die Erkenntnisse der Starkregensimulation außerdem zu berücksichtigen (kommunale Flächenvorsorge). Unter Betrachtung dieser Analyse eignen sich manche Flächen nicht zur Bebauung, sondern eher zur Rückhaltung von Hochwasser oder Starkregenabflüsse. Bei der Bebauung gefährdeter Flächen ist in jedem Fall auf eine angepasste Bauweise zu achten.

Als nächstes sind diese Stellen zu erfassen und geeignete Maßnahmen zu entwickeln und zu priorisieren. Die Ergebnisdaten aus der hier vorliegenden Analyse werden als Rasterdaten (GeoTiff-Dateien) übergeben, so dass diese in eine GIS-Anwendung implementiert werden können. Dies ermöglicht zudem Synergieeffekte im Bestand und Planung, da weitere Themen/Fragestellungen/Aufgaben mit dem Ergebnis verschnitten werden können. Wenn beispielsweise im GIS deutlich wird, dass sich eine sanierungsbedürftige Straße mit einem größeren Fließweg überlagert, wäre eine Planung mit einer abflussoptimierten Profilierung der Straße denkbar. Außerdem können bestehende und geplante Gründächer hinsichtlich einer Eignung zum Starkregenrückhalt bewertet werden. Für geplante Neubaugebiete kann beurteilt werden, welche Maßnahmen ergriffen werden müssen, um Schäden durch Starkregen in der Zukunft zu vermeiden.

Zusammengefasst werden im Rahmen des Klimaanpassungskonzeptes die folgenden Maßnahmen, die anhand von Steckbriefen im Maßnahmenkatalog weiter erläutert werden, vorgeschlagen:

- Erstellung einer Starkregengefahrenkarte mit Einstautiefen für extreme Regenereignisse

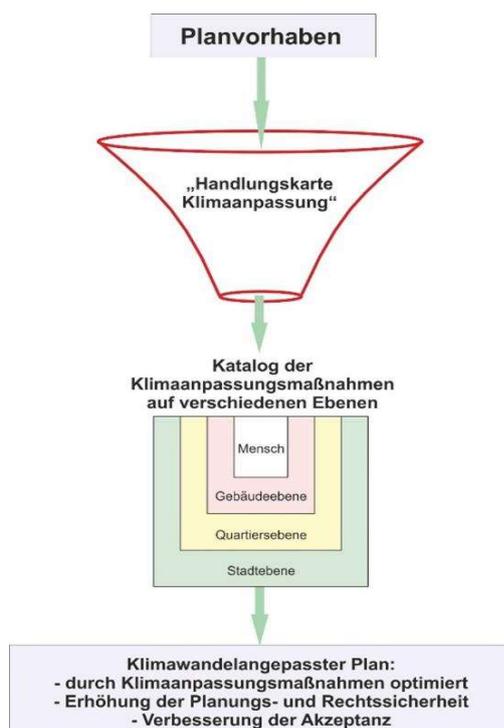
- Beauftragung einer Risikoanalyse auf der Grundlage der Starkregengefahrenkarte und der Bevölkerungs- und Gebäude-Vulnerabilitäten
- Objektschutzmaßnahmen
- Berücksichtigung der Gefahren durch Überflutung in der Bauleitplanung (Senkenlage, Lage an einem Fließweg)
- Krisenmanagement mit Bereitstellung von Infomaterial zum Verhalten bei Extremwetterlagen (Starkregen und Hitze)

Da einzelne Kommunen schon Starkregengefahrenkarten erstellt oder in Beantragung haben, treffen die oben zusammengefassten Maßnahmen nicht auf alle Kommunen der Region Rhein-Voreifel gleichermaßen zu.

4.2 Leitfaden für die räumliche Planung

Das vorliegende Klimafolgen-Anpassungskonzept für die Region Rhein-Voreifel ist ein Instrument zur Integration von Klimaanpassungsmaßnahmen in alle raumbezogenen Vorhaben in den Kommunen sowie in das langfristige Verwaltungshandeln. Er dient auch der gezielten Sensibilisierung der Öffentlichkeit für das Thema.

Bevor es zu einer Entscheidung über ein Planvorhaben oder über eine Entwicklung einer konkreten Fläche kommt, sollte vorab verwaltungsintern mit Hilfe der „Handlungskarte Klimaanpassung“ abgeglichen werden, ob auf der angestrebten Fläche ein dort ausgewiesenes Handlungserfordernis bezüglich der Folgen des Klimawandels gegeben ist. Ist dies zutreffend, so muss geklärt werden, um welche Art von Konfliktpotenzial, z. B. Hitzebelastung, die Belüftungs- oder Kühlfunktion einer Fläche oder Überflutungsgefährdung es sich handelt. Ab diesem Zeitpunkt müssen Maßnahmen aufgezeigt und in den weiteren Schritten des Planungsverfahrens mitberücksichtigt werden.



Die kommunalen Planungen müssen als Weichenstellung für die zukünftige Stadtentwicklung verstanden werden. Eine weitreichende Kommunikation der „Handlungskarte Klimaanpassung“ in die Öffentlichkeit hinein erleichtert außerdem die Anwendung des Maßnahmenkatalogs auch im Bereich privater Grundstücksflächen. Abbildung 4.2 zeigt die Abfolge für alle zukünftigen Planungen mit räumlichem Bezug in den Kommunen Alfter, Bornheim, Meckenheim, Rheinbach, Swisttal und Wachtberg auf. Als Grundlage für das Ablaufschema dienen neben der Handlungskarte Klimaanpassung die in einem Katalog zusammengestellten Klimaanpassungsmaßnahmen.

