

Klimaanalyse zur Verortung
klimaanpassungsrelevanter Flächen.
Gesamtstädtische Strategie

**KLIMASCHUTZTEILKONZEPT
„ANPASSUNG AN DEN KLIMAWANDEL“
FÜR DIE STADT KASSEL
(KTA-KS)**

Klimaschutzteilkonzept „Anpassung an den Klimawandel“ für die Stadt Kassel

-Endbericht-

Auftraggeber: Stadt Kassel

 Amt für Stadtplanung, Bauaufsicht und
 Denkmalschutz

 Abt. Umweltplanung

 Obere Königsstraße 8 in 34117 Kassel

Kassel **documenta Stadt**

Auftragnehmer: Institut für Klima- und Energiekonzepte

 Schillerstraße 50 in 34253 Lohfelden

INKEK Institut
 für Klima- und
 Energiekonzepte

Bearbeiter: Prof. Dr. Lutz Katzschner Dipl.-Ing. Sebastian Kupski

Förderkennzeichen: 03K02190

Im Auftrag des:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit



NATIONALE
KLIMASCHUTZ
INITIATIVE

Bei allen Bezeichnungen, die auf Personen bezogen sind, meint die gewählte Formulierung beide Geschlechter, auch wenn aus Gründen der leichteren Lesbarkeit und Verständlichkeit die männliche Form gewählt wurde.

Die Erstellung des Gutachtens erfolgte nach Stand der Technik sowie nach bestem Wissen und Gewissen. Klimatische Analysen und Wetterbedingungen unterliegen einer entsprechenden Variabilität, das tatsächliche Eintreten kann naturgemäß nicht sicher prognostiziert werden.

Lohfelden im Juli 2017

Inhalt:

1. HINTERGRUND	7
2. EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG	9
2.1. ZIELE VON STADTKLIMAANALYSEN	11
2.2. STADTKLIMATISCHER BEWERTUNGSINDEX	13
3. METHODIK	14
3.1. EINFÜHRUNG (KLIMAFUNKTIONSKARTE)	14
3.2. METHODIK ZUR ERSTELLUNG VON KLIMAFUNKTIONSKARTEN	15
3.3. KLIMATOPE	17
4. ARBEITSSCHRITTE	22
4.1. BESTANDSAUFNAHME	22
4.1.1. Meteorologische Verhältnisse im Raum Kassel	22
4.1.2 Klimawandel	32
4.1.3 Klimamodellierung	34
4.1.4 Fazit Bestandsaufnahme	52
4.2. BETROFFENHEITEN	53
4.3. KOMMUNALE GESAMTSTRATEGIE	56
4.3.1 Klimaanpassung in urbanen Räumen	57
4.3.2 Umsetzungshorizont/ Priorisierung	58
4.4. AKTEURSBETEILIGUNG	59
4.5. MAßNAHMENKATALOG	62
4.5.1 Belüftung	63
4.5.2 Hitze abbauen	69
4.5.3 Entsiegelung/naturnahe Flächen	73
4.5.4 Wassersensible Stadt	75
4.5.5 Planungshinweiskarte	76
4.5.6 Anpassungsmanagement	77
4.5.7 Information „Klimaanpassung“	77
4.5.8 Schulung/Infoveranstaltung	77
4.5.9 Aktualisierung Klimafunktionskarte ZRK	77
4.6. CONTROLLING-KONZEPT	79
4.7. KOMMUNIKATION	82
5. AUSBLICK	85
6. LITERATUR	88
7. ANLAGE	90

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ausschnitt des Roll-Up-Posters der Außendarstellungsstrategie	6
Abbildung 2: Schema "Thermischer Wirkungskomplex". Dargestellt sind die unterschiedlichen Parameter, die sich auf den Wärmehaushalt des Menschen auswirken. Durch planerische Eingriffe können diese Bedingungen beeinflusst werden.	13
Abbildung 3: Prinzipielle Vorgehensweise zur Erstellung einer Stadtklimakarte nach Lohmeyer 2008.....	15
Abbildung 4: Blick von Westen (Herkules) über das Kasseler Becken (Quelle: eigene Abbildung).....	22
Abbildung 5: Jahresgang der Lufttemperatur an der Messstation Kassel Mitte.....	23
Abbildung 6: Vergleich der Lufttemperatur am 20.07.2016 (Messstationen: Kassel Mitte und Witzenhausen Wald).	24
Abbildung 7: Schematische Darstellung "Wärmeinsel Stadt" (eigene Darstellung).....	24
Abbildung 8: Räumliche Verortung der Messpunkte (Messkampagne Sommer 2016).....	25
Abbildung 9: Drohne Dij, Modell Flame Weehl F550.	26
Abbildung 10: Vertikalprofil Kassel, Messeplatz am 24.08.2016 um 17:00 Uhr.....	27
Abbildung 11: Mittlere Windrose an der Stadtstation Kassel-Nord (Zeitraum 1984 bis 2004), aus dem Luftreinhalteplan Kassel.....	29
Abbildung 12: Schematische Darstellung der vertikalen Erstreckung mit Durchmischung bei Inversionen im Kasseler Becken.....	29
Abbildung 13: Mittlere Jahresniederschläge 1999-2015 Messnetz KASSELWASSER.	31
Abbildung 14: Darstellung der unterschiedlichen Hochwassersituationen in Kassel (Hellblau: Hochwasser mit niedriger Wahrscheinlichkeit; Schraffur: Hochwasser mit mittlerer Wahrscheinlichkeit; Dunkelblau: Hochwasser mit hoher Wahrscheinlichkeit).	32
Abbildung 15: Klimaszenarien und prognostizierter globaler Temperaturverlauf (IPCC 2007).	33
Abbildung 16: Schematische Darstellung der angewandten Methode.....	35
Abbildung 17: Blockmodell Stadt Kassel (Ausschnitt).....	38
Abbildung 18: Themenkarte „Gebäudevolumendichte“, ohne Maßstab.	39
Abbildung 19: Kaltfluthöhe berechnet mit dem Kaltluftmodell des Deutschen Wetterdienstes KLAM_21, ohne Maßstab.....	41
Abbildung 20: Darstellung der Frontal Area Variablen (Unger, 2009).....	42
Abbildung 21: Themenkarte „Städtische Rauigkeit“, ohne Maßstab.	43
Abbildung 22: Themenkarte „Städtische Porosität“, ohne Maßstab.....	45
Abbildung 23: Themenkarte „Hangneigung“, ohne Maßstab.....	47
Abbildung 24: Themenkarte „Vegetationsbedeckung“, ohne Maßstab.....	49
Abbildung 25: Legende der Klimafunktionskarte der Stadt Kassel.	50
Abbildung 26: Klimafunktionskarte der Stadt Kassel, ohne Maßstab (Original in Anhang I).	51
Abbildung 27: Schematische Darstellung der Kasseler Gesamtstrategie.....	56
Abbildung 28: Zielgeführte Verortung der räumlichen Planungsempfehlungen (Original in Anhang II).	57
Abbildung 29: Maßnahmenkatalog des Klimaanpassungskonzeptes der Stadt Kassel.....	63
Abbildung 30: Kommunikationsstrategie – Klimaanpassung für die Stadt Kassel.....	82
Abbildung 31: Ausstellungsstand Marktplatz „Kommunale Klimaanpassung“.	84
Abbildung 32: Artikel in der HNA (Hessische Niedersächsische Allgemeine) Zeitung vom 22.07.2016.....	84

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bereiche von Hitzestress in Abhängigkeit des Bewertungsindex PET (Katzschner et al. 2010).....	13
Tabelle 2: Steuerungsinstrumente für die Planung auf unterschiedlichen Maßstabsebenen und entsprechende Fachbeiträge.	16
Tabelle 3: Schwellenwerte der Lufttemperatur zur Charakterisierung des Klimas.	23
Tabelle 4: Übersicht der Stabilitätsklassen nach Klug-Manier (TA Luft)	30
Tabelle 5: Herausarbeitung der kommunalen Handlungsfelder der Stadt Kassel in Bezug auf Klimaveränderung.	54
Tabelle 6: Übersicht der Planungsgespräche (Anwesenheitslisten im Anhang).	59
Tabelle 7: Übersicht der Einzelgespräche	60

ZUSAMMENFASSUNG

Das Klimaschutzteilkonzept „Anpassung an den Klimawandel“ für die Stadt Kassel fußt auf detaillierten Vorkenntnissen im untersuchten Raum und auf kontinuierliche Erfahrungen im Bereich der Stadtklimatologie des Kasseler Beckens seit 1990. Zudem wurden Klimaanpassungs-lösungen im Rahmen des Verbund-Projektes KLIMZUG-Nordhessen (Klimaanpassungsnetzwerk für die Modellregion Nordhessen) über eine fünfjährige Laufzeit bis 2013 in einer Vielzahl von Handlungsfeldern gemeinsam entwickelt und umgesetzt. Das Teilprojekt Auswirkungen des globalen Klimawandels auf das Stadt- und Regionalklima beschäftigte sich intensiv mit den zukünftigen klimatischen Herausforderungen in der Region und insbesondere im Kasseler Becken als Ballungsraum mit der höchsten Einwohnerdichte. Durch diese Vorkenntnisse konnten die beiden Themenfelder Hitze und Starkregen, die für Kassel aktuell und in Zukunft die größten Herausforderungen darstellen, analysiert und bestimmt werden. Zudem haben die umfassenden Kenntnisse der klimatischen Funktionen und Wechselwirkungen im Raum Kassel es ermöglicht, dass eine umsetzungsorientierte Gesamtstrategie, die ihren Fokus auf eine angepasste und zielgerichtete Verortung der Handlungsempfehlungen zur Anpassung an den Klimawandel legt, zu entwickeln.

Ein reduzierter und auf die beiden Themenfelder Hitze und Starkregen optimierter Maßnahmenkatalog, stellt räumliche Planungsempfehlungen mit einer konkreten Raumzuordnung bereit. Denn vor allem orografisch gegliederte Räume, wie das Kasseler Becken, mit einem eigenen klimatischen System an Kaltluftentstehungsgebieten bis Überwärmungsbereichen, sowie ausgeprägten Belüftungssystemen bilden die Beschränkung, dass nicht alle Maßnahmen übertragbar und pauschal anwendbar sind. Vielmehr ist es eine fachliche Aufgabe, aus dem Fundus bestehender und erprobter Maßnahmen, eine individuelle, maßgeschneiderte, nach den örtlichen Anforderungen erstellte Verortung zu erarbeiten.


So auch das Vorgehen des vorliegenden Klimaschutzteilkonzeptes „Anpassung an den Klimawandel“ für die Stadt Kassel. Mit Hilfe einer Verfeinerung und Aktualisierung der Klimafunktionskarte konnten die klimatischen Zonen und deren Wechselwirkungen präzise dargestellt werden (gesamstädtisch). Darauf aufbauend wurden in Abstimmung der Themenfelder räumliche Planungsempfehlungen im größeren Maßstab (Mikroklima oder Lokalklima der Nachbarschaft) entwickelt bzw. deren Wirkung visualisiert. Dadurch konnte im „Kleinen“ gelernt werden, um diese Erkenntnisse auf das „Große“ (die Gesamtstadt) zu übertragen.

Diese Gesamtstrategie mit dem dazugehörigen Maßnahmenkatalog, der auf die Kasseler Themen- und Handlungsfelder abgestimmt ist, erlaubt die bestmögliche Integration des Themas Anpassung an den Klimawandel in den Planungsalltag, aber auch in den Alltag von Verwaltung, Öffentlichkeit und Politik. Denn nur wenn die heutigen Entscheidungen und Planungen auf fundierten Bewertungen der aktuellen und zukünftigen Entwicklung aufbauen, ist eine klimaanpassungs-bewusste Ausrichtung überhaupt zukunftsweisend und umsetzbar.

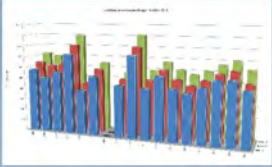


Klimaschutzteilkonzept Anpassung an den Klimawandel für die Stadt Kassel


Eine Klimaanalyse zur Verortung klimaanpassungsrelevanter Flächen. Die klimatische Ausgangssituation in Kassel führt aufgrund der Kessellage häufig zu Wetterlagen, die gesundheitsbelastende Auswirkungen haben können (Tropennächte und Hitzetage, bzw. Wärmeinsel Stadt). Im Frühling und Sommer kann zudem Starkregen entstehen. Gefährdet sind Menschen, Tiere und deren Gesundheit, sowie Bereiche der Infrastruktur.

Themenfeld Überwärmung / Hitze


Themenfeld Starkregen/Hochwasser

Geldfonds durch

Umweltministerium
Bundesministerium für Klimaschutz

PTJ
Planungsbüro für
Stadt und Region

Auftraggeber:
INKEK
Institut für Klima- und Energiekonzepte
Göhringstraße 68 | 34122 Lohndorf

Auftraggeber:
Stadt Kassel
Büro für Stadtplanung, Bauwirtschaft und Denkmalpflege
Königsplatz 10 | 34109 Kassel
0561 809-2244 | kassel@inkek.de

INKEK Institut für Klima- und Energiekonzepte

Kassel documenta Stadt

Abbildung 1: Ausschnitt des Roll-Up-Posters der Außerdarstellungsstrategie

1. Hintergrund

Die Bundesregierung hat in ihrer nationalen Nachhaltigkeitsstrategie das Ziel festgelegt, die Inanspruchnahme weiterer Flächen durch Siedlung und Verkehr bis zum Jahr 2020 auf 30 Hektar pro Tag zu reduzieren. Im aktuellen Landesentwicklungsplan (LEP) Hessen wird ein Wert von 2,5 ha/Tag vorgeschlagen. Tatsächlich werden jedoch in Deutschland derzeit noch täglich etwa 60 Hektar für neue Siedlungs- und Verkehrsflächen in Anspruch genommen. Dies hat massive Auswirkungen auf die Belange von Klimaschutz und Klimaanpassung, so dass ein effektives Flächenmanagement in den Kommunen immer dringender wird. Im Rahmen eines Klimaschutz-Teilkonzeptes der Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten in sozialen, kulturellen und öffentlichen Einrichtungen der Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) wurde somit eine Orientierungshilfe für zukünftige Fragestellungen der Stadt Kassel erstellt.

Um eine umfassende Datengrundlage für planerische Entscheidungen zu erhalten, wurde das Institut für Klima- und Energiekonzepte (INKEK, Schillerstraße 50, 34253 Lohfelden) beauftragt, eine Klimaanalyse für die Stadt Kassel durchzuführen und die zukünftige Betroffenheit zu analysieren. Im Rahmen des Klimaschutzteilkonzeptes „Anpassung an den Klimawandel“ für die Stadt Kassel (KTA-KS) wurde eine Strategie entwickelt, welche das lokale und regionale Klima, die Auswirkungen des prognostizierten Klimawandels und der Flächennutzungsänderungen sowie das städtische Grün behandelt. Daraus wurden Planungshinweise und Anpassungsmaßnahmen abgeleitet.

Dieses Vorgehen deckt sich mit dem Maßnahmenkatalog zur AGENDA 21 aus dem Jahr 2007, in dem die Stadt Kassel „die zentrale Bedeutung unversiegelter, in ihren Funktionen weitgehend unbeeinträchtigter, Bodenflächen und Böden als unverzichtbare und nicht vermehrbare menschliche Lebensgrundlage“ anerkennt. „Ziel der Stadtentwicklung ist es, durch Reaktivierung von Brachflächen eine Inanspruchnahme bisher unbebauter Bodenflächen in den Außenbereichen der Stadt zu minimieren. Die Stadt Kassel bevorzugt grundsätzlich die Innenentwicklung. [...] Die Stadt Kassel übt grundsätzlich Zurückhaltung bei weiterer Überbauung und Versiegelung von Flächen. Die Umnutzung von bereits versiegelten Flächen bzw. die Bebauung von Baulücken haben beim Bau von neuen Wohn- und Gewerbegebieten oder Verkehrswegen Vorrang vor der Inanspruchnahme unversiegelter Flächen“.

Hierbei gilt dem Erhalt der für das Klima der Stadt Kassel lebenswichtigen Frischluftschneisen und Kaltluftentstehungsgebiete ein besonderes Augenmerk. Der Schutz der vorhandenen Frischluftschneisen, Kaltluftentstehungsgebiete und innerörtlichen Grünzüge erfolgt in einem gestuften Verfahren über den Regionalen Raumordnungsplan, den Flächennutzungsplan auf der Ebene des Zweckverbandes Raum Kassel, über die Landschaftsschutzverordnung, über die Satzung zur Festlegung der Grenzen für die im Zusammenhang bebauten Ortsteile (gemäß § 34 Absatz 2 Baugesetzbuch (BauGB)) und über die Bauleitplanung. Hier genießt der Schutz der Frischluftschneisen hohe Priorität, die im Zuge der Klimaanpassung besondere Bedeutung für die Bewältigung der (zukünftigen) Herausforderungen wie Hitzeperioden, Hochwasser und extreme Wetterereignisse gewinnt.