Abb. 4.2 Ablaufschema für Planvorhaben in den Kommunen der Region Rhein-Voreifel

5. MAßNAHMENKATALOGE UND MAßNAHMENUMSETZUNG BEI BEISPIELPROJEKTEN IN DER REGION RHEIN-VOREIFEL

Während es in den heißen Klimazonen der Erde schon immer einen klimaangepassten Städtebau (z.B. enge Gassen mit Verschattung der Hauswände, helle Oberflächen) gegeben hat, ist in unseren Regionen ein Umdenken erforderlich, um eine Anpassung an die Folgen des Klimawandels zu erreichen. Es muss eine Umgestaltung auf Stadt-, Quartiers- und Gebäudeebene stattfinden (siehe Kapitel 3.1), um eine Verminderung der zukünftigen Belastungen durch die Folgen des Klimawandels zu erreichen. Zusätzlich muss sich das Verhalten des Menschen verändern, damit die Anfälligkeit gegenüber Klimafolgen abnimmt.

Die Kommunen Alfter, Bornheim, Meckenheim, Rheinbach, Swisttal und Wachtberg haben sich als Region Rhein-Voreifel zusammengefunden, um gemeinsam ein Konzept zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels zu entwickeln. Dabei sollen Maßnahmen sowohl auf interkommunaler Ebene wie auch als Leuchtturmprojekte und übertragbare Projekte beispielhaft in den einzelnen Kommunen (siehe Kapitel 3.3) entwickelt werden.

5.1 Zusammenstellung geeigneter Maßnahmen zur Klimaanpassung

Im Folgenden werden Tabellen und Kataloge mit verschiedenen Anpassungsmaßnahmen auf den drei Ebenen (Region/ Kommune, Quartier, Gebäude) zusammengestellt. Die Maßnahmen werden anhand einer Kurzbeschreibung erläutert.

Anpassungsmaßnahmen auf regionaler/ kommunaler Ebene

Langfristig umzusetzende Maßnahmen fallen in den Bereich der Freiraumplanung und Stadtentwicklung. Aufgrund der sehr langsamen Geschwindigkeit eines nachhaltigen Stadtumbaus besteht hier ein hoher Handlungsdruck für die Stadtentwicklungsplanung. Anpassungsmaßnahmen für Veränderungen, die sich erst in der Zukunft ergeben, müssen bereits heute beginnen. Freiwerdende Flächen sind im Sinnen der Stadtbelüftung einer sorgfältigen Abwägung über die zukünftige Nutzung zu unterziehen.

Anpassungsmaßnahmen auf Quartiersebene

Kurz- und mittelfristig umzusetzende Maßnahmen zur Anpassung der städtischen Infrastruktur an den Klimawandel sind Begrünungs- und Entsiegelungsmaßnahmen im Straßenraum. Ebenfalls kurz- bis mittelfristig umsetzbar ist die Schaffung von kleineren offenen Wasserflächen im Stadtbereich. Maßnahmen einer baulichen Quartiersumgestaltung sind nur mittel- oder langfristige umsetzbar.

Anpassungsmaßnahmen auf Gebäudeebene

Kurz- bis mittelfristig umzusetzende Maßnahmen zur Reduzierung der Hitzebelastung im städtischen Raum auf Gebäudeebene sind Dach- und Fassadenbegrünungen. Veränderungen im Gebäudedesign, wie die Gebäudeausrichtung, Hauswandverschattung, Wärmedämmung und der Einsatz von geeigneten Baumaterialien können als mittelfristige Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel zusammengefasst werden. Neben dem Gebäude an sich wird auch das direkte Gebäudeumfeld betrachtet, z. B. die Gartengestaltung.

Klimaanpassungsmaßnahmen in der Land- und Forstwirtschaft

Die Land- und Forstwirtschaft in der Region Rhein-Voreifel ist vielfältig von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Hohe sommerliche Temperaturen mit geringen Niederschlägen haben Auswirkungen auf die Landwirtschaft. Vor dem Hintergrund der extremen Temperaturen in den Jahren 2018 und 2019 wird die Einrichtung von Bewässerungssystemen und der Anbau von angepassten Pflanzensorten und Kulturen deutschlandweit empfohlen. Ziel dieser Maßnahmen ist es jeweils, Ernteaufträge durch Dürre zu minimieren und so die Importe von landwirtschaftlichen Produkten in Zeiten eines extremen Hitzeereignisses zu reduzieren.

Der Klimawandel hat verschiedene Auswirkungen auf die Baumartenzusammensetzung und somit auf die Forstwirtschaft. Einige Baumarten profitieren dabei vom Klimawandel, andere leiden darunter. Graduelle Klimaveränderungen können einerseits das Wachstum der Bäume fördern, weil beispielsweise die Vegetationsperiode länger andauert, andererseits können sie eine schneller fortschreitende Vermehrung von Schaderregern fördern und damit zu geringerem Wachstum beitragen. Das Wachstum wirkt sich wiederum auf den Holzvorrat aus, welcher sich auf den potenziellen Holzeinschlag auswirkt. Außerhalb des Siedlungsraums sind auch die Wälder und die landwirtschaftlichen Flächen, insbesondere die Obsthaine durch eine Zunahme der Trockenheit betroffen. Ein weiterer Faktor, der zur Austrocknung von Böden bei lang anhaltenden Trockenperioden führen kann, ist der Wind. Dieser Aspekt wurde in einem während der Projektlaufzeit durchgeführten Fachgespräch mit Vertretern der Land- und Forstwirtschaft angesprochen und daraufhin in die Analyse aufgenommen. Zunehmende Windgeschwindigkeiten führen zu einer ansteigenden Verdunstung der Bodenfeuchte der oberen Bodenschichten und damit zu einer größeren potenziellen Trockenheitsgefährdung. Der Forstwirtschaftssektor ist auch von Schäden durch Windwurf betroffen, da der Bestand bei einem Sturm radikal dezimiert wird.

Auch Kaltluft, die der sommerlichen Hitze entgegenwirken kann, hat nicht nur positive Effekte, sondern kann in der Landwirtschaft, insbesondere im Bereich der Obsthaine auch zu einer Verstärkung von Schäden bei Früh- und Spätfrösten führen. In den Kaltluftströmen können die Lufttemperaturen um mehrere Grad unter denen der Umgebung liegen. Insbesondere die Obsthaine rund um Meckenheim liegen überwiegend in einem Hauptkaltluftstrom. Sie werden zukünftig häufiger durch Spätfröste im Frühjahr gefährdet sein, da aufgrund des Klimawandels der Beginn der Vegetationsperiode immer früher im Jahr sein wird. Dadurch vergrößern sich die Schäden durch Fröste im Frühjahr.

Starkregen führt bereits in seiner frühen Phase zu überfluteten Straßen, gefluteten Unterführungen und Kellern. Durch die Wassermassen können Dämme brechen und landwirtschaftliche Flächen werden überflutet.

Auf dieser Grundlage werden im Klimaanpassungskonzept (Langfassung) verschiedene Anpassungsmaßnahmen für die Land- und Forstwirtschaft zusammengestellt.

Klimaanpassungsmaßnahmen für Gewerbe und Industrie

Gewerbe- und Industriegebiete mit den dazugehörigen Produktions-, Lager- und Umschlagstätten prägen das Mikroklima. Bedingt durch den hohen Versiegelungsgrad kommt es verstärkt zu bioklimatischen Konfliktsituationen. Die insgesamt hohe Flächenversiegelung bewirkt in diesen Bereichen eine starke Aufheizung tagsüber und eine deutliche Überwärmung nachts. Die Hitze tagsüber kann zu einer Verminderung der Produktivität der in diesen Bereichen beschäftigten Menschen führen. Der nächtliche Überwärmungseffekt kann hier eine der Innenstadt analoge Ausprägung erreichen. Aufgrund der

Gebäudeanordnungen und der hohen Rauigkeit in den Industriegebieten wird das Windfeld stark verändert. Dies kann sich äußern durch Düseneffekte im Bereich der Werkhallen, die jedoch keine immissionsverbessernden Effekte haben müssen. Besonders problematisch sind unmittelbar an das Zentrum angrenzende Industriekomplexe, die aufgrund der hohen Versiegelungsrate eine stark eingeschränkte nächtliche Abkühlung aufweisen. Im Zusammenspiel mit dichter Stadtbebauung bilden sich große Wärmeinseln aus. Die dicht bebauten Industriegebiete sind aus klimatischer wie auch aus luft-hygienischer Sicht als ausgeprägte Lasträume zu bezeichnen. Gewerbegebiete weisen zum Teil eine stärker durchgrünte Struktur auf und sind dann etwas weniger stark von Hitzebelastung betroffen. Ein häufiges Problem der hoch verdichteten Industrie- und Gewerbeflächen ist auch, dass hier über den erhitzten Oberflächen die Kaltluft aufgezehrt wird und den angrenzenden Gebieten nicht mehr im vollen Umfang zur Verfügung steht.

Auf der anderen Seite erhöht sich mit dem Klimawandel für viele Unternehmen die Gefahr von Schäden und ökonomischen Wertverlusten. Es bestehen potenziell Personenrisiken, z.B. durch Hitze, Sachrisiken, z.B. durch Überflutungen oder Verfügbarkeitsrisiken, z. B. durch Ausfall von Lieferstrecken. Um das Risiko irreversibler Schäden und Ausfälle zu vermindern, sollten frühzeitig Anpassungsmaßnahmen umgesetzt werden. Vor dem Hintergrund einer langfristigen und strategischen Unternehmensführung ist es angebracht, bei Investitions- und Planungsentscheidungen die zukünftigen Klimabedingungen mit einzubeziehen.

Bei Neuplanungen von Gewerbe- und Industriegebieten ist darauf zu achten, in den jeweiligen Planungsstufen die Belange von Klimaanpassung zu berücksichtigen. Zu nennen sind die Rahmenplanung, die Flächennutzungsplanung, die Bebauungsplanung, die Vorhaben- und Erschließungsplanung sowie das Baugenehmigungsverfahren. Klimawirksame Maßnahmen lassen sich insbesondere in der Bauleitplanung für neue und zu erweiternde Standorte umsetzen. So ist im Rahmen der Eingriffsregelung darauf zu achten, soweit möglich die Kompensationsmaßnahmen auf dem Gelände selbst durchzuführen, um für eine Verbesserung der klimatischen und lufthygienischen Bedingungen vor Ort zu sorgen. Mit Hilfe geeigneter Festsetzungen ist im Bebauungsplan eine Begrenzung der Flächeninanspruchnahme sowie eine ausreichende Grünausstattung zu sichern. Weiterhin ist durch eine geeignete Baukörperanordnung und die Beschränkung bestimmter Bauhöhen eine optimale Durchlüftung zu gewährleisten. Durch die Wahl eines geeigneten Areals zur Sicherung einer hinreichenden Be- und Entlüftung kann die Ausbildung großflächiger Wärmeinseln vermieden werden. Dazu kann auch ein bepflanzter Freiraum als Puffer zu angrenzenden Flächen dienen.