Die rechtliche Grundlage der Notwendigkeit stadtklimatischer Erhebungen im Planungsprozess – auch vor dem Hintergrund des projizierten globalen Klimawandels – ist neben dem Raumordnungsrecht insbesondere das Baugesetzbuch (BauGB). Gemäß BauGB § 1 Absatz 5 Satz 2 sollen

Bauleitpläne u. a. dazu beitragen, eine menschenwürdige Umwelt zu sichern sowie den Klimaschutz und die **Klimaanpassung**, insbesondere auch in der **Stadtentwicklung**, zu fördern. Gemäß BauGB § 1 Absatz 6 Ziffer 7 sind bei der Aufstellung von Bauleitplänen u. a. insbesondere die Schutzgüter „Luft“ und „Klima“ zu berücksichtigen. Entsprechend sollen Fachinformationen in Stadtklimakarten umgesetzt und durch daraus abgeleitete Planungshinweiskarten ergänzt werden.

Maßnahmen zur Klimaanpassung müssen lokal verifiziert und auf die Gegebenheiten abgestimmt werden. Dies kann durch die Bewertung der Klimafunktionskarte geschehen und auf dieser Grundlage umgesetzt werden.

2. Einleitung und Aufgabenstellung

Die Anpassung an die Folgen des Klimawandels erfordert von Wissenschaft und Praxis langfristig angelegte Maßnahmen auf den verschiedensten Handlungsebenen. Dies ist unabhängig von der Variabilität einzelner Jahre zu sehen und reicht von den Handlungsmöglichkeiten jedes Einzelnen bis zu globalen Anstrengungen. Eine besondere Bedeutung kommt der räumlichen Planung auf lokaler und regionaler Ebene zu, da die räumliche Planung hohen Einfluss auf Funktions-zuordnungen (Verkehrs- und Emissionsreduzierung) und Lebensqualität vor Ort hat. Die Planung hat dabei nicht nur den Klimaschutz als Zukunftsaufgabe zu berücksichtigen, sondern muss sich unter den Aspekten des menschlichen Wohlbefindens, der Aufenthaltsqualitäten im Freien sowie dem Schutz der Infrastrukturgüter und der Daseinsvorsorge auch den Anforderungen durch Klimaveränderungen stellen.

Die angewandte Stadtklimatologie befasst sich seit geraumer Zeit mit Analysemethoden, die direkte Grundlagen für eine Vielzahl planerischer Fragestellungen hervorbringen. Das Stadtklima setzt sich dabei aus zwei Komponenten zusammen, da es sowohl durch thermische als auch lufthygienische Aspekte geprägt wird. Starken Einfluss nimmt dabei der Mensch, da durch den Eingriff in die und die Veränderung der Umwelt auch die klimatischen Bedingungen verändert werden. Ausgehend von einem hohen Versiegelungsgrad der Oberflächen, dem teilweise sehr geringen Vegetationsanteil, der Wärmespeicherfähigkeit verwendeter Materialien sowie dem eingeschränkten Luftaustausch aufgrund hoher Bodenrauigkeit stellt der urbane Raum im Vergleich zum ländlichen Raum eine andere Ausgangslage dar.

Ähnlich wie andere Großstädte und Ballungsräume ist auch die Stadt Kassel mit diesen klimatischen Veränderungen, die durch das Stadtklima hervorgerufen werden, konfrontiert. Die topografische Lage der Stadt im Kasseler Becken (eingebettet in die Kessellage mit den Höhen des Habichtswaldes im Westen sowie dem Reinhardswald, Kaufunger Wald und der Söhre im Norden und Osten) schränkt zudem die Belüftungsqualität deutlich ein. Bei ungünstigen Wetterlagen (Inversionswetterlagen) sind die Immissionswerte teilweise sehr hoch. Dies bietet Anlass dazu, das Belüftungssystem sehr genau zu untersuchen.

Zusätzlich soll ein Szenario der möglichen klimatischen Veränderungen in den nächsten Dekaden entwickelt werden. Dazu sollen neben der Veränderung der Bebauungssituation (Flächennutzung) auch die Auswirkungen des prognostizierten Klimawandels untersucht werden.

Abschließend steht der Stadt ein Flächenmanagementsystem zur Verfügung, in dem planungsrelevante Aufgaben, Maßnahmen und Empfehlungen für eine klimabewusste Entwicklung bereitstehen. Dafür werden als Grundlage folgende Kartenwerke angefertigt:

Klimafunktionskarte

Ziel dieser Untersuchung ist es, die Stadt Kassel in der Ist-Situation zu analysieren, um Grundlagen für die räumliche Interpretation zur Klimawirkung von Vegetation, Baudichten bzw. Bauhöhen zu erreichen. Auf diese Weise sollen flächenbezogene Aussagen ermöglicht werden. In der generierten Klimafunktionskarte (KFK) können die klimatischen Wechselwirkungen der Klimatope (d. h. Gebiete ähnlicher mikroklimatischer Ausprägung) sowie lokale und regionale dynamische Prozesse (z. B. Luftleitbahnen, Kalt- und Frischluftabflüsse) abgelesen werden.

Geeignete Wetterlage:

Für das Erkennen von lokalklimatischen Einzelheiten geeignete Wetterlagen sind von hohem Luftdruck geprägt, bei denen nur geringe Windgeschwindigkeiten auftreten und nur geringe oder keine Bewölkung vorhanden ist. Die geringe Windgeschwindigkeit verhindert die Zufuhr von neuen Luftmassen: innerhalb einer einheitlichen Luftmasse erreichen die lokalklimatischen Eigenheiten ihre größten Gegensätze. Geringe oder fehlende Bewölkung bewirkt einen sehr ausgeprägten Tagesgang nahezu aller Klimaelemente, z. B. Temperatur, Feuchte und Wind.

Vorgehensweise nach VDI RL 3787 Blatt 1 (Umweltmeteorologie–, Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen Sept 2015):

„In der vorliegenden Richtlinie wird beschrieben, wie stadtklimatische Sachverhalte in Karten dargestellt, bewertet und über daraus abgeleitete Hinweiskarten für die Planung nutzbar gemacht werden können. Diese Karten stellen eine wichtige Grundlage für die Flächennutzungs- und Bauleitplanung auf kommunaler und regionaler Ebene dar und gewinnen im Zuge des Klimawandels und der Umweltgerechtigkeit zunehmend an Bedeutung. Hinsichtlich der dargelegten Aspekte zur Human-Biometeorologie wird auf die Richtlinien VDI 3785 Blatt 1 (Umweltmeteorologie – Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima) und VDI 3787 Blatt 2 (Umweltmeteorologie – Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung – Teil I: Klima) verwiesen, die wichtige, im Rahmen von Bewertungen der Wärmebelastung zu berücksichtigenden Faktoren ausführlich beschreiben und zudem die Grundlage dieser Richtlinie darstellen.“

2.1 Ziele von Stadtklimaanalysen

Das Signal, welches von Klimaveränderungen ausgeht, wird sich in Ballungsräumen und innerstädtischen Gebieten verstärkt auswirken. Die Zunahme austauscharmer Strahlungswetterlagen vermehrt den Hitzestress vor allem innerhalb windschwacher Stadträume. Zu beachten sind somit der Wärmeinseleffekt und die Belüftung, die sich wiederum auf die Lufthygiene und den thermischen Komfort auswirken. Die Hitzewellen im Juni und August 2003, Juli 2006 und Juli und August 2015 sind eindrucksvolle Beispiele für diesen Zusammenhang.

Damit Leistungsfähigkeit, Wohlbefinden und Gesundheit von Menschen in Städten auch zukünftig gesichert sind, muss die Stadtplanung schon heute städtebauliche Planungen so optimieren, dass die thermischen Belastungen auch unter extremen Hitzebedingungen sowohl im Freien als auch in den Innenräumen auf ein erträgliches Maß reduziert werden. Solche praxistauglichen Planungsleitfäden werden auf den unterschiedlichen Ebenen in Bundesländern (MUNLV des Landes NRW 2010) und Forschung (Universität Kassel 2010) entwickelt. Sie sollen Konzepte beinhalten, auf welche Weise in bestehenden städtischen Strukturen der Hitzestress für Menschen minimiert werden kann, sodass der thermische Komfort nur in erträglichem Ausmaß beeinträchtigt ist.

Richtlinien werden vor dem Hintergrund einer stadtplanerischen Anwendung erstellt, um mit einheitlicher Untersuchungsmethodik zur Ergebnisdarstellung und zur Bewertung des Stadtklimas zu kommen. Bei der Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene im Bereich der Stadtplanung ist es von größter Bedeutung, nicht auf die Darstellung der großräumigen mittleren klimatischen Verhältnisse (Mesoklima) einzugehen, sondern die differenzierte Betrachtung der einzelnen innerstädtischen Kleinklimate einschließlich ihrer gegenseitigen Wechselwirkungen zu bewerten. Das Mesoklima wird danach typischerweise dem Stadtentwicklungsplan und dem Flächennutzungsplan im Maßstab 1:25.000 bis 1:10.000 zugeordnet, während die Bauleitplanung im Maßstab von 1:2.000 im mikroklimatischen Bereich bearbeitet werden muss.

Klimaanalysen und Stadtklimakarten geschehen deshalb vor dem Hintergrund der Stadtentwicklungsprozesse, wie sie sich in wachsenden oder auch schrumpfenden Städten darstellen. Damit verbunden ist die Tendenz, innerstädtisches Wohnen wieder attraktiver zu machen und die verdichtete Stadt gegenüber der Ausbreitung des Stadtraumes in das Umland vorzuziehen. Stadtplanungsziele und Planungsebenen sind mit den klimatischen Bewertungsmethoden in ihrer räumlichen, zeitlichen und quantitativen Beschreibung und Festlegung zusammenzuführen. Überall dort, wo dies bereits geschehen ist, wie in den Regionalplänen als Flächen für schützenswerte Klimafunktionen oder in den Stadtentwicklungs- und Flächennutzungsplänen, in denen Überwärmungsbereiche, Frischluftversorgung und Luftleitbahnen dargestellt werden, werden die Funktionen mit Planungsmaßgaben belegt.

Stadtklimatologie erstreckt sich über die Bereiche Stadtplanung und Architektur, Gebäude- und Bauleitplanung sowie Quartiers- und Stadtentwicklungsplanung. Sie unterstützt bei der Bewertung der thermischen und lufthygienischen Situation und der Auswirkung von Flächen, Verdichtungen, Konversionsmaßnahmen, Stadtrückbau und Einzelgebäuden. Die Berücksichtigung des Klimas in der Stadtplanung erfordert eine detaillierte Kenntnis der Wechselwirkungsprozesse zwischen den städtischen Faktoren und der Atmosphäre. Die Ergebnisse werden in Abhängigkeit von der Stadtplanungsebene als Karten in unterschiedlicher räumlicher Auflösung dargestellt. Festlegungen von Untersuchungsmethoden und die Bewertung der Ergebnisse für den thermischen und

lufthygienischen Wirkungskomplex sind abhängig von der Planungsebene und den verfügbaren Daten. Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) hat sich zur Aufgabe gestellt, Richtlinien zu normieren und Verfahren zur Erstellung von Klimakarten einheitlich zu regeln, um sie vergleichbar zu machen. Hierzu existieren einschlägige VDI-Richtlinien:

„Planungsrelevante Stadtklimatologie“, RL 3785 Blatt 1, „Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen“, RL 3787 Blatt 1, in denen folgende stadtklimatisch relevanten Fragestellungen dargestellt werden, wie sie auch in den EU-Guidelines zum 5. Rahmenprogramm entwickelt wurden:

- räumliche Ausprägung und Häufigkeit des Luftmassenaustauschs (Be- und Entlüftung) und deren Eintrittshäufigkeit;
- räumlich-zeitliche Ausprägung der thermischen und lufthygienischen Aspekte des Stadtklimas, bzw. Auftreten von thermischen Belastungen (Besonnungs-, Verschattungsverhältnisse);
- räumliche Darstellung und Bewertung der Wirkungs- und Belastungsräume;
- energetische Optimierung durch Standortbestimmung aus der Stadtklimaanalyse mit Überwärmungsräumen und Kaltluftgebieten, Baudichte.

Die Aufgabe einer planungsbezogenen Stadtklimatologie ist die Verbesserung der lufthygienischen und thermischen Bedingungen (Katzschner 2004):

- Abbau von Wärmeinseln (Wärmeinseln als Indiz für den thermischen Komfort), Freiraumplanung;
- Optimierung der städtischen Belüftung (Luftaustausch, Luftleitbahnen), Stadtplanung und Stadtentwicklung für die Lufthygiene und den thermischen Komfort;
- Vermeidung von Luftstagnation bei Inversionswetterlagen, Vermeidung von Barrieren für den Luftaustausch;
- Erhaltung und Förderung von Frischluft- oder Kaltluftentstehungsgebieten für den Luftaustausch und somit zur Verbesserung der lufthygienischen Situation.

Auf Grundlage dieser Erhebungen erfolgt die räumliche Festlegung in einer verbindlichen Planung. Festlegungen können beispielsweise das Freihalten von Kalt- bzw. Frischluftentstehungsflächen (Hanglagen) und von Luftleitbahnen, Gebäudeausrichtung, Höhe und Bebauungsdichte sein.

Solche Festlegungen können gemäß BauGB § 1a in der Bauleitplanung erfolgen. Darüber hinaus sind aufgrund der Stadtklimaanalysen Darstellungen freizuhalten Flächen im Flächennutzungsplan möglich. Ebenso kann überprüft werden, ob Festsetzungen in der Regionalplanung erfolgt sind. Klimabelange werden dort in die Planung der regionalen Grünzüge impliziert.

Planerisch-gesetzliche Instrumente sind im „Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung“ (UVPG) und in der „Strategischen Umweltprüfung“ (SUP) zu finden. Die allgemeinen Belange des Klimas können mithilfe von Stadtklimakarten auf die beschriebenen Eigenschaften qualitativ bewertet und in die Planungswerke eingebaut werden.

2.2 Stadtklimatischer Bewertungsindex

Grundlage bildet der stadtklimatische Bewertungsindex „physiologisch äquivalente Temperatur“ (PET) (vgl. Höppe 1999).

Die biometeorologische Kenngröße PET beschreibt unter Berücksichtigung der thermo-physiologischen Zusammenhänge das thermische Empfinden des Menschen (Brandenburg und Matzarakis, 2007) und ist somit eine physikalische Kenngröße für das Wohlbefinden, das vom thermischen Wirkungskomplex abhängig ist (siehe Abb. 1). Dabei liegt das Behaglichkeitsniveau bei einem PET-Wert von 24°C. Neutralität herrscht dann, wenn so viel Wärme vom menschlichen Körper aufgenommen wird, wie selbstständig wieder abgegeben werden kann.

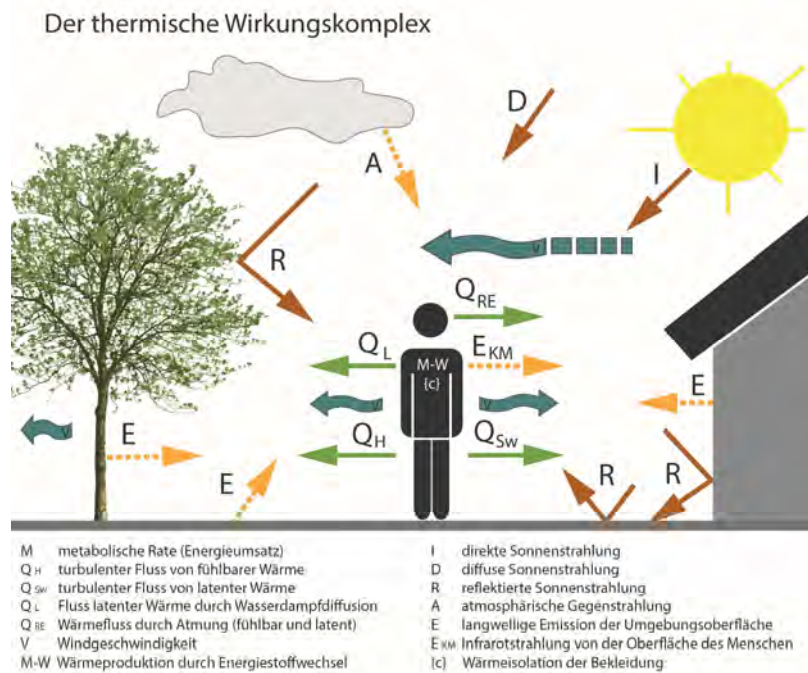


Abbildung 2: Schema "Thermischer Wirkungskomplex". Dargestellt sind die unterschiedlichen Parameter, die sich auf den Wärmehaushalt des Menschen auswirken. Durch planerische Eingriffe können diese Bedingungen beeinflusst werden.

Um Fehlinterpretationen vorzubeugen, werden die PET-Werte (angegeben in °C) in Abhängigkeit des Stressniveaus auf den Menschen in die Kategorien der Tabelle 1 eingeordnet.

PET (°C)	subjektives Empfinden	Stressniveau
> 42	sehr heiß	extremer Hitzestress
35 - 41	heiß	starker Hitzestress
29 - 34	sehr warm	moderater Hitzestress
25 - 28	warm	schwacher Hitzestress
18 - 24	neutral	kein thermischer Stress
13 - 17	kühl	schwacher Kältestress
< 13	kalt	Kältestress

Tabelle 1: Bereiche von Hitzestress in Abhängigkeit des Bewertungsindex PET (Katzschner et al. 2010).