Da das Lokalklima in einem direkten Zusammenhang zur Gestaltung der Umwelt steht, kann durch Veränderungen der Flächen und Gebäude das lokale Klima sowohl zum Positiven als auch zum Negativen verändert werden. Relevant sind dabei der Versiegelungsgrad sowie die Grünflächengestaltung, weniger die Gebäudehöhen. Durch eine optimierte Gestaltung der Gebäudearchitektur kann eine Verminderung der zukünftigen Belastungen durch die Folgen des Klimawandels erreicht werden. Ziele einer Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen in Industrie- und Gewerbegebieten sind:

1. Minimierung der sommerlichen Hitzeentwicklung vor Ort
2. Abgrenzung der Hitzeareale insbesondere zur Wohnbebauung
3. Erhalt der lokalen Belüftungsfunktion
4. Vermeidung von Schäden durch Überflutungen
5. Vermeidung von Sturmschäden

Raumbezogene Maßnahmen zur Hitzeprävention und zum Überflutungsschutz (Region, Quartier, Gebäude)

Eine stärkere Vernetzung von kommunalen Akteuren, Verbänden, sozialen Einrichtungen, Investoren und der Bürgerschaft ist zukünftig notwendig, um die Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen voranzutreiben. Dazu gehört auch, die Akzeptanz in Politik und Gesellschaft zu erhöhen und aufzuzeigen, dass Klimaanpassung immer auch mit einer Aufwertung von Stadtvierteln und einer besseren Lebensqualität verknüpft ist. Das persönliche Verhalten im Fall von Überflutungen, extremer Trockenheit (Brandgefahr, Bewässerung) und Hitze muss an die zukünftigen Klimabedingungen angepasst werden. Für besonders betroffene Personenkreise wie alte und kranke Menschen sind Pläne zur Verhaltensvorsorge aufzustellen.

Der vorliegende Katalog der Anpassungsmaßnahmensteckbriefe (Langfassung der Klimaanpassungskonzeptes) soll den erforderlichen Werkzeugkasten für eine nachhaltige Klimaanpassung in der Region Rhein-Voreifel bereitstellen. Aus dem Zusammenspiel von „Handlungskarte zur Klimaanpassung“, „Maßnahmensteckbriefen“ und „Beispielprojekten“ in den einzelnen Kommunen können zukünftig konkrete Anpassungsprojekte entwickelt und deren Nutzen abgeschätzt werden. Unabhängig von den Klimaanpassungsmaßnahmen, die in Form von jeweils zweiseitigen Steckbriefen beschrieben werden, gibt es verschiedene übergeordnete Aspekte, die für viele Anpassungslösungen eine Rolle spielen:

- Bei der Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen ist die Zusammenarbeit verschiedener Bereiche innerhalb der Kommune ein entscheidender und das Ergebnis beeinflussender Faktor. In vielen Kommunen finden einzelne planerische Verfahren (z. B. Bauleitplanung, wasserwirtschaftliche Planung) überwiegend getrennt oder zeitlich nachgeschaltet statt. Dementsprechend schwer ist es, unterschiedliche Belange in die jeweils anderen planerischen Verfahren einzubringen. Insbesondere die Belange derjenigen kommunalen Fachbereiche, die lediglich als Träger öffentlicher Belange in Planungsverfahren eingebunden sind (z. B. Gesundheit), finden im Rahmen der Umsetzung nur selten Berücksichtigung. Durch eine integrierte Zusammenarbeit der verschiedenen Planungsbereiche zu einem möglichst frühen Zeitpunkt der Maßnahmenplanung besteht die Möglichkeit, die verschiedenen Belange frühzeitig zu bündeln, besser untereinander abzuwägen und möglichst in Einklang zu bringen. Mögliche Zielkonflikte von Maßnahmen können durch eine integrierte Planung mit Beteiligung verschiedener Fachbereiche entschärft, Synergien aufgedeckt und genutzt werden. Durch die integrierte Zusammenarbeit verschiedener Planungsbereiche kann der Besprechungsaufwand in den Kommunen zwar anwachsen, letztlich wird die Planungsarbeit durch frühzeitige Absprachen aber erleichtert und qualitativ verbessert. Teilaspekte dieses Hinweises können in den Kommunen durchaus schon umgesetzt sein.
- Für einige Anpassungslösungen des Handlungskatalogs, wie zum Beispiel Dachbegrünungen oder die Begrünung von Straßenzügen, müssen zuvor die baulich-technischen Voraussetzungen wie Dachstatik oder der Verlauf von Leitungstrassen und Kanälen im Straßenbereich abgeklärt werden. Stadtweite Grundlagen wie beispielsweise ein Gründachkataster können dazu erste Anhaltspunkte geben.
- Ein effizienter Einsatz von Anpassungslösungen ist nur dann möglich, wenn man in der Lage ist, Bereiche zu identifizieren, in denen ein Handlungsbedarf besteht (z. B. über die Handlungskarte Klimaanpassung), und abzuschätzen, mit welcher Strategie und mit welchem Einsatz ein möglichst hoher Kosten-Nutzen-Quotient erreicht wird. Sollen Auswirkungen einer beabsichtigten Veränderung der Stadtstruktur durch große, komplexe Vorhaben vorausgesagt werden, ist der Einsatz eines numerischen Simulationsmodells eine sinnvolle Lösung.