1. Methodik

Das folgende Kapitel bietet eine Übersicht über die verschiedenen methodischen Schritte.

3.1 Einführung (Klimafunktionskarte)

Eine Klimafunktionskarte (KFK) stellt ein klimaökologisches Gutachten dar, welches für eine bestimmte geografische Verortung angefertigt wird. In den VDI-Richtlinien (insbesondere VDI RL 3787 Blatt 1) wird die Vorgehensweise zur Generierung einer Klimafunktionskarte festgelegt. Hauptsächlich werden diese Gutachten für Ballungsräume und größere Städte erstellt. Die Anwendung der VDI-Richtlinien macht eine Vergleichbarkeit zwischen Städten möglich. Grundlage ist stets die Analyse der Ist-Situation, also eine möglichst präzise Abbildung der realen Klimafunktionen im Untersuchungsraum. Diese Analyse der Ist-Situation kann messtechnisch erfasst und validiert werden. Für eine komplexe Abbildung der Ist-Situation ist eine entsprechende Datenbasis Grundvoraussetzung. Aus klimaökologischen Gesichtspunkten sind Faktoren wie Höheninformationen und Fließgewässer ein erster Anhaltspunkt, um die natürlichen Bedingungen abzubilden. Analog hierzu spielen anthropogene Einflüsse eine entscheidende Rolle. Insbesondere in Städten hat die vom Menschen verursachte Veränderung der Erdoberfläche den größten und in den meisten Fällen auch negativsten Einfluss. Deshalb werden Daten bezüglich der Flächennutzung und Gebäudeinformationen benötigt. Je detaillierter die Eingangsdaten vorliegen, umso präziser und kleinteiliger können die angefertigten Analysen ausfallen.

Neben diesen Geoinformationen ist das Wissen um klimarelevante Parameter von Bedeutung. Besonders die Belüftung eines verdichteten Stadtgebietes, der eine positive Wirkung nachzuweisen ist, hängt von der Lage in Bezug auf das regionale Windzirkulationssystem ab. Aber auch lokale und kleinräumige Windzirkulationen entwickeln sich durch physikalische Prozesse und können im Rahmen einer Klimafunktionskarte berechnet werden. Weitere Klimaparameter lassen sich durch die geografische Lage des Untersuchungsraumes ableiten.

3.2 Methodik zur Erstellung von Klimafunktionskarten

Bei der Verknüpfung der in Kapitel 3.1 genannten Sachinformationen ist die Gewichtung bzw. die Einflussnahme der einzelnen Faktoren von großer Bedeutung. Da diese Faktoren aus klimatischen Gründen von Untersuchungsraum zu Untersuchungsraum unterschiedlich sind, besteht derzeit noch kein automatisiertes System zur Erstellung einer Klimafunktionskarte (Lohmeyer 2008).

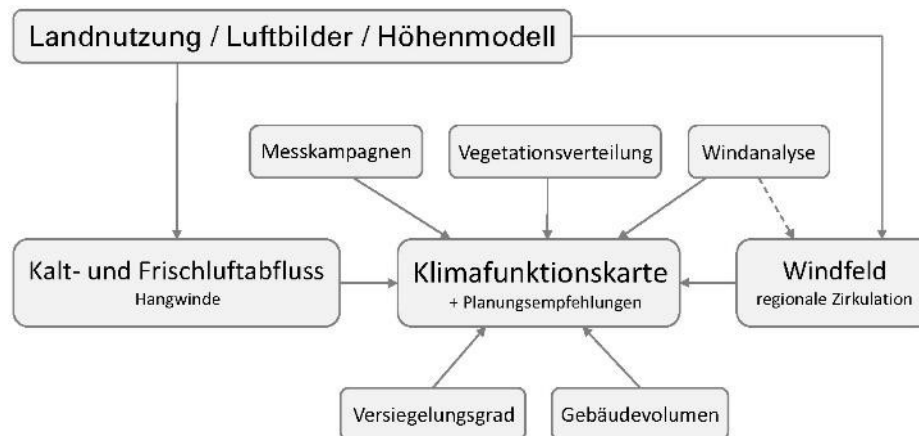


Abbildung 3: Prinzipielle Vorgehensweise zur Erstellung einer Stadtklimakarte nach Lohmeyer 2008.

Klimatische Rahmenbedingungen sind sehr heterogen, was durch die geografische Lage, die absolute Höhe über dem Meeresspiegel des Untersuchungsgebietes oder durch eine kontinentale bzw. maritime Beeinflussung verursacht wird. Neben diesen übergeordneten Faktoren gibt es eine Vielzahl kleinräumiger Einflüsse. Auf einer kleinen Skala können unterschiedliche Effekte wie Binnenseen oder Tallagen die örtlichen klimatischen Verhältnisse stark prägen. Somit ist eine vorgeschaltete klimatische Einschätzung unumgänglich, wobei ein größerer Ausschnitt als der abgegrenzte Untersuchungsraum zu betrachten ist.

Nach der Gruppierung von Themenkarten in die beiden klimatischen Komponenten „Dynamik und Thermik“, die beide unterschiedlichen Einfluss auf die jeweiligen Ebenen des Stadtklimas haben, wird durch geeignete Funktionen und anschließende Generalisierungen das Ergebnis in Form der Klimafunktionskarte aggregiert.

Die dynamische Komponente beinhaltet erstens die Luftbewegungen und damit die Frischluft- und Kaltluftabflüsse, die physikalisch bedingt auch ohne Antrieb der regionalen Strömungsbedingung entstehen und zweitens die Hauptwindrichtung, die bei entsprechenden Wetterlagen die Zirkulation bestimmt. Eine zusätzliche entscheidende Themenkarte der Dynamik ist die Einflussnahme der Hangwinde. Diese Strömungen entstehen durch das Berg-Tal-Windsystem, das tagesperiodisch auftritt und gerade bei einem ausgeprägten Relief an Mächtigkeit gewinnen kann (Häckel 1985). Die entsprechende Themenkarte wurde auf Grundlage des Digitalen Geländemodells (DGM) und der Strömungsmessdaten angefertigt. Weitere Kriterien wie Rauigkeitslängen der Erdoberfläche wurden ebenfalls in diese Rechenschritte integriert, um das Belüftungssystem realgetreu darzustellen und die tatsächlichen Wirkungsgrade mit Hilfe der Messdaten zu kalibrieren.

Das klimatische Wechselspiel beinhaltet neben der Belüftungssituation die thermischen Eigenschaften der Erdoberfläche. Da diese Komponente die Basis darstellt und dementsprechend flächendeckend kartiert sein muss, wurde als Grundlage die aktuelle Realnutzungskartierung

verwendet, um eine Kategorisierung vornehmen zu können. Dieser detaillierte Eingangsdatensatz wird mit weiteren Themenkarten ergänzt, wobei der Oberflächenversiegelungsgrad Aufschluss über die Wärmespeicherkapazität gibt und Freiflächen mit niedriger Oberflächenrauigkeit Kaltluftentstehungsflächen darstellen. In diesem Zusammenhang ist die Albedo der Oberfläche eine zentrale Größe, da unterschiedliche Reflexions- und Absorptionsverhalten maßgeblich den Wärmehaushalt der städtischen Grenzschicht bestimmen (Oke 2006). In diesem Themenfeld ist der Effekt der Wärmeinsel Stadt besonders gut erkennbar, denn durch die Erwärmung der künstlichen Baumaterialien, gekoppelt mit der hohen Wärmespeicherleistung und der langsamen Abkühlrate, werden gerade in den Nachtstunden höhere Lufttemperaturen als im unbebauten Umland verursacht (Hupfer und Kuttler 1998; Baumüller et. al 1995).

		Maßstab, räumliche Auf- lösung der Karten	Fachbeiträge Klimaanalyse (Lufthygiene und Human-Biometeor- ologie)
Raumord- nungs- planung	Regionalplan	1 : 50.000 bis 1 : 100.000, ≥ 100 m	Mesoklima Klimaanalysekarten: flächendeckende Immissionsschutzkarten, thermische Belastungsräume (Überwärmungsräume), Luftleitbahnen, Kaltluftentstehungsflächen Planungshinweiskarte
	Vorbereitende Bauleitplanung: Flächennutzungs- plan	1 : 5.000 bis 1 : 25.000, 25 m bis 100 m	Mesoklima Klimaanalysekarten: gebietsbezogene Immissionskarten, Luftaustausch, thermische Belastungsräume (Überwärmungsräume) Planungshinweiskarte
	Verbindliche Bauleitplanung: Bebauungsplan, Baugenehmigungs- verfahren	≤ (1 : 1.000), 2 m bis 10 m	Mikroklima Klimaanalysekarten: lokale Immissionsberechnungen an Hot Spots, Nachbarschaftsbetrachtungen, Luftaustausch, human-biometeorologische Eignungsuntersuchungen an Hot Spots Planungshinweiskarte

Tabelle 2: Steuerungsinstrumente für die Planung auf unterschiedlichen Maßstabsebenen und entsprechende Fachbeiträge.

VDI 3787 Blatt 1:

„Bei den in dieser Richtlinie beschriebenen Klimaanalyse- und Lufthygienekarten handelt es sich nicht um die amtlichen Festlegungskarten, sondern um thematische Fachkarten, deren Inhalte entscheidend für die praktische Raumanalyse und sachgerechte Durchführung von Planungsprozessen sind.“

3.3 Klimatope

Klimatope bezeichnen räumliche Einheiten, in denen die mikroklimatisch wichtigsten Faktoren relativ homogen und die mikroklimatischen Bedingungen wenig unterschiedlich sind (VDI RL 3787 Blatt 1).

Die Legende (Abb. 24) ist in sechs Klimatope unterteilt, welche farblich zugeordnet sind. Zusätzlich gibt es in dieser Legende, die auf dem Kartenwerk erscheint, eine kurze Beschreibung zur Einordnung der Funktionen. Die klimaökologische Wertigkeit ist an der linken Seite angedeutet und verläuft von sehr wertvoll (+) für die naturnahen Klimatope bis hin zu defizitär (-) für die Belastungsbereiche.

Eine wichtige Grundlage für die Charakterisierung der Klimatope ist der beschriebene thermische Index PET (Höppe, 1999). Er beschreibt und bewertet die Eigenschaften und die Wirkung der Klimatope der Klimafunktionskarte auf den Menschen und vermittelt das Stressniveau (siehe Kap. 2.2). Grundlage bilden die Untersuchungen über das thermische Empfinden aus verschiedenen Forschungsprojekten, z.B. im Rahmen der klimazwei-Projekte (Katzschner et al., 2010).

Klimatopbeschreibung nach VDI RL 3787 Blatt 1:

(Im Folgenden ist die Auflistung nach Richtlinie dargestellt, bei der KFK der Stadt Kassel zum Teil nur implizit vorhanden, jedoch inhaltlich berücksichtigt wird.)

Gewässerklima (implizit vorhanden)

Aufgrund der hohen Wärmekapazität von Wasser kommt es an den Oberflächen von Gewässern zu nur schwachen tagesperiodischen Temperaturschwankungen, das heißt Wasserflächen sind am Tag relativ kühl und nachts vergleichsweise warm. Sie können daher das lokale Klima stark beeinflussen. Jedoch bleibt ihr klimatischer Einfluss in der Regel lediglich auf das Gewässer selbst und die unmittelbaren Randbereiche beschränkt.

Ein positiver Effekt für die klimatische Situation wird durch die geringe Rauigkeit von Gewässerflächen bewirkt, wodurch Austausch- und Ventilationsverhältnisse begünstigt werden. Dadurch ist eine Wirkung als funktionstüchtige Luftleitbahn möglich.

Hinweise für die Planung: Undurchlässige Strukturen (z. B. geschlossene Bebauung oder dichte Hecken bis hin zu Waldflächen) sollten am Uferrand und angrenzenden Bereichen vermieden werden.

Freilandklima

Freilandklimatope stellen sich überwiegend über unbewaldeten vegetationsbestandenen Außenbereichen ein. Sie zeichnen sich durch ungestörte Tagesgänge von Lufttemperatur und -feuchte und weitgehend unbeeinträchtigte Windströmungsbedingungen aus und wirken als Kaltluftentstehungsgebiete. Da in den Freilandbereichen selten Emittenten für Luftschadstoffe vorkommen und bei geeigneten Wetterlagen in den Nachtstunden Kaltluftmassen gebildet werden, können diese Bereiche eine sehr hohe Ausgleichsfunktion für die human-biometeorologisch und lufthygienisch belasteten bebauten Bereiche besitzen.

Hinweise für die Planung: Aufforstungs- und Siedlungsmöglichkeiten entsprechend den lokalklimatischen Verhältnissen, zudem Bedeutung der Flächen für den großräumigen Luftaustausch beachten (z. B. in Stadtrandlage). Erhalt des Kaltluftentstehungspotenzials.

Waldklima

Das Klima im Stammraum eines Waldes wird durch den Energieumsatz (verminderte Ein- und Ausstrahlung) bestimmt. Dichte und höher wachsende Baumvegetation führt zu gedämpften Tagesgängen von Lufttemperatur und -feuchte sowie zu niedrigen Windgeschwindigkeiten im Bestand. Das Kaltluftentstehungsgebiet befindet sich oberhalb des Kronenraums. Deshalb sind Waldgebiete auf geeigneten Flächen hochrelevant für die Entstehung von Kaltluft/Frischluff und deren Dynamik. Waldflächen erweisen sich aufgrund sehr geringer thermischer und human-biometeorologischer Belastungen als wertvolle Regenerations- und Erholungsräume. Darüber hinaus übernehmen Wälder bei geringen oder fehlenden Emissionen die Funktion als Frischluft- und Reinluftgebiete, können jedoch aufgrund der hohen Rauigkeit keine Luftleitfunktion übernehmen.

Hinweise für die Planung: Erhalten und ausbauen soweit lokalklimatisch verträglich (siehe Hindernisse für den Kaltluftabfluss).

Klima innerstädtischer Grünflächen

Die klimatischen Verhältnisse innerstädtischer Park- und Grünanlagen sind zwischen denen von Freiland- und Waldklima einzustufen. Dabei variiert die klimatische Reichweite von Parkflächen in Abhängigkeit von der Größe und Form der Parkanlagen, deren Ausstattung sowie von der Anbindung an die Bebauung oder Durchlüftungsbahnen.

Die Klimawirksamkeit von Grünflächen beschränkt sich je nach Größe, Relief und Rauigkeit auf die Fläche selbst (Mikroklimaeffekt), kann jedoch auch stadtklimatisch positive Fernwirkungen aufweisen.

Verschiedene Untersuchungen und Modellierungen haben gezeigt, dass mikro-klimatische Kühlungseffekte in Abhängigkeit der Verdunstungsleistung und Beschattung auch bei geringer Flächengröße nachweisbar sind. Bei einer engen Vernetzung können kleinere Grünflächen zur Abmilderung von Wärmeinseln beitragen, u. a. indem sie den Luftaustausch fördern.

Hinweise für die Planung: Erhalten und möglichst vernetzen, offene Randbebauung erhalten oder anstreben (zur Förderung des Luftaustauschs).

Vorstadtklima (implizit vorhanden)

Das Klimatop der Vorstadt ist dem Übergangsbereich zwischen Freilandklima und dem Klima bebauter Flächen zuzuordnen und wird durch eine grüneprägte Flächennutzung und Oberflächenstruktur geformt. Es überwiegt der Einfluss des unbebauten Geländeanteils. Dieser Klimatoptyp ist charakteristisch für die Vorstadtsiedlungen, Gartenstädte oder Ortsränder, die darüber hinaus oft im unmittelbaren Einflussbereich des Freilands stehen und dadurch günstige bioklimatische Verhältnisse aufweisen. Das Klima in den Vorstadtsiedlungen zeichnet sich durch eine

leichte Dämpfung der Klimatelemente Lufttemperatur, -feuchte, Wind und Strahlung aus. Die Windgeschwindigkeit ist niedriger als im Freiland, aber höher als in der Innenstadt.

Hinweise für die Planung: Weitere Versiegelung vermeiden, Arrondierung möglich. Emissionsarme Energieversorgung anstreben.

Stadtrandklima

Das Stadtrandklima unterscheidet sich vom Vorstadtklima durch eine dichtere Bebauung und einen geringeren Grünflächenanteil. Dennoch handelt es sich um Bereiche mit einer lockeren Bebauung und einer relativ günstigen Durchgrünung. Hieraus resultiert eine nur schwache Ausprägung von Überwärmung, zumeist kann von einem ausreichenden Luftaustausch sowie eher günstigen bioklimatischen Bedingungen in diesen Gebieten ausgegangen werden.

Hinweise für die Planung: Besonders in diesen Klimatopen ist die Grünflächenvernetzung zum Freiland zu erhalten oder zu schaffen. Hohe, geschlossene Bauformen und verriegelnde Bebauung zum Umland vermeiden. Emissionsarme Energieversorgung anstreben.

Stadtklima

Charakteristisch für das Stadtklima ist eine überwiegend dichte, geschlossene Zeilen- und Blockbebauung mit hauptsächlich hohen Baukörpern und Straßenschluchten. Bedingt durch den hohen Versiegelungsgrad, die ausgeprägten Oberflächenrauigkeiten und geringen Grünflächenanteile, ist der Stadtkörper während austauscharmer Strahlungsnächte deutlich überwärmt. Tagsüber treten hohe Strahlungstemperaturen auf, die zu Hitzestress führen. Die dichte städtische Bebauung verursacht ausgeprägte Wärmeinseln mit eingeschränkten Austauschbedingungen, die mit zeitweise ungünstigen human-biometeorologischen Verhältnissen und erhöhter Luftbelastung verbunden sind und das Stadtklima prägen.

Hinweise für die Planung: Entsiegelung, Blockentkernung und -Begrünung, Fassaden- und Dachbegrünungen anstreben, hohe Verkehrsdichte in engen Straßenschluchten vermeiden, Verkehrsberuhigung und emissionsarme Energieversorgung anstreben.

Innenstadtklima

Kennzeichnend für das Innenstadtklima sind ein sehr hoher Versiegelungsgrad, hohe Oberflächenrauigkeit sowie ein geringer Grünflächenanteil, der lediglich durch Einzelbäume im Straßenraum sowie kleine Rasenflächen, zum Teil mit Strauchvegetation als Straßenbegleitgrün, charakterisiert ist. Aufgrund dieser Eigenschaften weist das Innenstadtklima die stärksten mikroklimatischen Veränderungen im Stadtgebiet auf. Hierzu zählt vor allem der starke Wärmeinseleffekt, der durch die Wärmespeicherfähigkeit der städtischen Oberflächen und die starken Windfeldveränderungen bedingt ist. Diese spiegeln sich in den straßenparallelen Be- und Entlüftungssituationen wider. Human-biometeorologisch ist dies sehr ungünstig.

Hinweise für die Planung: Siehe Stadtklima, Vorrang für emissionsarme Energieversorgung.

Gewerbe-/Industrieklima (implizit vorhanden)

Gewerbebetriebe mit den dazugehörigen Produktions-, Lager- und Umschlagstätten prägen das Mikroklima maßgeblich. Bedingt durch den hohen Versiegelungsgrad in Kombination mit erhöhten Emissionen an Produktionsstätten kommt es verstärkt zu lufthygienischen und humanbioklimatischen Belastungssituationen. Zu diesen Flächen zählen auch häufig Sonderflächen wie z. B. militärisch genutzte Flächen.

Hinweise für die Planung: Dach- und Fassadenbegrünung anstreben. Begrünung von Parkplätzen, Flächenbegrünung, Grünvernetzung, Entsiegelung, durchgängige Belüftungsstrukturen erhalten/schaffen, Beschränkung auf emissionsarme Betriebe, emissionsarme Energieversorgung, z. B. Fernwärme.

Gleisanlagen (implizit vorhanden)

Extremer Lufttemperaturtagesgang, trocken, nachts mögliche Kaltluftleitbahnen, geringe Strömungshindernisse.

Hinweise für die Planung: Von Emittenten und bei Umnutzung von erhöhter Rauigkeit freihalten. Flächenbegrünung vorsehen zum Erhalt der hochwertigen Funktion.

Klimaphänomene nach VDI RL 3787 Blatt 1:

Kaltluftbahn/ Kaltluftabflussrichtung

Thermisches, während der Nacht induziertes Windsystem (Hangabwind). Dabei fließt die am Hang bodennah erzeugte Kaltluft ab. Diese durch Temperatur- und Dichteunterschiede entstehenden bodennahen Kaltluftabflüsse initiieren und/oder verstärken das nächtliche Windsystem. Generell beeinflusst Kaltluft das lokale Klima signifikant. Die vertikale Mächtigkeit der Kaltluftabflüsse ist auf wenige Dekameter beschränkt.

Neben der Stärke des Abflusses ist es entscheidend, ob durch die Kaltluft unbelastete (=Frischluff) oder belastete Luftmassen herab transportiert werden. Kaltluft kann sich zudem an Hindernissen aufstauen und in Senken und Tälern ansammeln (Sammelgebiete). In der Regional- und Stadtplanung sind Entstehungsgebiete, Sammelgebiete und Abflüsse der Kaltluft zu berücksichtigen.

Luftleitbahn

Durch Ausrichtung, Oberflächenbeschaffenheit und Breite stellt eine Luftleitbahn eine bevorzugte Fläche für den bodennahen Luftmassentransport dar. Luftleitbahnen, häufig auch als Ventilationsbahn bezeichnet, sind durch geringe Rauigkeit (keine hohen Gebäude, nur einzelnstehende Bäume), möglichst geradlinige oder nur leicht gekrümmte Ausrichtung und größere Breite (möglichst in einem Längen-/ Breitenverhältnis 20:1) gekennzeichnet. Sie ermöglichen den Luftmassenaustausch zwischen Umland und Stadt. Die Wirksamkeit hängt von der Windverteilung in Kombination mit der Ausrichtung der Luftleitbahn ab. Ferner können Luftleitbahnen vor allem bei Schwachwindlagen von großer Bedeutung für die klimatische Entlastung innerstädtischer Gebiete

sein. Das Relief kann die Funktion als Luftleitbahn unterstützen. Effiziente Luftleitbahnen werden z. B. durch breite Flussauen gebildet. Breite, geradlinige Straßen oder Bahnanlagen können auch Luftleitbahnen darstellen. Luftleitbahnen können je nach Nutzung und Emissionseintrag lufthygienisch und thermisch beeinträchtigt sein.

Durchlüftungsbahn

Als Durchlüftungsbahnen werden klimarelevante Luftleitbahnen mit unterschiedlichem thermischen und/oder lufthygienischen Niveau bezeichnet, auf denen bei austauscharmen und/oder austauschreichen Wetterlagen lufthygienisch belastete oder unbelastete Luftmassen mit unterschiedlichen thermischen Eigenschaften in das Zielgebiet, hier die Stadt, transportiert werden.

2. Arbeitsschritte

Zur Diskussion um die Bedeutung einer Klimaanalyse sind die regionalen Klimaverhältnisse wichtig. Aufgrund ihrer planerischer Bedeutung sind die

- thermischen Verhältnisse (Wärmeinsel Stadt);
- Belüftungssituation im Sinne der horizontalen und vertikalen Durchmischung;
- gefährdeten Bereiche bei Starkregen/ Hochwasser

zu beachten. Daraus ergibt sich im Zusammenhang mit der Klimafunktionskarte die planerische Strategie durch Vegetation, Grünflächen allgemein und Entsiegelungsmaßnahmen einzelne Flächen zu bewerten.

4.1 Bestandsaufnahme

4.1.1. Meteorologische Verhältnisse im Raum Kassel

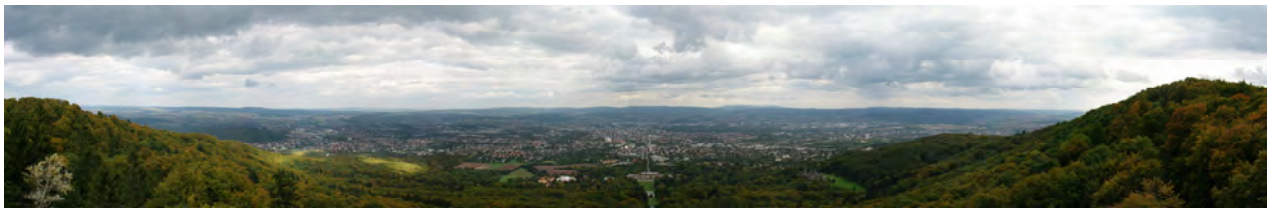


Abbildung 4: Blick von Westen (Herkules) über das Kasseler Becken (Quelle: eigene Abbildung).

Das Kasseler Becken ist ein weites, im Inneren hügelig zerschnittenes Becken in 140–300 Meter über NN. Es wird charakterisiert von den umgebenden Randhöhen, vor allem durch den Steilabfall des Habichtswaldes im Westen und der sanfteren Abdachung vom Kaufunger Wald und der Söhre im Osten. Die Fulda durchfließt das Becken von Süden nach Norden, wobei die Fuldaaue mit einer Höhe von 135–140 Meter über N.N. den Grund des Beckens bildet (HMULV 2006).

Allgemein ist für das Kasseler Becken eine Aussage bezüglich der klimatologischen Bedingungen bei austauscharmen Wetterlagen von maßgeblicher Bedeutung. Gerade bei einem solchen atmosphärischen Zustand sind die Gefährdungen, sowohl durch die Hitzebelastung im Sommer als auch durch die Schadstoffbelastung im Winter, am größten. Während dieser Wetterlagen ist ein funktionierendes lokales Windsystem mit ausgeprägten Flurwinden sowie einer funktionierenden Berg-Tal Belüftung enorm wichtig. Daraus ergibt sich die Situation, dass Luftströmungen im Kasseler Becken konvergieren. Darunter ist zu verstehen, dass Luft aus allen Richtungen gleichzeitig einströmt (besonders deutlich ist dies nachts). Daraus ergibt sich die Bedeutung der Außenbereiche.

4.1.1.1 Lufttemperatur

Der Jahresgang der Lufttemperatur für 2015 an der Messstation „Kassel Mitte“ HLNUG (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie) stellt sich wie folgt dar:

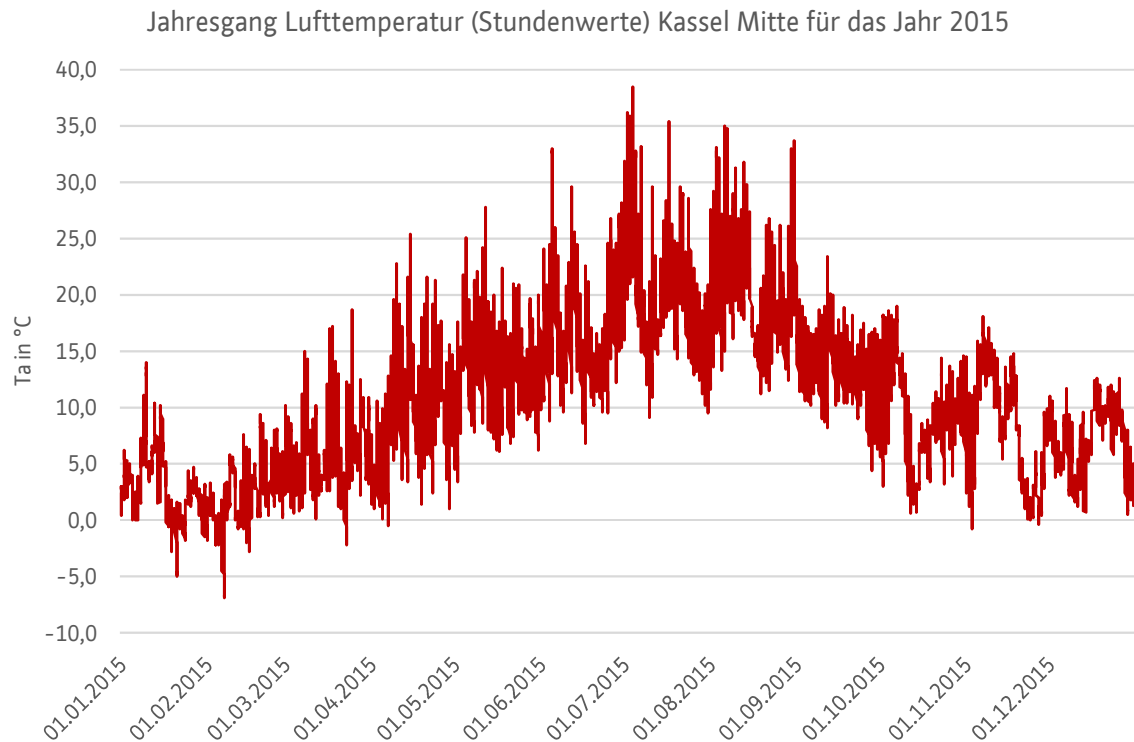


Abbildung 5: Jahresgang der Lufttemperatur an der Messstation Kassel Mitte.

Von der Messstation Kassel Mitte des HLNUG sind exemplarisch die Lufttemperaturen entnommen, die den Jahresgang (Abb. 5) zeigen, aber auch die thermisch ungünstigen Situationen der Sommermonate (Wärmebelastung). Hierbei sei auf die Schwellenwerte der Tropennächte und heißen Tage verwiesen. Heiße Tage treten jährlich auf, während die Tropennächte noch periodisch vorkommen. Dies gilt es auch in Zukunft zu beachten.

Thermische Belastungen sind ungleich der Lufttemperatur eine komplexe Größe. Dabei werden andere Schwellenwerte, die thermophysiologisch abgeleitet sind, definiert. Sie sind in Tabelle 1 dargestellt.

Wie aus Tabelle 3 zu ersehen ist, liegt bei allen heißen Tagen eine thermophysiologische Belastung vor, speziell bei nicht ausreichender nächtlicher Abkühlung Definitionen:

$T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$	Heißer Tag
$T_{min} \geq 20^{\circ}\text{C}$	Tropennacht
$T_{max} \geq 25^{\circ}\text{C}$	Sommertag
Wasserdampf $\geq 13,5\text{g/m}^3$	Schwüler Tag

Tabelle 3: Schwellenwerte der Lufttemperatur zur Charakterisierung des Klimas.

Neben dem Jahresgang der Lufttemperatur (Abbildung 5) zeigt sich im direkten Vergleich zweier Messstationen, wie sich die städtische Überwärmung (Wärmeinseleffekt) qualitativ in Kassel auswirkt. In Abbildung 5 wird der Tagesgang der städtischen Messstation „Kassel Mitte“ und der ländlichen Messstation „Witzenhausen Wald“ aufgetragen.

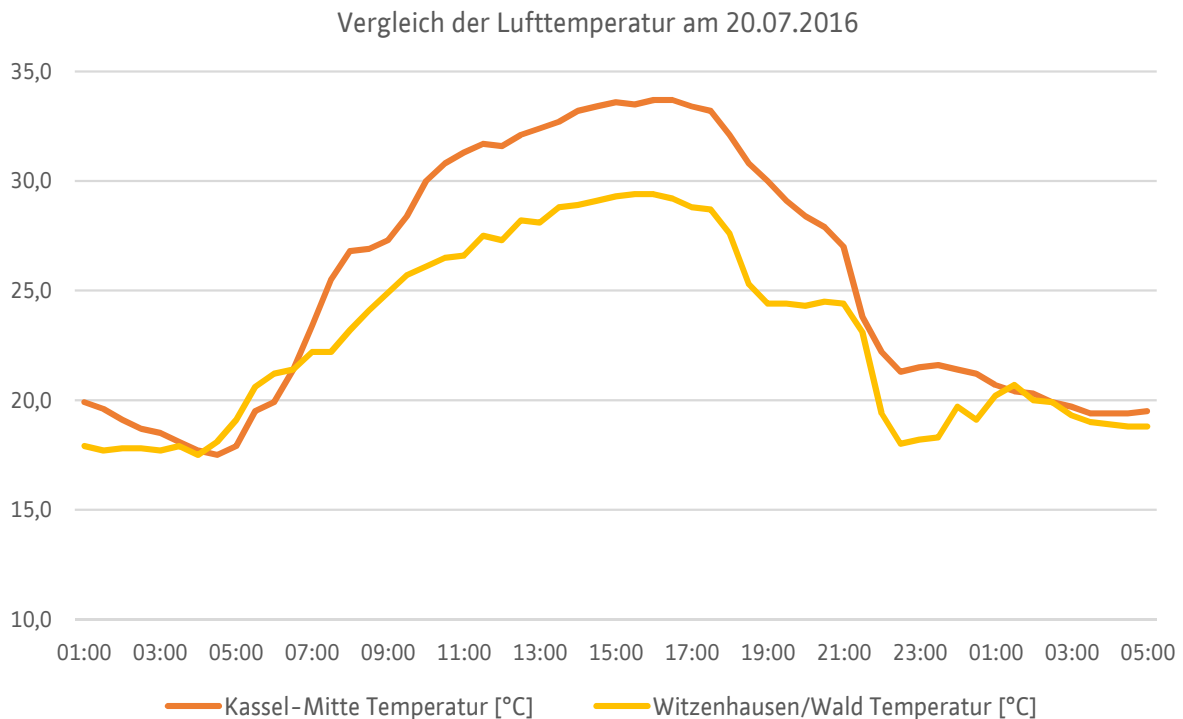


Abbildung 6: Vergleich der Lufttemperatur am 20.07.2016 (Messstationen: Kassel Mitte und Witzenhausen Wald).

Das Ergebnis der Gegenüberstellung der Lufttemperatur lässt sich inhaltlich mit der schematischen Darstellung des Prinzips der Wärmeinsel Stadt darstellen.