- Übergeordneter Aspekt für fast alle Anpassungslösungen ist auch die Schaffung eines Bewusstseins für die Umsetzungsbereitschaft von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. Neben der Politik sind hier auch die beteiligten Akteure und die Bürgerschaft angesprochen. Diese Überlegungen stellen grundsätzliche Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen dar und sollten deshalb am Anfang stehen. Neben den öffentlichen Institutionen sind auch die Bürgerinnen und Bürger aufgerufen, sich in Zukunft verstärkt mit den Fragen des Klimawandels und den Möglichkeiten zur Anpassung im eigenen Umfeld zu engagieren. Bürgerinnen und Bürger treffen Entscheidungen in ihrem privaten Umfeld und können somit einen wichtigen Beitrag zur Klimaanpassung leisten. Das eigene Haus, der eigene Garten und angrenzende Bereiche bieten dazu ein großes Betätigungsfeld. Nicht zuletzt auch gewerbliche und industrielle Investoren können durch ihre raumbestimmenden Entscheidungen einen wichtigen Beitrag zum Gelingen des Anpassungsprozesses beisteuern. Daher sind die Information und aktive Beteiligung von Akteuren, Bürgerinnen und Bürgern sowie von privaten Einrichtungen an den Planungen und Umsetzungen für eine klimaangepasste Stadt besonders wichtig. Ziele dieser Maßnahmen sind neben der Informationsvermittlung vor allem der aktive Einbezug der Beteiligten in Planung und Umsetzung.
- Nicht an jedem Ort innerhalb eines Siedlungsgebietes ist es aus stadtklimatischer Sicht sinnvoll, Begrünungen vorzunehmen. Zusätzlich spielt die Art der Begrünung eine große Rolle. Beispielsweise ist bei Bäumen ihre Gestalt von entscheidender Bedeutung: Bäume mit breiten, tief ansetzenden Kronen können Frischluftschneisen beeinträchtigen und somit zumindest örtlich einen negativen Effekt bewirken. Gleiches gilt für breite Strauchbeete mit relativ hochwachsenden Bodendeckern und Hecken, die ebenfalls eine Barriere für schwache Luftströmungen darstellen könnten, wenn sie andererseits auch eine günstige Staubfilterwirkung aufweisen. Das Spektrum an Arten und innerartlichen Sippen bei Begrünungsmaßnahmen in Siedlungen umfasst ein breit gefächertes Inventar, das von heimischen Waldbäumen und Heckensträuchern bis hin zu gärtnerisch generierten Sorten gebietsfremder bis exotischer Gehölzarten reicht. Aufgrund der sich ändernden klimatischen Rahmenbedingungen kann nun der Biotop- und Artenschutz bei Begrünungen eine eminentere Position einnehmen, nicht zuletzt, weil die Bedeutung von Siedlungsgebieten für diesen erkannt wurde und die Artenvielfalt von der Vielfalt an urbanen Biotopen profitiert. Hingegen ist außerhalb durch die hochgradig intensivierte Landwirtschaft für viele Arten keine Überlebensmöglichkeit gegeben. Grundsätzlich sollten die Begrünungselemente in erster Linie der thermischen und der lufthygienischen Komponente des Stadtklimas dienlich sein. Um dem Biodiversitätsschutz entgegen zu kommen, sollte dann die Schnittmenge mit entsprechenden Arten gesucht werden. Dabei muss die ökologische Anpassung an den Ist-Zustand und gleichzeitig an die anzustrebende Klimaanpassung erfolgen. Ein grundsätzliches Patentrezept existiert allerdings nicht, welches eine Allgemeingültigkeit für alle Standortsituationen selbst bei sonst maximaler Vergleichbarkeit versprechen kann. Hinzu kommt, dass bestimmte Eigenschaften von Pflanzen, die als geeignet erscheinen, andererseits hinsichtlich eines anderen Klimafaktors wiederum ungünstig sein können. So sind Bäume mit großflächigen Blättern als Feinstaubfilter zunächst günstig, eine große Blattoberfläche kann aber ein Problem für zunehmende Trockenheit sein, weil eine höhere Verdunstungsrate erzielt wird; andererseits sind Bäume mit schmalen Blättern besser widerstandsfähig gegenüber Verdunstung, fangen aber erheblich weniger Feinstaub ab. In Wohnvierteln ist der Fokus auf eine gute Verdunstungsleistung und damit Kühlung der Umgebungsluft zu lenken. Schließlich existieren art- und sortenspezifische Wirkungen, die trotz laufender Forschungsprojekte und bereits existenter Arten- und Sortenlisten (für Stadt- bzw. Straßenbäume) nur teilweise bekannt

sind. Es ist damit für den jeweilig zu betrachtenden Einzelfall – der jeweilige Straßenzug, die jeweilige Siedlung – nach einer Lösung zu suchen. Baumlisten für andere Städte, wie beispielsweise Düsseldorf, sind bedingt nutzbar. Die Listen geeigneter Stadtbäume werden ständig aufgrund neuer Erkenntnisse fortgeschrieben, die Nutzung der jeweils aktuellen Listen ist deshalb notwendig.

Die im Katalog der Maßnahmensteckbriefe zur Klimaanpassung zusammengestellten Klimaanpassungsmaßnahmen sind, jeweils als doppelseitiger Steckbrief, unterteilt nach unterschiedlichen Klimafolgen (Hitze und Wasser) und Maßstabsebenen. Der farblich markierte räumliche Bezug unterscheidet:

- Maßnahmen zur Anpassung auf regionaler/ kommunaler Ebene (grün, Steckbriefe S1 bis S5)
- Maßnahmen zur Anpassung auf Quartiersebene (gelb, Steckbriefe Q1 bis Q19)
- Klimaanpassungsmaßnahmen auf Gebäudeebene (rot, Steckbriefe G1 bis G7).
- Maßnahmen zur Anpassung auf Verhaltensebene (weiß, Steckbriefe V1 bis V3):

Zusätzlich werden die Maßnahmen, die in erster Linie der Hitzereduktion dienen, mit einem orangen Titel-Balken gekennzeichnet, Maßnahmen zur Überflutungsvorsorge mit einem blauen Titel-Balken. Insgesamt umfasst der Maßnahmenkatalog 34 Steckbriefe.

Zusammenstellung aller Maßnahmensteckbriefe:

- | | |
|-----|---|
| S1: | Erhalt und Schaffung von Luftleitbahnen |
| S2: | Erhalt und Schaffung von Frischluftentstehungsflächen |
| S3: | Freihalten von Hängen und Luftschneisen |
| S4: | Festlegen von Siedlungsgrenzen |
| S5: | Aktivierung der Bodenkühlleistung |