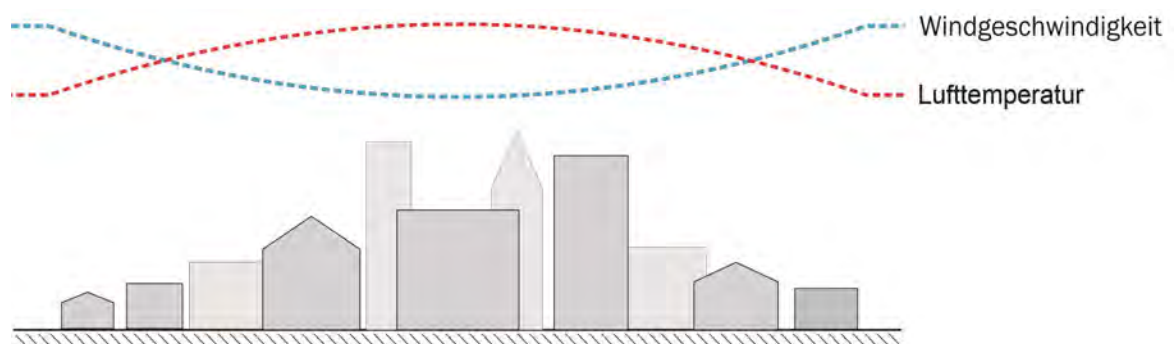


Abbildung 7: Schematische Darstellung "Wärmeinsel Stadt" (eigene Darstellung).

Messkampagne

Die Ergebnisse der Messungen im Rahmen der Bestandsaufnahme haben die Überwärmung der Stadt Kassel als Gesamtgefüge darstellen können. Neben diesen Ergebnissen wurde während des Sommers 2016 gezielt an bestimmten Orten und durch ausgewählte Verfahren eine hochaufgelöste Messkampagne durchgeführt.

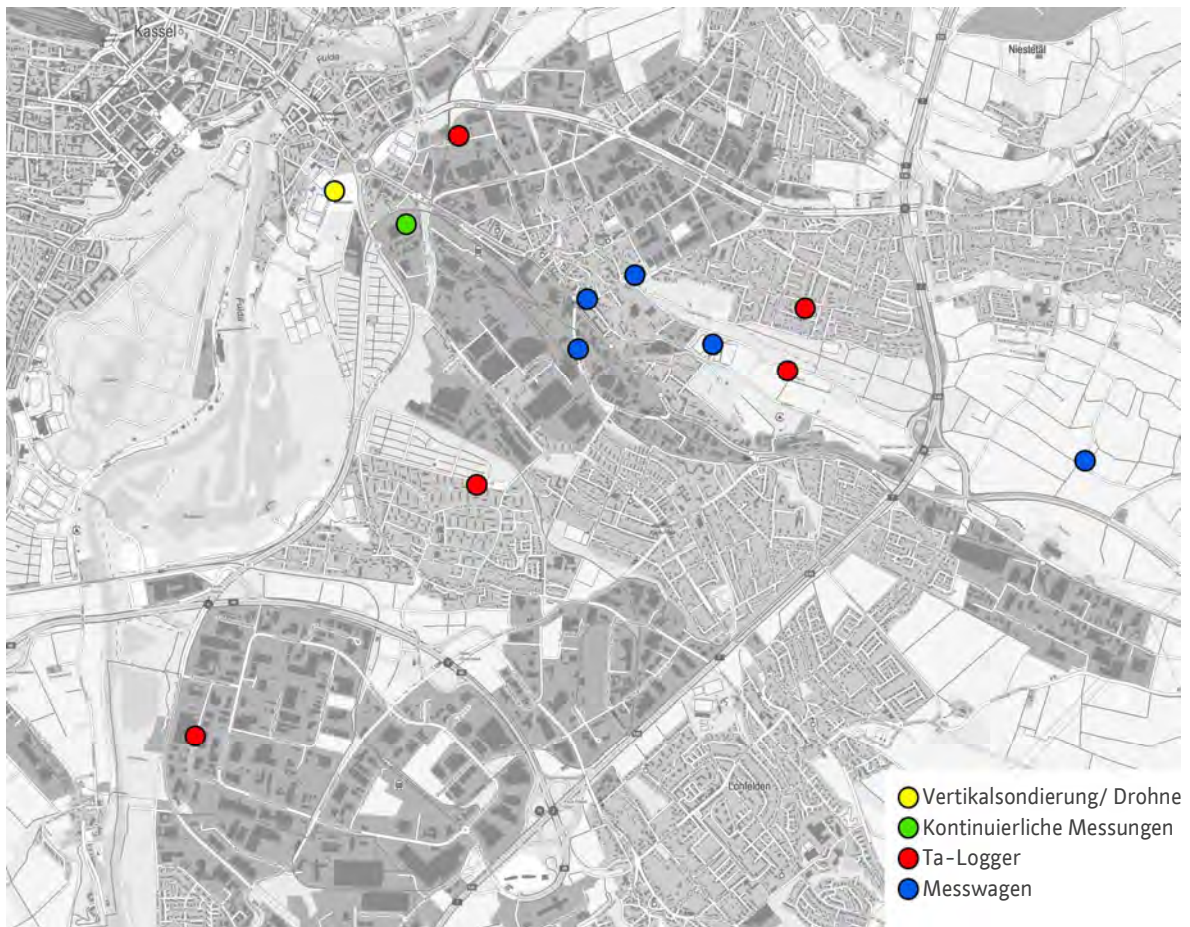


Abbildung 8: Räumliche Verortung der Messpunkte (Messkampagne Sommer 2016).

Im Zuge der Messkampagne kamen unterschiedliche Geräte an abgestimmten Orten mit besonderen Fragestellungen zum Einsatz.

Vertikalsondierung:

Mittels Drohnenaufstieg mit geloggtter GPS-Position, Höhe und Lufttemperatur konnte ein Vertikalprofil am 24. und 25. August erstellt werden.

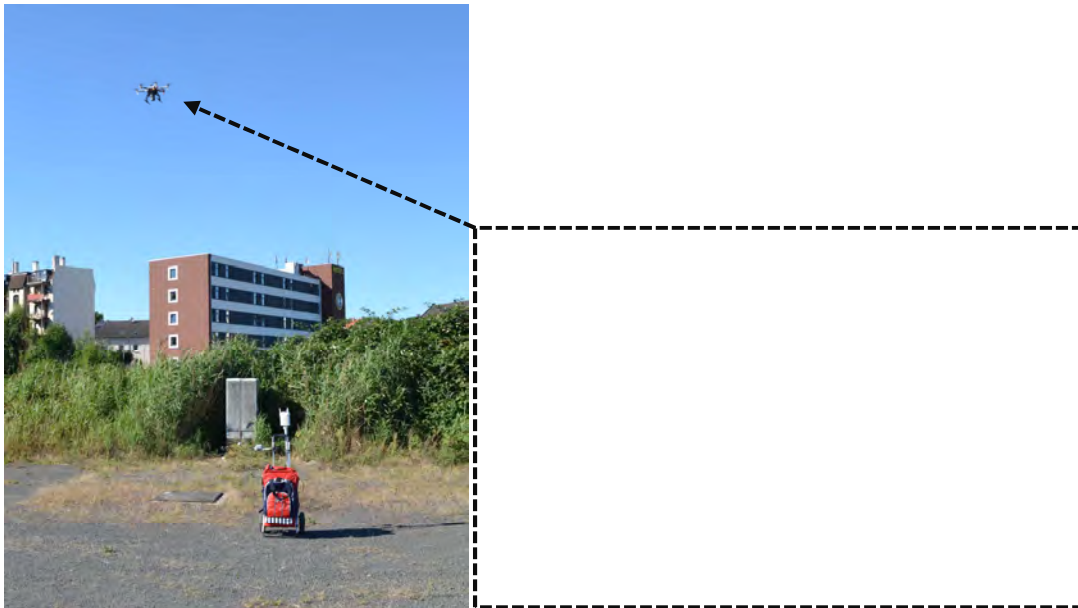


Abbildung 9: Drohne Dij, Modell Flame Weehl F550.



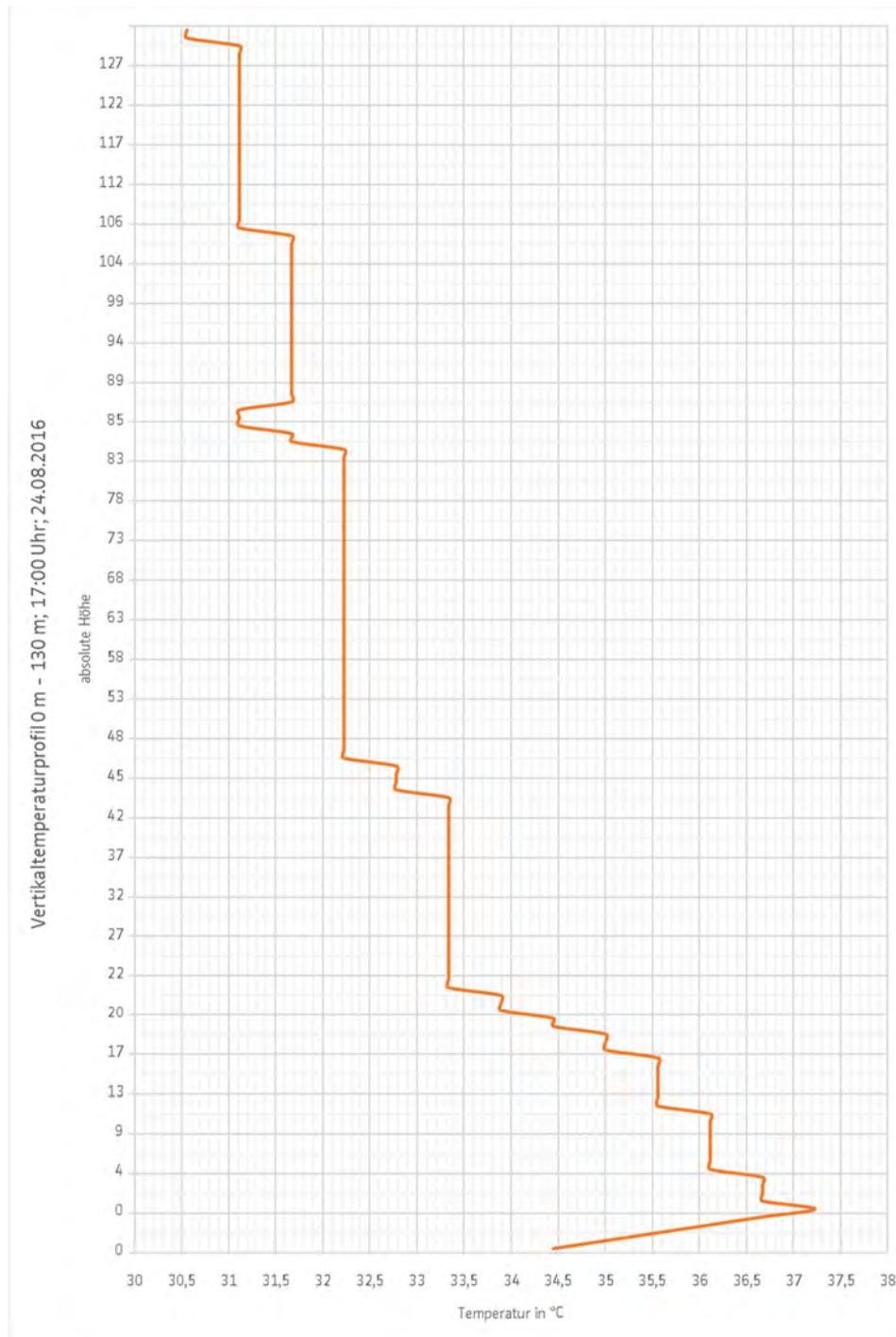


Abbildung 10: Vertikalprofil Kassel, Messeplatz am 24.08.2016 um 17:00 Uhr.

Zum Einsatz kam eine Drohne der Firma Dij, Modell Flame Weehl F550, die mit einem GPS- und Temperatursensor ausgestattet wurde. Hiermit besteht die Möglichkeit, punktgenau an einem Ort in die Höhe zu steigen, um Temperaturdaten zu erheben.

Gemessen wurde in zwei Messgängen während der umfangreichen Messkampagne im Sommer 2016. Am 24.08. wurde um 17:00 Uhr der Nachmittagsaufstieg während des Tagesmaximums der Lufttemperatur durchgeführt und am 25.08. wurde um 6:00 Uhr die Nachtsituation während der größtmöglichen Abkühlung erhoben.

4.1.1.2 Wind und Luftaustausch

Abbildung 5 zeigt die Windverteilung an der Messstation Kassel-Nord. Die in der freien Atmosphäre vorherrschenden westlichen Winde werden in Bodennähe durch die Topographie im Kasseler Becken aus ihrer Richtung abgelenkt. In Kassel wehen am häufigsten Winde aus Süd und Südwest. Häufig sind es auch die Nordwinde, die einen Einfluss des von Nord nach Süd verlaufenden Habichtswaldes auf die Windführung erkennen lassen. Durch die Tallage wird die Windgeschwindigkeit gegenüber der Umgebung verringert. Bei abnehmenden Windgeschwindigkeiten nimmt der Einfluss der unmittelbaren Umgebung auf die Windrichtung zu. Kleinräumige Windsysteme machen sich bemerkbar. Die Windrichtung ist dann nur noch repräsentativ für kleine Gebiete.

Der Kasseler Raum mit seinen rund 43 Nebeltagen im Jahr gilt als nebelreich. Als nebelreich werden Gebiete mit mehr als 25 Nebeltagen pro Jahr eingestuft. Die nebelreichsten Monate sind der Oktober (7 Tage), der September (6 Tage) und der November (5 Tage). Die geringste Nebelhäufigkeit tritt im Juli mit einem Nebeltag auf. Die mittlere Jahressumme der Sonnenscheindauer liegt in Kassel bei rund 1.450 Stunden. Im Juli scheint im Mittel die Sonne während rund 196 Stunden, im Januar während rund 40 Stunden. Die Sonnenscheindauer einzelner Jahre kann um bis zu 20 % vom vieljährigen Mittelwert abweichen.

Der Niederschlag wird in mm Niederschlagshöhe gemessen. Dabei bedeutet 1 mm Niederschlag 1 Liter Wasser pro m². Die mittleren Niederschlagshöhen im Raum Kassel schwanken zwischen Monatssummen von 41 bis 55 mm im Februar sowie 79 bis 81 mm im Juli. Als Jahressumme ergeben sich im Mittel 690 bis 814 mm.

Bei austauscharmen Wetterlagen ist insbesondere die vertikale Durchmischung der Luft stark eingeschränkt. Sie stellt einen Zustand der bodennahen Atmosphäre dar, in der die Austausch- bzw. Durchmischungsvorgänge stark eingeschränkt sind. Dies geschieht in der Vertikalen durch das Vorhandensein einer Sperrschicht (Inversion) und in der Horizontalen durch die geringe Luftbewegung. Im Extremfall kommt es zu einer Zunahme von anthropogenen Luftverunreinigungen (Rauch, Staub, Abgase etc.), die sich innerhalb bzw. an der Unterseite der Inversion ansammeln. Im Raum Kassel muss während ca. 6,7 % eines Jahreszeitraumes, d. h. an rund 585 Stunden entsprechend 24,4 Tagen pro Jahr mit austauscharmen Wetterlagen gerechnet werden. Der Monat, in dem diese Wetterlagen am häufigsten zu erwarten sind, ist der Oktober. Im Herbst (September bis November) werden im Raum Kassel solche Wetterlagen an durchschnittlich 8,8 Tagen (entsprechend 212,2 Std.) festgestellt. Der Monat mit dem geringsten Anteil dieser Wetterlagen ist der April. Im Frühjahr und Sommer sorgt die kräftige Sonneneinstrahlung für eine in der Regel gute vertikale Durchmischung der bodennahen Atmosphäre. Dadurch sinkt in diesen Jahreszeiten die Zahl der Tage mit austauscharmen Wetterlagen auf lediglich 4 bis 5 Tage im Monat. Dieser ausgeprägte Jahresgang ist bedingt durch die jahreszeitlichen Schwankungen in der allgemeinen atmosphärischen Zirkulation.

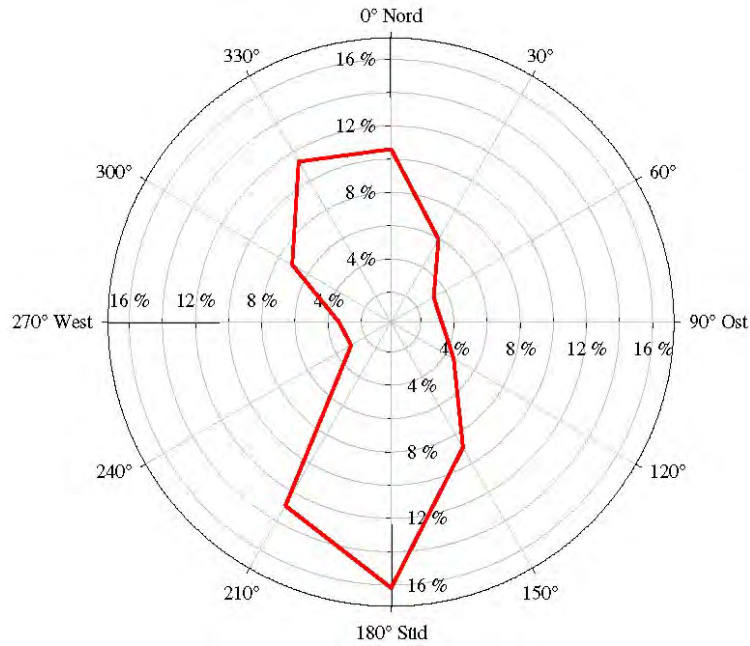


Abbildung 11: Mittlere Windrose an der Stadtstation Kassel-Nord (Zeitraum 1984 bis 2004), aus dem Luftreinhalteplan Kassel.