- | | |
|------|---|
| Q1: | Parkanlagen schaffen, erhalten und optimieren |
| Q2: | Erhalt und Schaffung von Mikrogrün |
| Q3: | Begrünung von Straßenzügen |
| Q4: | Auswahl von klimawandelangepassten Pflanzenarten |
| Q5: | Bewässerung urbaner Vegetation |
| Q6: | Einsatz von bodenbedeckender Vegetation; Vermeidung oder künstliche Abdeckung unbewachsener Bodenflächen |
| Q7: | Verschattung des öffentlichen Raums/ Plätze |
| Q8: | Offene Wasserflächen schaffen |
| Q9: | Materialauswahl bei Verkehrs- und Nutzflächen |
| Q10: | Klimasensible Nachverdichtung in hitzebelasteten Bereichen |
| Q11: | Rückbau versiegelter Flächen |
| Q12: | Geeignete Bepflanzung urbaner Flächen zur Verbesserung der Durchlässigkeit der oberen Bodenschicht (Durchwurzelung) |
| Q13: | Verbesserung bzw. Ermöglichung der Versickerung: Flächenversickerung |
| Q14: | Verbesserung bzw. Ermöglichung der Versickerung: Technische Bauwerke |
| Q15: | Schaffung von Niederschlagswasserzweischenspeichern: Retentionsbecken |

- Q16: Schaffung von Niederschlagswasserzweischenspeichern: Wasserplätze
 Q17: Schaffung von Notwasserwegen
 Q18: Unterführungen mit beidseitigen Entwässerungs-/ Versickerungsgräben
 Q19: Klimagerechter Parkplatz

- G1: Dachbegrünung
 G2: Fassadenbegrünung
 G3: Gebäudeausrichtung, Ausstattung und Innenraumplanung optimieren
 G4: Hauswandverschattung, Wärmedämmung
 G5: Geeignete Baumaterialien und Farben verwenden
 G6: Wasserrückhalt in Gebäuden
 G7: Maßnahmen des Objektschutzes

- V1: Ausarbeitung von Checklisten für Planer und private Bauherren
 V2: Warnsysteme, Aktionspläne – Themenfeld Hitze
 V3: Erstellung eines Starkregenmanagements

5.2 Integration von Klimaanpassungsmaßnahmen in ausgewählte Beispielprojekte in der Region Rhein-Voreifel

Konkret wurden im Verlauf der Projektbearbeitung für die beteiligten Kommunen Einzelprojekte bearbeitet (Abb. 5.2), um die Integration von Klimaanpassungsmaßnahmen voranzutreiben und Best Practice Beispiele zu erzeugen, die übertragbar auf andere Kommunen sind.

1. **Klimaanpassung im gewerblichen Bereich:**
 Beispielprojekt Alfter-Nord: Erweiterung eines Gewerbegebietes
2. **Klimaanpassung im innerstädtischen Bereich**
 Beispielprojekt Swisttal: Gestaltung einer innerstädtischen Grünfläche zum Erhalt/ zur Verbesserung der Belüftungsfunktion
 Beispielprojekt Alfter-Innenstadt: Gestaltungsleitfaden ISEK
3. **Klimaanpassung durch Begrünung:**
 Beispielprojekt Bornheim: Grünquotient mit Schwerpunkt Bestandsstraßen
 Beispielprojekt Rheinbach: Grünquotient für Stadtbautypen
 Beispielprojekt Swisttal: Gestaltung einer innerstädtischen Grünfläche zum Erhalt/ zur Verbesserung der Belüftungsfunktion
4. **Klimaanpassung an Schulen**
 Beispielprojekt Meckenheim: Klimaangepasste Gestaltung der Außenanlagen im Rahmen des Neubaus des Schulcampus
 Beispielprojekt Wachtberg: Klimaangepasste Schulumfeldgestaltung (Bestand, Parkplatzgestaltung, Regenrückhalt)

Abb. 5.1 Zusammenstellung von Maßnahmen in Form von kommunalen Beispielprojekten

In der Abbildung 5.2 ist der Ablauf der Untersuchungen zu verschiedenen Anpassungsmaßnahmen in den von den Kommunen ausgewählten Pilotprojekten im Überblick dargestellt. Der vierstufige Prozess führt über die Überprüfung der Notwendigkeit zur Klimaanpassung, die Auswahl und Priorisierung von Anpassungsmaßnahmen bis zu den Möglichkeiten zur Umsetzung.

Im ersten Schritt wird die Betroffenheit des geplanten Projektes durch die Folgen des Klimawandels analysiert. Als Grundlage dienen hierzu die kommunale Handlungskarte zur Klimaanpassung (siehe Kapitel 4, Abb. 4.1) sowie die Einzelkarten zu den klimatischen Belastungen in der Region Rhein-Voreifel (Hitzebelastungen, Kaltluftbahnen, Hochwassergefährdung, Trockenheitsgefährdung, Gefährdung durch Starkwind).

Entsprechend des aus dem Schritt 1 abgeleiteten Konfliktpotenzials bezüglich des Lokalklimas werden in der 2. Stufe des Prozesses geeignete Klimaanpassungsmaßnahmen zusammengestellt. Diese reichen von der Ebene der Gesamtfläche der Kommune über die Quartiersebene bis zur Gebäudeebene. Dabei können verschiedene Maßnahmen auch zur Abschwächung von mehreren klimatischen Belastungen wie beispielsweise Überflutung und Hitze führen.