Das Auftreten von Inversionen ist für Kassel ganzjährig von besonderer Bedeutung. Die dabei horizontal und vertikal eingeschränkten Luftaustauschbedingungen führen zu lufthygienischen Belastungen im Winter und zu Hitze Problemen im Sommer. Inversionen treten im Zusammenhang mit den austauscharmen Wetterlagen auf und werden im Folgenden auch dann aufgeführt, wenn sie nur kurzzeitig auftreten. Besonders Inversionsneigungen in der ersten Tageshälfte können zu hohen Immissionswerten führen, in diesen Situationen ist die Frischluftzufuhr wichtig. Dies gilt auch im Sommer für die Wärmebelastung.

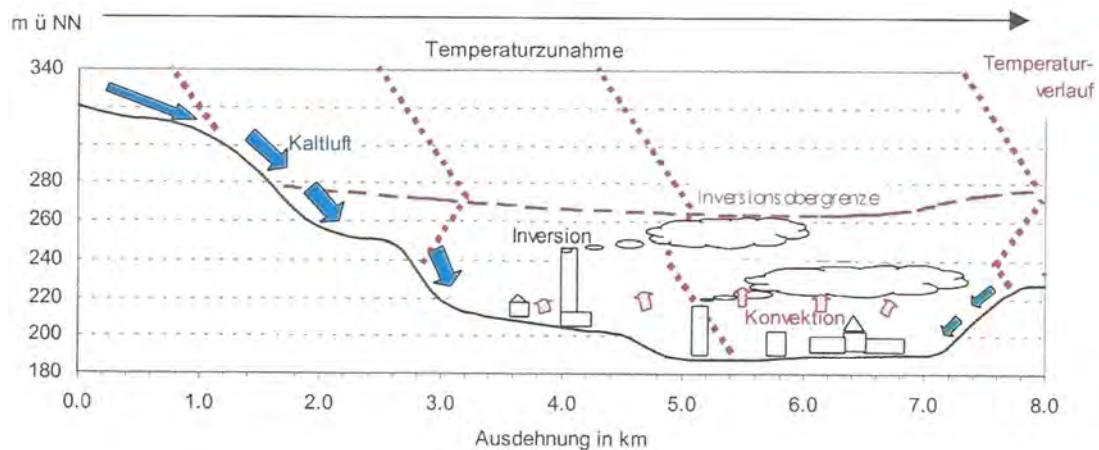


Abbildung 12: Schematische Darstellung der vertikalen Erstreckung mit Durchmischung bei Inversionen im Kasseler Becken.

Die Bildung der Inversionen hängt mit der großräumigen Wetterlage und einer topographisch bedingten Verstärkung im bodennahen Bereich ab. Beide Inversionsarten bilden sich bei stabilen Wetterlagen aus (Stabilitätsklasse I und II) und erreichen in Kassel eine hohe Auftrittswahrscheinlichkeit (DWD Statistik).

Klasse	Temperaturschichtung	Austauschverhältnisse	Überwiegende Art der Turbulenz
I	sehr stabil	extrem gering	-
II	stabil	gering	mechanisch
III/1	stabil bis neutral	mittel	mechanisch
III/2	neutral bis labil	mittel	konvektiv/mechanisch
IV	labil	gut	konvektiv
V	sehr labil	sehr gut	konvektiv

Tabelle 4: Übersicht der Stabilitätsklassen nach Klug-Manier (TA Luft)

4.1.1.3 Starkregen

Die Wasserwirtschaft in Nordhessen ist geprägt durch die Hauptgewässer Fulda, Eder, Haune, Schwalm, Werra und Diemel sowie zahlreichen Nebengewässern in der Mittelgebirgsregion. Das gesamte Einzugsgebiet ist durch Gebirgsachsen mit stark wechselnden Höhenlagen durchzogen. Die Talräume weisen die größten Bevölkerungsdichten auf.

Im Einzugsgebiet der Fulda, d. h. in Nordhessen, lassen sich prinzipiell zwei Arten von Hochwasserereignissen unterscheiden.

a) Hochwasserereignisse mit großräumigen Auswirkungen:

Diese haben ihren Ursprung in langanhaltenden Regenereignissen (z. B. Landregen), die großflächig, d. h. auf Einzugsgebietsebene größerer Flusssysteme stattfinden. Die Überflutungen treten hier großflächig entlang der Flussläufe auf, das betroffene Flusseinzugsgebiet kann hierbei mehrere 100 km² respektive über 1000 km² betreffen. In Nordhessen treten diese Ereignisse meist im Winter auf; im Zusammenwirken mit einer Schneeschmelze können hier schadbringende Überflutungen auftreten. Ein Beispiel hierfür ist das Fuldahochwasser im Januar 1995.

b) Lokale Hochwasserereignisse aufgrund von Starkniederschlagsituationen:

Diese Ereignisse haben ihren Ursprung in einem sehr kurzen (lediglich bis zu einigen Stunden), aber heftigen Niederschlag, der sich nur lokal ausdehnt. Die Überflutungen treten nicht nur am Gewässer selbst, sondern insbesondere auch auf versiegelten Flächen im urbanen Bereich auf. Diese kurzzeitigen Ereignisse finden sehr oft im Sommer statt. Beispiel ist hier die Hochwassersituation an der Drusel im Juni 2014.

Mögliche Überschwemmungsgebiete sind bei den großräumigen Ereignissen Flussauen, bei den lokalen Starkniederschlagsereignissen Bachauen und insbesondere versiegelte Flächen wie Siedlungen. Die Lokalereignisse können prinzipiell in jeder Gemeinde in Nordhessen auftreten.

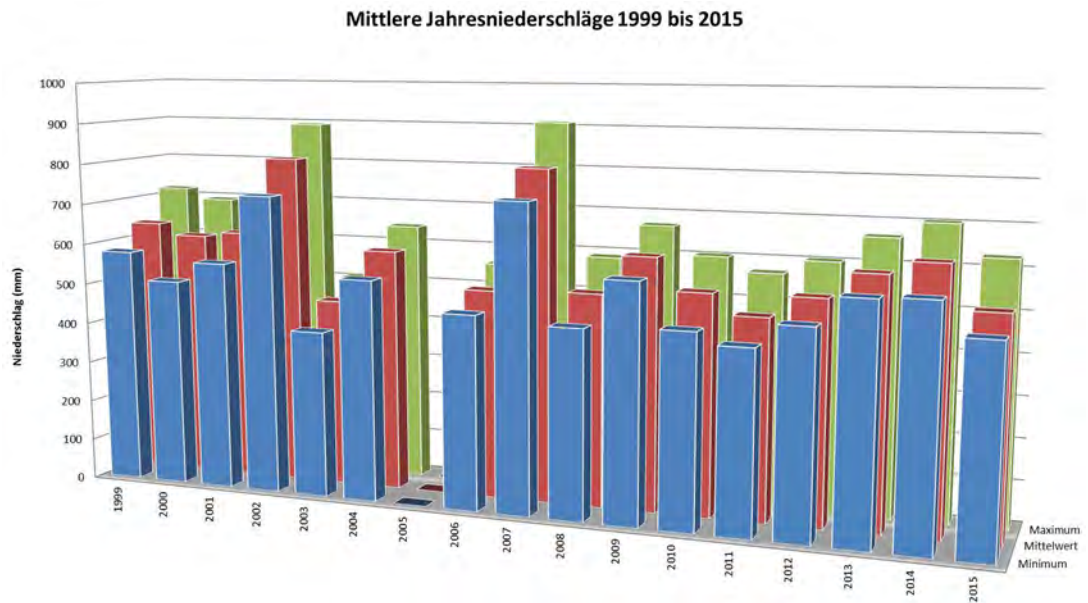


Abbildung 13: Mittlere Jahresniederschläge 1999-2015 Messnetz KASSELWASSER.

4.1.1.4 Hochwasser

In unregelmäßigen Zeitabständen führen außergewöhnliche Wetterlagen zu Hochwasser. Diese gehören – wie die Jahreszeiten – zu den ständig wiederkehrenden Naturereignissen.

Hochwasser sind ein Bestandteil des Naturhaushaltes. Viele Arten und Lebensgemeinschaften haben sich nicht nur an das Hochwassergeschehen angepasst, sondern brauchen eine regelmäßige Überflutung und bevorzugen die Auen als Lebensraum. Der Mensch hingegen kann sich mit seinem Lebensumfeld nicht immer an die Dynamik eines Hochwassers anpassen. Das Wissen über das Hochwasser zusammen mit der richtigen Vorsorge kann helfen, die Schäden, die durch Hochwasser entstehen können, gering zu halten.



Abbildung 14: Darstellung der unterschiedlichen Hochwassersituationen in Kassel (Hellblau: Hochwasser mit niedriger Wahrscheinlichkeit; Schraffur: Hochwasser mit mittlerer Wahrscheinlichkeit; Dunkelblau: Hochwasser mit hoher Wahrscheinlichkeit).

4.1.2 Klimawandel

Für die Abschätzung der klimatischen Auswirkungen wurden Daten aus dem 4. Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) genutzt. Der IPCC fasst den aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand der Klima- und Klimafolgenforschung zusammen. Als Eingangsdaten wurde das A1B-Szenario verwendet, welches in der Klimafolgenanpassungsforschung und -praxis für am wahrscheinlichsten gehalten wird.

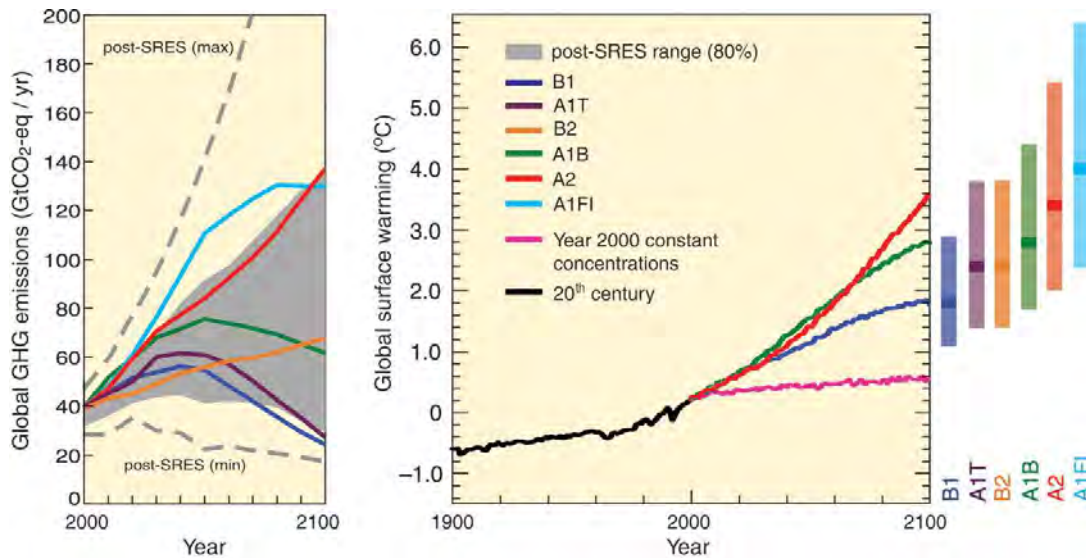


Abbildung 15: Klimaszenarien und prognostizierter globaler Temperaturverlauf (IPCC 2007).

Dieser Klimaanalyse wurde das Klimamodell CLM für das Klimaszenario A1B (Lauf 1; Zeitraum 2001 - 2100) in Verbindung mit dem Referenzszenario C20 (Lauf 1; Zeitraum 1961 - 2000) zugrunde gelegt.

Durch das veränderte Klimasignal treten unterschiedliche Veränderungen auf. Vor allem steigert sich der Effekt der städtischen Wärmeinsel. Urbane Gebiete, geprägt von künstlichen Bau-materialien wie Asphalt, Beton etc. werden zukünftig besonders stark betroffen sein (Kuttler 2011). In Kassel sind dies vor allem die dicht bebauten, städtischen Gebiete und die großflächigen Gewerbe- und Industrieflächen. In diesen Bereichen ist in Zukunft nahezu flächendeckend von der höchsten Hitzebelastung bzw. vom größten Hitzestressniveau auszugehen.

Im September 2013 hat die Stadtverordnetenversammlung beschlossen, ein Konzept zur Einführung der Flächenkreislaufwirtschaft zu erarbeiten. Ziel ist es, mit der Entwicklung eines Flächenmanagementsystems eine verstärkte Innenentwicklung und eine geringere Inanspruchnahme von naturbelassenen Flächen zu erzielen, um so einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen zu leisten. Das Klimaschutzteilkonzept „Klimagerechtes Flächenmanagement“ formuliert die für eine Flächenkreislaufwirtschaft notwendigen Grundlagen und möglichen Handlungsoptionen und geht mit dem Ziel der Bundesregierung, eine Flächeninanspruchnahme für Siedlungen und Verkehr zu reduzieren, insgesamt einher.

Ziel des vorliegenden Konzeptes ist es, auf einer zukünftig datenbasierten Grundlage die nachhaltige Flächenhaushaltspolitik in der Stadt durch maßvolle Außen- und aktive Innenentwicklung weiterführen zu können. Das vorliegende Teilkonzept "Klimagerechtes Flächenmanagement" analysiert hierfür die Rahmenbedingungen und zeigt vertiefend für gewerblich genutzte Flächen im Kasseler Osten Potenziale und Handlungsmöglichkeiten auf. Insbesondere werden Vorschläge für geeignete Instrumente der gewerblichen Innenentwicklung im Rahmen einer gesamtstädtischen Strategie zur Flächenkreislaufwirtschaft vorgelegt. Dies schließt Vorschläge zum Einsatz von Förderprogrammen und zur Durchführung von Pilotmaßnahmen durch Eigentümer/Nutzer bzw. flankierende Maßnahmen von Seiten der Stadt Kassel mit ein.

Zielsetzungen und Maßnahmenvorschläge des "Integrierten Klimaschutzkonzeptes" der Stadt Kassel werden auf Grundlage der Klimafunktionskarte einbezogen und mit Blick auf die im Kasseler Osten möglichen Beiträge geprüft. Hierbei sollen flächenrelevante Maßnahmen wie der Erhalt und Ausbau von Frischluftschneisen sowie Klimaschutzmaßnahmen mit Blick auf die energetische Sanierung von Gewerbebauten einbezogen werden.

Locker besiedelte Gebiete mit einem hohen Vegetationsanteil auf den Flächen sind weniger stark betroffen, allerdings sind die Auswirkungen auch auf Naturflächen festzustellen. So werden die Funktionen der Frisch- und Kaltluftentstehungsgebiete vor allem auf den westlichen Hängen einen leichten Verlust ihrer Funktionsfähigkeit durch die prognostizierten längeren Trockenperioden erleiden.

Anders verhalten sich die Kaltluftentstehungsgebiete. Diese Flächen werden wahrscheinlich ihre Funktion weiterhin erfüllen können, wenn keine Landnutzungsänderung stattfindet. Der Kaltluftabfluss erleidet somit nahezu keine Einschränkungen und gilt demnach als besonders schützenswert, da er in Zukunft eine noch höhere Bedeutung für das Stadtklima Kassels haben wird.

Fast vollständig werden sich die verdichteten Bereiche in der höchsten Belastungsstufe befinden. Überall dort, wo viel künstliches Material verbaut wurde, sind nun diese Belastungsspitzen festzustellen.

Kenntage in Nordhessen 1956-2000	Nordhessen	über 500m	Kassel
Sommertage (Höchstwert über +25°C) im Mittel	21 Tage	15 Tage	27 Tage
Heiße Tage (Höchstwert über 30°C) im Mittel	3 Tage	1 Tag	4 Tage

Prognosen für Kassel	Sommertage	Heiße Tage	Tropennächte
Referenzperiode 1956-2000	27	4	0,3 ⁽¹⁹⁸¹⁻¹⁹⁹⁰⁾
2091-2100 Szenario A1B	48	8,6	2,1
2091-2100 Szenario A2	51,7	12,8	1,5
2091-2100 Szenario B1	49,3	6,8	1,5

4.1.3 Klimamodellierung

Die Klimafunktionskarte des Zweckverbandes Raum Kassel (ZRK) aus dem Jahr 2009 soll im Rahmen dieser Studie innerhalb der administrativen Grenzen der Stadt Kassel fortgeschrieben werden. Hierbei kommen das aktuelle Modell und die weiterentwickelte Methodik zum Einsatz. Zusätzlich werden die aktuellen Flächenentwicklungen im Eingangsdatensatz aufgenommen.

4.1.3.1 Übersicht der Themenkarten

Relieftypisierung

- Herausarbeitung klimatisch relevanter topografischer Faktoren (z. B. Höhenrücken, Täler, Hangneigungen, Expositionen) und daraus ableitend Luftleitpotentialbestimmung auf Basis des digitalen Höhenmodells von Luftbildern und topografischen Karten als wichtiges Ausgangsprodukt für die thermische und dynamische Analyse.

Strukturtypisierung

- Herausarbeitung der v.a. nutzungsbedingten Oberflächenrauigkeit, differenziert nach klimatischer Relevanz (z. B. potentielle Barrierewirkung bzw. Kanalisierung von Luftmassen) auf Basis der Nutzungsartflächen, topografischen Karten sowie von Luftbildern als wichtiges Ausgangsprodukt für die dynamische Analyse.