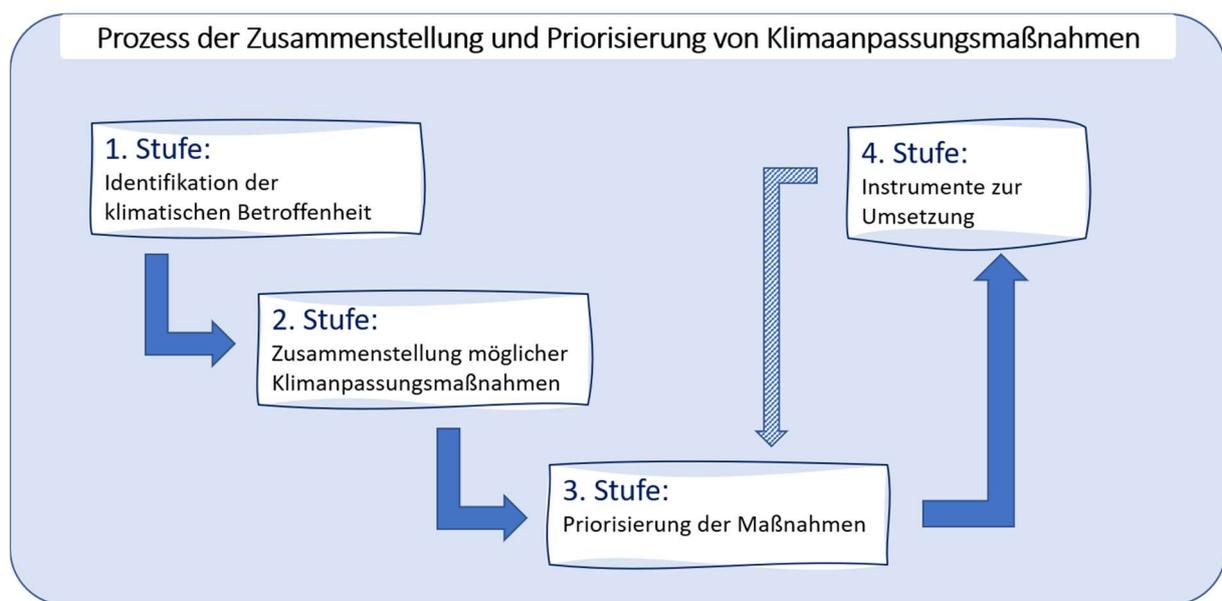


Abb. 5.2 Prozess der Zusammenstellung und Priorisierung von Klimaanpassungsmaßnahmen

In der 3. Stufe werden passend zu dem geplanten Vorhaben Maßnahmen aus der Stufe 2 priorisiert. Dabei werden sowohl die vorrangigen Ziele der speziellen Klimaanpassungsmaßnahmen im Projekt, also beispielsweise Reduktion von Hitzebelastungen oder Schutz vor Überflutung, berücksichtigt, als auch die Wirkung der Maßnahmen in die Priorisierung einbezogen. Falls möglich, sind Synergien zu nutzen.

Die in der 4. Stufe zusammengestellten Instrumente zur Umsetzung, einschließlich einer qualitativen Kosten-/ Nutzen-Einschätzung führen in einer Schleife wieder zu einem weiteren Kriterium für die Priorisierung von Maßnahmen. Leicht umzusetzende Maßnahmen und Maßnahmen mit einem guten Kosten-/ Nutzenverhältnis werden bevorzugt vorgeschlagen.

6. VERSTETIGUNG DER KLIMAAANPASSUNGSSTRATEGIE FÜR DIE REGION RHEIN-VOREIFEL

Nach Fertigstellung des Konzeptes liegt den teilnehmenden Kommunen und Gemeinden eine informelle Entscheidungsgrundlage vor, um die Themen des Klimawandels und der Klimaanpassung in Zukunft in den kommunalen Prozessen der Planung (Stadt-/Bauleitplanung, Umwelt und Grün, Tiefbau, Immobilienmanagement, etc.) in notwendigem Maße zu berücksichtigen. Hierzu sind nach Abschluss organisatorische Schritte innerhalb der Kommunen und Gemeinden notwendig, um das Thema weiterhin zu treiben und Maßnahmen umzusetzen.

Mit Hilfe der Verstetigungsstrategie sollen verschiedene Möglichkeiten und Wege aufgezeigt werden, um die erarbeiteten Maßnahmen des Klimaanpassungskonzeptes auch nach Abschluss des Projektes weiterzuentwickeln und umzusetzen. Durch die Vielzahl verschiedener Akteure, die am Konzept mitgearbeitet haben, aber auch nach der Umsetzung die Ideen und Maßnahmen berücksichtigen sollen, empfiehlt sich die Fortführung der bestehenden Strukturen (u.a. Klimafolgenbeirat). Ein wesentlicher Vorteil besteht darin, dass trotz der Vielzahl an Akteuren innerhalb der Konzepterarbeitung, die Themen in die einzelnen Fachabteilungen und Organisationsstrukturen der einzelnen Kommunen transportiert werden können.

Auf der kommunalen Ebene ist es wichtig, dass die Inhalte des Konzeptes, im Sinne eines fachübergreifenden Austauschs, an die zuständigen Stellen weitergereicht werden. Um dies zu erreichen, kann das Thema der Klimaanpassung – analog zum Klimaschutz – zentral in der Organisationsstruktur verankert werden. Denkbar wäre hierbei z.B. eine Ansiedlung an die Themenfelder Stadtplanung, Umwelt- und Grün oder gar als eigenständige Stabsstelle, um das Thema möglichst bei allen kommunalen Aufgaben zu berücksichtigen.

Interne und externe Abstimmung zum Thema Klimaanpassung

Der regelmäßige Austausch zum Thema innerhalb der Kommune, aber auch mit externen Akteuren (z.B. Landwirtschaft, Förster und Forstwirtschaft, Unternehmen, etc.) bildet einen wichtigen Baustein für die Umsetzung des Konzeptes. Dazu sollen nach Möglichkeit die bestehenden Formate, die während der Konzeptphase angewandt wurden, beibehalten werden. Für die verschiedenen Beteiligungs- und Informationsformate werden folgende Taktungen und Formate vorgeschlagen:

Tab. 6.1 Akteursgruppen und Taktung zur Beteiligung

Akteursgruppe	Bevorzugtes Format	Taktung
Kommunale Arbeitsgruppe (AG) Klimaschutz	- gemeinsame Abstimmungsrunde (online oder Präsenz)	- pro Quartal
Interkommunaler Klimafolgenbeirat	- gemeinsame Abstimmungsrunde (online oder Präsenz)	- mind. halbjährlich
Fachexperten aus Forst- und Landwirtschaft	- Persönliches Gespräch oder gemeinsames Format mit mehreren Fachexperten	- nach Bedarf (ca. jährlich)
Allgemeine Öffentlichkeit	- Veröffentlichungen zum Thema Klimaanpassung auf klima-rv.de - Informationsveranstaltungen	- klima-rv.de möglichst jedes Quartal erneuern - Informationsveranstaltungen (bestehende Formate oder nach Bedarf)