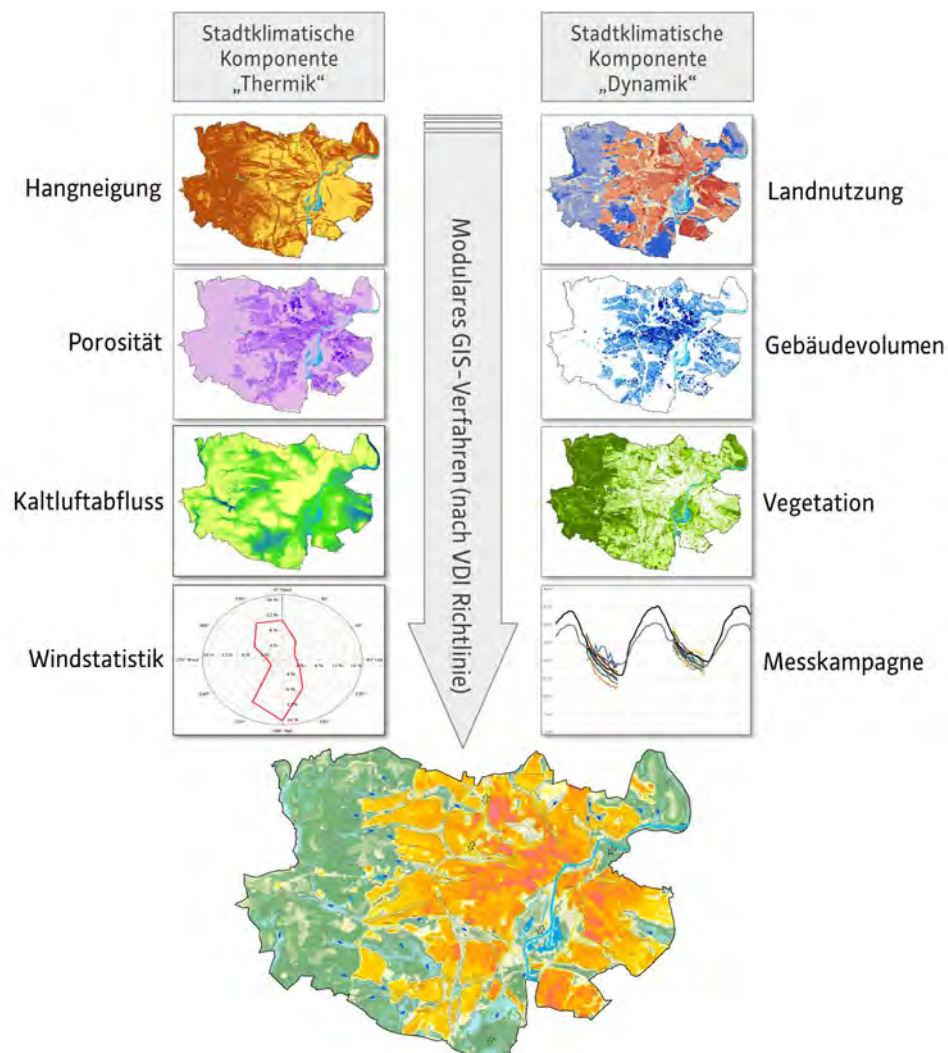


Abbildung 16: Schematische Darstellung der angewandten Methode.

Gebäudevolumen

- Herausarbeitung der gebäudeabhängigen Barrierewirkung und der daraus resultierenden Minderung des Belüftungspotentials auf Basis der Gebäudefläche und –höhe.
- Berechnung und Generalisierung des Volumens als Ausgangsprodukt für die dynamische Analyse.

Abflussbahnen und Abflussrichtungen

- Herausarbeitung der orografisch bedingten Schneisen, die in Abhängigkeit von der Relieftypisierung, der Gebäudevolumina und der Strukturtypisierung berechnet werden konnten und als ergänzender Faktor für die dynamische Analyse eingesetzt werden.

Nutzungstypisierung

- Herausarbeitung der thermischen Bedeutung unterschiedlicher Oberflächennutzungen und Zusammenfassung mikroklimatisch ähnlicher Nutzungen (z. B. potentiell kalte Luftentstehungsgebiet, potentiell überwärmtes Gebiet) auf Basis der Realnutzungskartierung, der Gebäudekartierung sowie der Luftbilder als wichtiges Ausgangsprodukt für die thermische Analyse.

Gebäudemasse

- Herausarbeitung der gebäudeabhängigen, thermischen Belastung durch die Wärmespeicherkapazität und Reflexion.
- Ableitung des physikalischen Verhaltens auf Grundlage der Gebäudekartierung (sowohl gesamtstädtisch als auch mikroklimatisch) als Ausgangsprodukt für die thermische Analyse.

Versiegelung der Oberflächen

- Herausarbeitung der versiegelten Bereiche und Generalisierung bestimmter Gebietstypen. Zweidimensionale Betrachtung auf Grundlage der Realnutzungskartierung, der Gebäudekartierung sowie der Nutzungsartflächen als Ausgangsprodukt der thermischen Analyse.

Funktionsanalyse

Die Analyse erfolgt zunächst zweigleisig, unterteilt nach dynamischen und thermischen Aspekten. Anschließend wird die gegenseitige Einflussnahme im Sinne einer Wirkungsanalyse untersucht und entsprechend eingearbeitet.

Dynamische Analyse

- Verknüpfung der dynamisch (und lufthygienisch) relevanten Erhebungsebenen untereinander (und damit Bestimmung z. B. der spezifischen Aktivität von Kalt-/Frischlufitentstehungsgebieten).

Thermische Analyse

- Verknüpfung der thermischen (und lufthygienischen) Nutzungseigenschaften untereinander sowie mit den dynamischen Einflussfaktoren des Reliefs und der Strömungsstruktur (Bestimmung z. B. des Auftretens von Kaltluftseen und des Abkühlungseinflusses auf Überwärmungsbereiche).

Funktionssynthese

- Klimafunktionskarten stellen die Verknüpfung der dynamischen und thermischen Themenebenen in Bezug auf klimaökologische Potentiale, Defizite und Funktionen dar und symbolisieren damit eine idealtypische Wiedergabe der real existierenden flächenbezogenen, klimaökologischen Situation als Ausgangsbasis für die klimaökologische Bewertung.

Bewertung von Einzelaspekten/-kriterien

- Auf Basis der Funktionsanalyse bzw. der Klimafunktionskarte sowie unter der Annahme von planerischen Fragestellungen der Bauleitplanung erfolgt eine Bewertung sowohl der klimaökologischen Potentiale als auch der Defizitbereiche.
- Hierzu werden insgesamt sechs einzelne Bewertungskriterien herangezogen, separat betrachtet und bewertet. Diese dienen als Ausgangsbasis für die zusammenfassende Gesamtbewertung.

4.1.3.2 Gebäudevolumen

Um sowohl die Speicherkapazität der eintreffenden Wärmestrahlungen als auch die Barrierewirkung der Bauwerke zu berücksichtigen, wurde die Themenkarte „Gebäudevolumen“ angefertigt.

Eingangsdaten: Blockmodell

Bearbeitung: Nachdem das Blockmodell (Gebäude mit berechneten Gebäudehöhen, siehe Abbildung 16) angefertigt wurde, konnte das mittlere Gebäudevolumen der Stadt Kassel berechnet werden.

Hierbei wurde auf Basis eines Datensatzes mit 10 Meter horizontaler Auflösung je eine Höhe, berechnet aus einer fließenden Gebäudehöhe der Nachbarschaft, zugeordnet, um den daraus resultierenden, dreidimensionalen Raum zu erfassen.

Um im stadtklimatischen Maßstab diese Informationen weiterverarbeiten zu können, wurden die Ergebnisse auf eine 25 Meter-Auflösung aggregiert (s. Themenkarte „Gebäudevolumen“, Abb. 17). Diese Informationen fließen hauptsächlich in die Betrachtung der Wärmespeicherung ein, teilweise werden Parameter von der dynamischen Berechnung der Bodenrauigkeit genutzt.



Abbildung 17: Blockmodell Stadt Kassel (Ausschnitt).

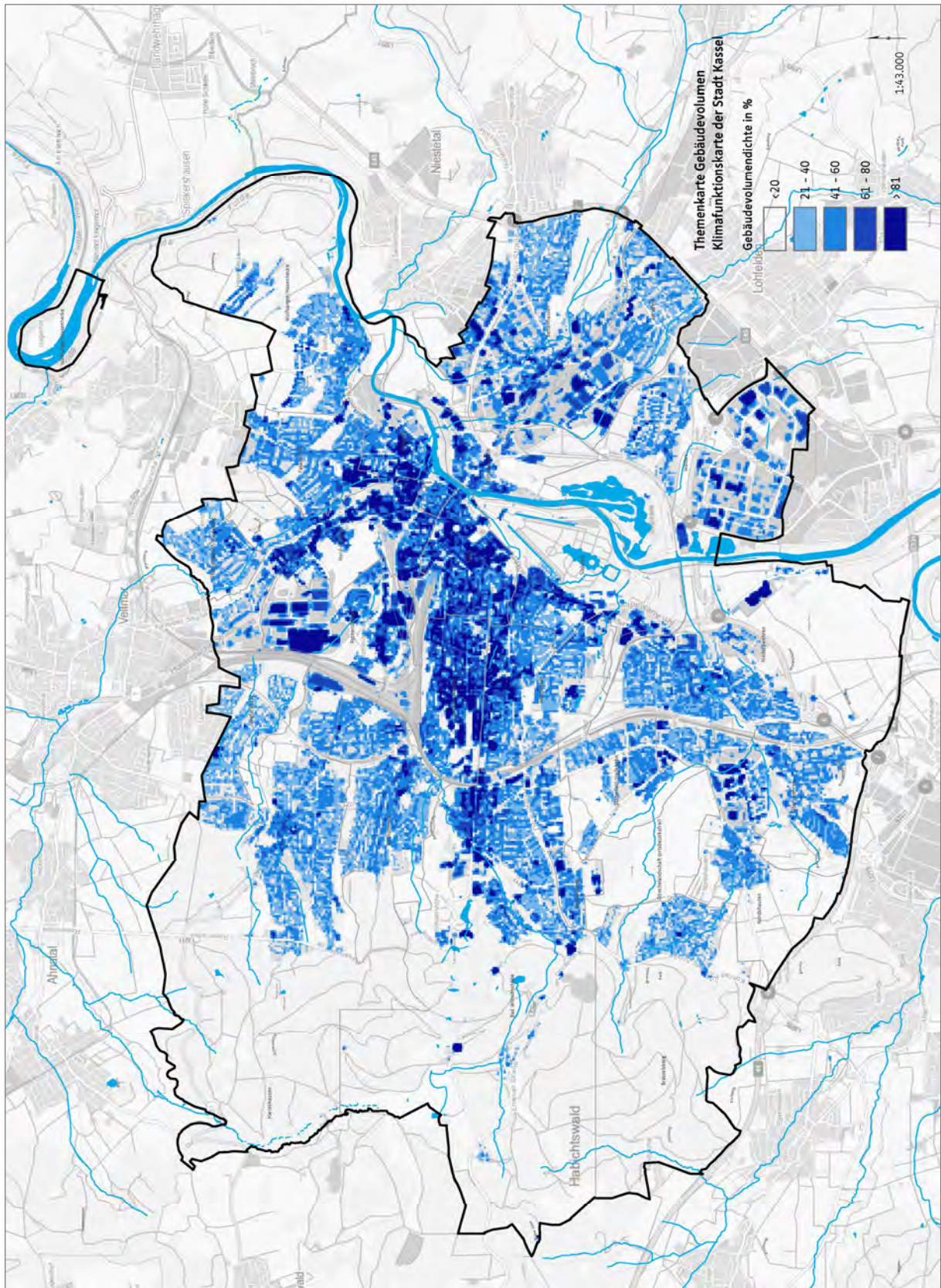


Abbildung 18: Themenkarte „Gebäudevolumendichte“, ohne Maßstab.

4.1.3.3 Kaltluftmodellierung mit KLAM_21

KLAM_21 ist ein zweidimensionales, mathematisch-physikalisches Simulationsmodell des Deutschen Wetterdienstes zur Berechnung von Kaltluftflüssen und -ansammlungen in orographisch gegliedertem Gelände. Als Ergebnis erhält man die flächenhafte Verteilung der Kaltlufthöhe und ihrer mittleren Fließgeschwindigkeit oder der Volumenströme zu beliebig abgreifbaren Simulationszeitpunkten.

Für die Klimaanalyse der Stadt Kassel wurde eine sehr feine horizontale Auflösung von 10 Meter je Gitterzelle gewählt, um möglichst genaue Aussagen zu den teilweise sehr kleinräumigen klimatischen Wechselwirkungen der kaltluftproduzierenden Flächen treffen zu können.

In Abbildung 18 sind die Ergebnisse 120 Minuten nach Sonnenuntergang abgebildet.

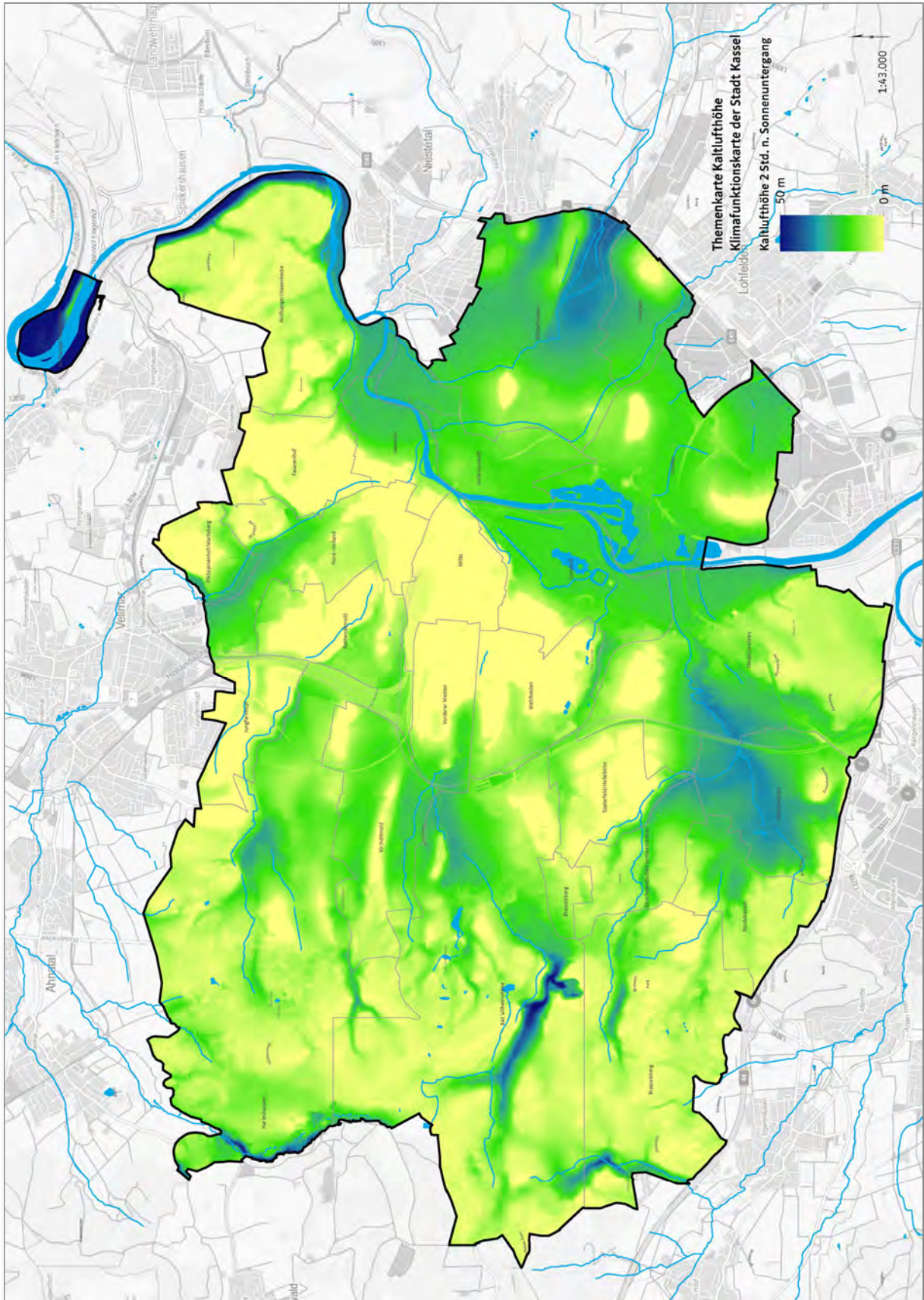


Abbildung 19: Kaltluflhöhe berechnet mit dem Kaltluftmodell des Deutschen Wetterdienstes KLAM_21, ohne Maßstab.

4.1.3.4 Städtische Rauigkeit

Zur Berechnung der Belüftungspotentiale der Stadt Kassel wird auf das mesoklimatisch validierte Prinzip der Frontal Area Analyse (Unger 2009; Burghardt 2015) zurückgegriffen (Abb. 19). Durch die Erfassung unterschiedlicher Rauigkeitsparameter (Z_0 = Rauigkeitslängen; Z_d = Nullpunktverschiebung; Ph_var = städtische Porosität) und deren abschließende Verschneidung können die in der Klimafunktionskarte dargestellten Luftleitbahnen sowie Durchlüftungspotentiale dargestellt werden.