6.1 Controlling

Das Controlling beschäftigt sich mit der Kontrolle und Quantifizierung der Ergebnisse, die aus der Umsetzung der Maßnahmenvorschläge innerhalb des Konzeptes resultieren. Dabei ist zwischen „harten“ (tangiblen) und „weichen“ (intangiblen) Maßnahmen zu unterscheiden. Während „harte“ Maßnahmen meist ohne Weiteres quantifiziert werden können, ist für „weiche“ Maßnahmen gegebenenfalls die Festlegung von Kennzahlen notwendig. Für die Evaluierung der durchgeführten Prozesse könnten sich beispielhaft folgende Kriterien und dazugehörige Messgrößen eignen:

Tab. 6.2 Übersicht möglicher Maßnahmen und Kriterien zur Erfassung

Maßnahme	Kriterium
Schaffung von Wasserflächen	- Anzahl umgesetzter Projekte - Wasser-Flächengröße in m ²
Entsiegelung von Flächen / Förderung der Versickerung	- Größe der entsiegelten Flächen in m ²
Verschattungsmaßnahmen (privater und (halb-)öffentlicher Bereich)	- Größe der entsiegelten Flächen in m ²
Regenwasserrückhaltung	- Anzahl umgesetzter Projekte; Rückhaltung in m ³ (sofern messbar)
Entwicklung und Erhalt von Grün- und Freiflächen (privater und (halb-)öffentlicher Bereich)	- Anzahl umgesetzter Projekte; Flächengröße in m ²
Begrünungsmaßnahmen am Gebäude	- Anzahl umgesetzter Projekte; begrünte Fläche in m ²
Bepflanzungsmaßnahmen (Bäume und weitere Pflanzen)	- Anzahl umgesetzter Projekte; gepflanzte Bäume
usw.	

Die für die Integration von Klimaanpassungsmaßnahmen Verantwortlichen aus den entsprechenden Fachabteilungen haben die Aufgabe, die Grundlageninformationen aktuell zu halten, eine Checkliste für umgesetzte Maßnahmen und Projekte abzuarbeiten und die städtischen Ziele sowie erfolgte Anpassungsmaßnahmen zu evaluieren.

Als Turnus zur Evaluierung können die vorgeschlagenen Veranstaltungsformate zur Einbindung der Akteursgruppen dienen und die Ergebnisse darin vorgestellt werden.

Ebenso ist es empfehlenswert, bereits umgesetzte Maßnahmen und Projekte zu analysieren und bei Bedarf anzupassen, sofern es die kommunalen, aber auch klimatischen Rahmenbedingungen erfordern. Das Konzept soll somit stetig fortgeschrieben werden und sich den Anforderungen der Kommunen anpassen.

6.2 Kommunikationsstrategiekonzept

Die Verankerung des vorliegenden Klimafolgenanpassungskonzeptes betrifft im Wesentlichen, insbesondere innerhalb des organisatorischen Rahmens, den Verwaltungen der sechs beteiligten Kommunen. Jedoch ist für die Umsetzung die Mitwirkungsbereitschaft eines jeden Einzelnen notwendig.

Während das Thema Klimaschutz durch den politischen und gesellschaftlichen Diskurs bereits in der Öffentlichkeit angekommen ist, sind Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung weniger bekannt oder in der Begrifflichkeit zu diffus. Daher muss die Konzeptumsetzung durch eine intensive, teils niederschwellige Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit begleitet werden. Dabei ist die richtige Verknüpfung von Klimaschutz und der Folgenanpassung besonders wichtig: Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel dürfen nicht als Alternative zum Klimaschutz, sondern als unabdingbare Ergänzung dazu verstanden werden. Das Unwetterereignis im Juli 2021, durch das die untersuchten Kommunen teilweise sehr stark betroffen waren, ist dabei ein sehr deutliches Beispiel dafür, welche Konsequenzen der Klimawandel in den kommenden Jahren haben kann.

Ziele der Kommunikation

Aus den Ergebnissen des Konzepts sowie den oben skizzierten Herausforderungen ergeben sich folgende Ziele für die Kommunikation des Klimafolgenanpassungskonzepts:

- Bewusstsein schaffen
- Wissensvermittlung
- Information zu konkreten Angeboten
- Mitmacher erzeugen

Wege der Informationsvermittlung

Die Vermittlung von Informationen zu Themen und Aspekten, die im direkten und teilweise auch indirekten Zusammenhang mit der Umsetzung des Klimafolgenanpassungskonzepts stehen, ist essenziell für einen Erfolg. Dabei sind das genutzte Medium sowie verfügbare Anlässe für eine Kommunikation entscheidend.

Da von den unterschiedlichen Alters- und Zielgruppen jedoch auch verschiedene Kommunikationskanäle genutzt werden, müssen Informationen möglichst breit gefächert gestreut bzw. zugänglich gemacht werden. Diese Kanäle bieten jeweils unterschiedliche Vor- und Nachteile, die bei der Informationsvermittlung zu beachten sind.

Anlässe, die für die Öffentlichkeitsarbeit genutzt werden können, sind mitunter rar oder nicht direkt zu erkennen. Neben offensichtlichen Themen, die im direkten Kontext zu dem vorliegenden Konzept stehen, sind auch indirekte Aspekte eine Gelegenheit, um einzelne Maßnahmen oder Klimafolgenanpassung im Allgemeinen in den öffentlichen Fokus zu rücken. Dazu können beispielsweise sowohl lokale und auch weltweite Wetterereignisse, Jubiläen sowie auch technologische, wirtschaftliche oder gesellschaftliche Entwicklungen zählen.