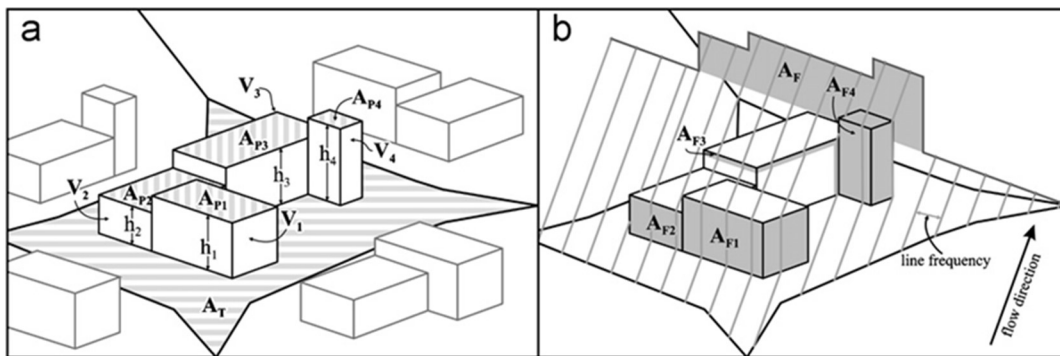


Abbildung 20: Darstellung der Frontal Area Variablen (Unger, 2009)

Die Herleitung der drei oben genannten Rauigkeitsparameter erfolgt durch Ermittlung unterschiedlicher morphologischer Parameter, wobei die Rauigkeitsparameter Z_0 , Z_d und Ph_var in kausaler Abhängigkeit zu den morphologischen Parametern stehen.

Die Rauigkeitslängen Z_0 werden in Meter angegeben und beziehen sich immer auf ein Patch (Fläche, innerhalb derer jeder Punkt näher zum assoziierten Gebäude liegt als zu umliegenden Gebäuden), welches ein Gebäude bzw. eine Gebäudegruppe von benachbarten Einzelgebäuden oder Gruppen abgrenzt. Gebäudegruppen liegen vor, wenn der Abstand der Gebäude zueinander < 3 m ist. Durch die Relation vom Patch zu den darauf befindlichen Gebäuden können für unterschiedliche Windrichtungen die Rauigkeitslängen Z_0 für jedes einzelne im Stadtgebiet befindliche Patch berechnet werden. Für die Analyse der Stadt Kassel wurde eine Berechnung entsprechend der Windrichtungen aus Süden sowie aus Westen kommend erstellt. Durch die Berücksichtigung beider Windrichtungen (Süd und West) konnte in der Berechnung auch die in Kassel vorherrschende Hauptwindrichtung Süd-Südwest automatisch inkludiert werden.

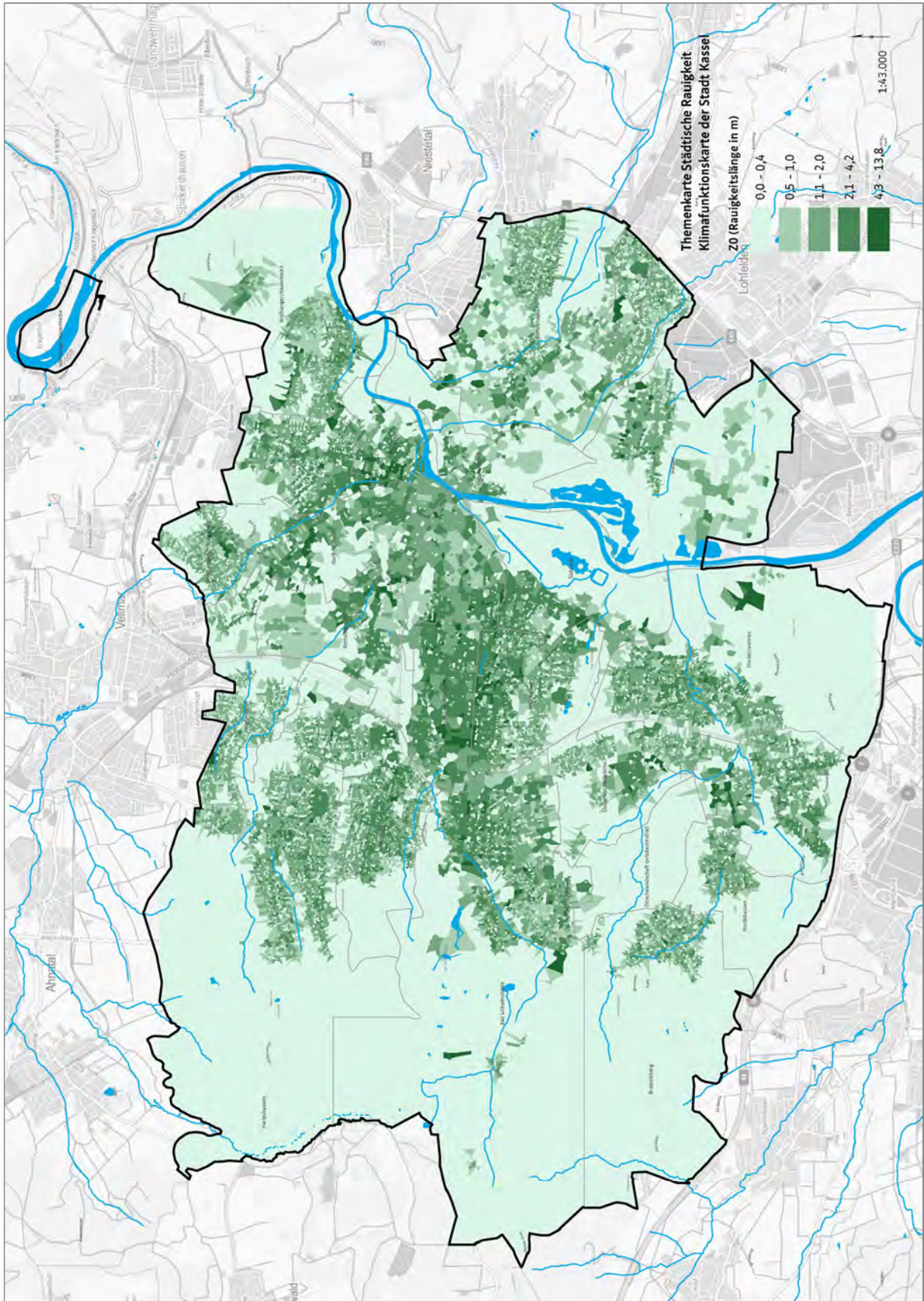


Abbildung 21: Themenkarte „Städtische Rauigkeit“, ohne Maßstab.

4.1.3.5 Städtische Porosität

Die städtische Porosität beschreibt den Zustand des offenen dreidimensionalen Raums im Verhältnis zum bebauten Volumen. Die städtische Porosität (Ph_{var}) wird parallel zu den Rauigkeitslängen und der Nullpunktverschiebung berechnet und basiert auf dem Ansatz der „Frontal Area“. Für die Berechnung der Porosität ist die vorherrschende Windrichtung nicht von Relevanz, da hierbei der dreidimensionale Raum und die in ihm enthaltenen Baumassen untersucht werden.

Ergänzend zu den dynamischen Faktoren Z_0 und Z_d , welche eine direkte Aussage über die Rauigkeit bzw. den Reibungsverlust treffen, zeigt die urbane Porosität (Ph_{var}) das Potential einer möglichen Durchlüftung an. Damit ist Ph_{var} alleinstehend von größerer planerischer Relevanz als die einzelnen Rauigkeitsparameter Z_0 und Z_d . Die Einteilung der städtischen Porosität geschieht im Wertemaßstab von 0 bis 1, wobei 1 die höchste Porosität und 0 die niedrigste Porosität des dreidimensionalen Raums darstellt. Umso höher der Wert, desto geringer ist der Windwiderstand des jeweiligen dreidimensionalen Patches.

Über die städtische Porosität können klare Planungshinweise abgeleitet werden. Durch die Erfassung mehrerer Patches mit einer hohen Porosität können Durchlüftungspotentiale definiert werden, wie sie in der Klimafunktionskarte dargestellt werden. Zusätzlich können die Informationen der Karte dafür herangezogen werden, Potentiale und Möglichkeiten zur Schaffung einer besseren Durchlüftung in der Stadtentwicklung zu berücksichtigen.

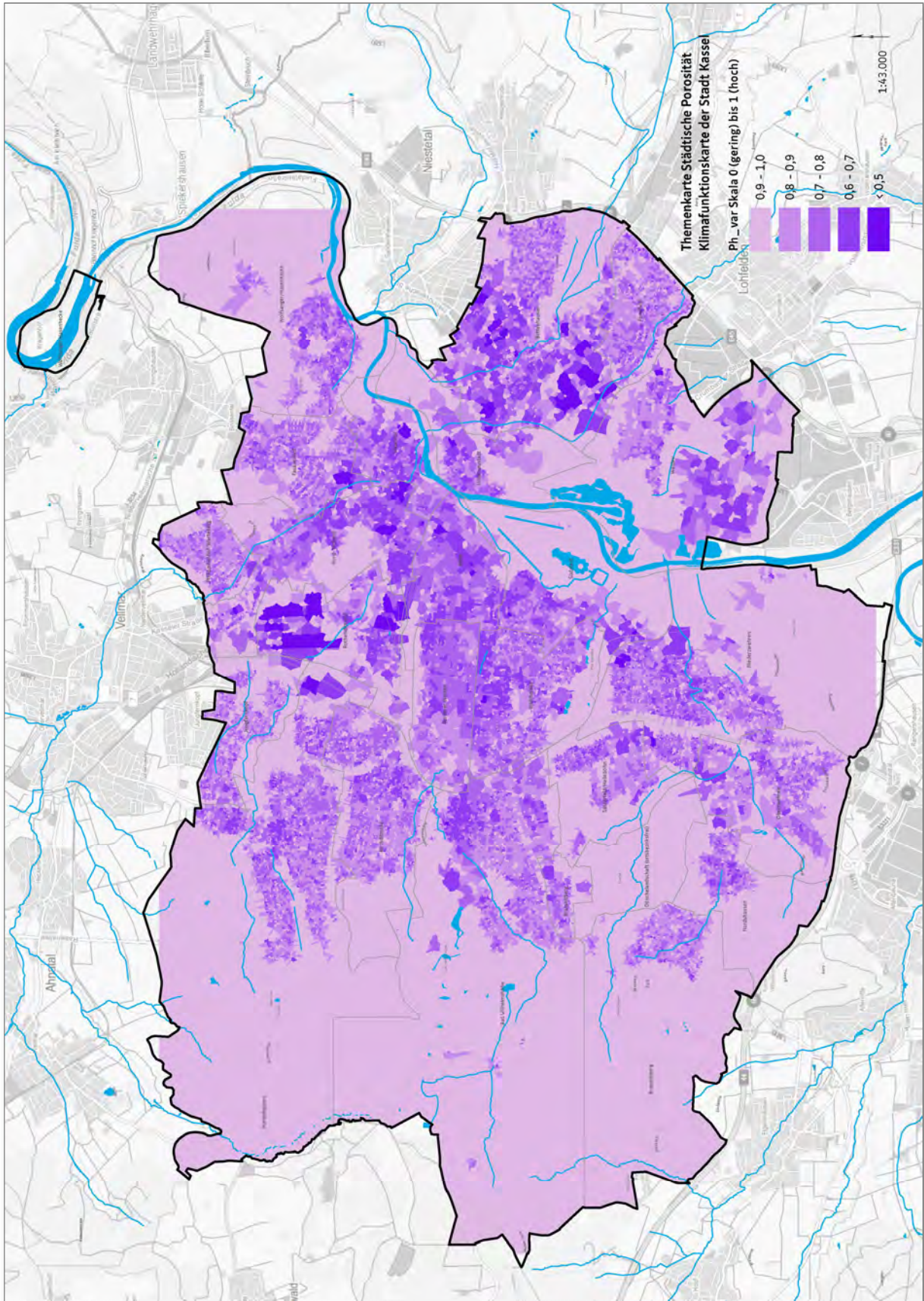


Abbildung 22: Themenkarte „Städtische Porosität“, ohne Maßstab.

4.1.3.6 Hangneigung

Physikalisch bedingt „fließt“ kalte Luft aufgrund ihrer höheren Dichte und ihres höheren Gewichts im Vergleich zu wärmerer Luft der Topografie folgend hangabwärts. Aus diesem Grund ist es aus stadtklimatischer Sicht bedeutend, Informationen der Geländeneigung/ Hanglagen mit in das Datenmodell integrieren zu können.

Auf Basis des DGM konnte das gesamte Gebiet auf die Geländeneigung hin untersucht werden. Dargestellt sind bestimmte Kategorien der Hangneigung, wobei kleinräumige Vorkommen unterhalb des stadtklimatischen Maßstabes durch die Generalisierung/Aggregation in diesem Modellschritt nicht berücksichtigt wurden. Deutlich treten allerdings die großräumigen Hänge mit entsprechend hohem Gefälle im westlichen Bereich der Stadt Kassel hervor (Habichtswald) (siehe Abbildung 22).

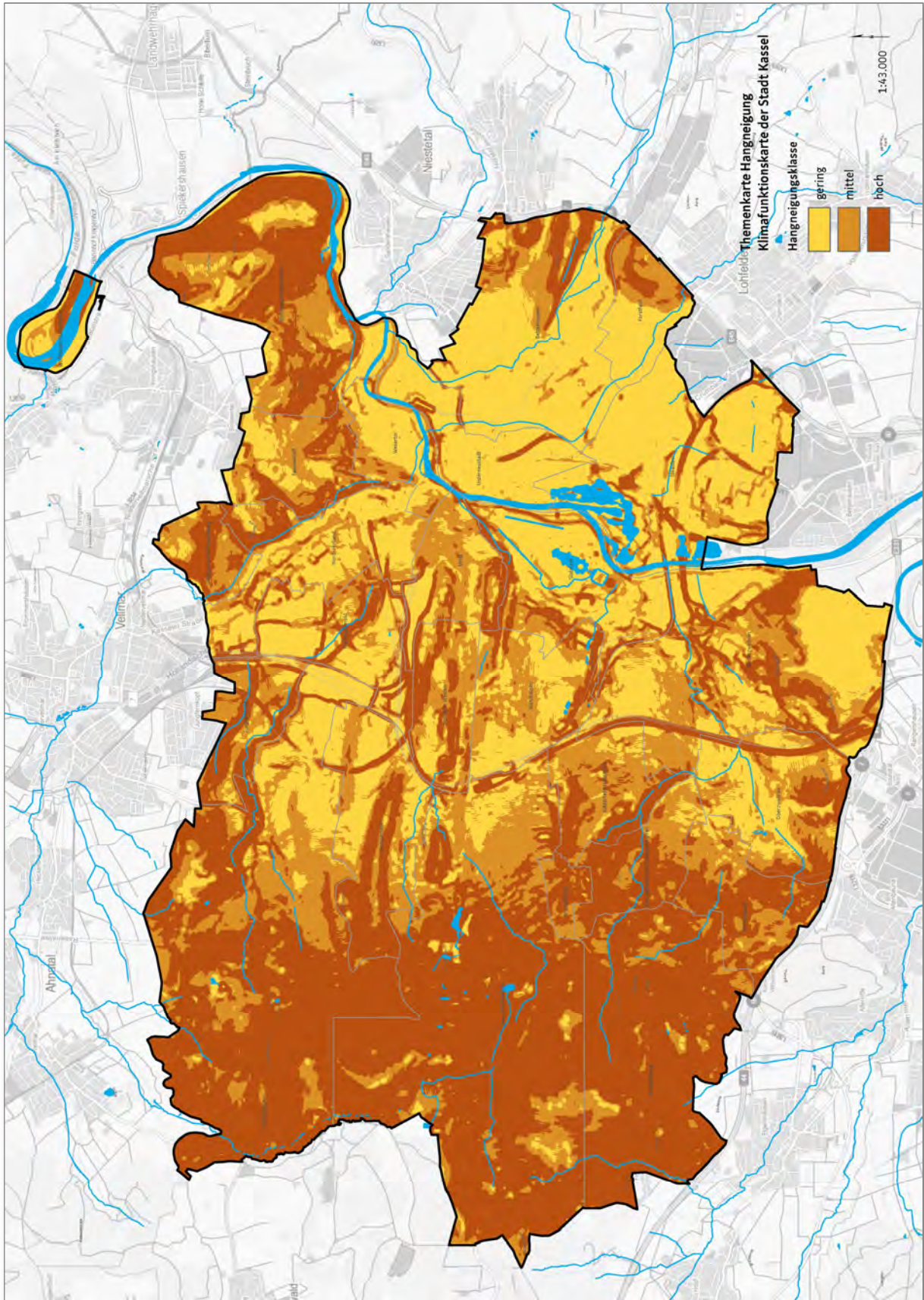


Abbildung 23: Themenkarte „Hangneigung“, ohne Maßstab.

4.1.3.7 Vegetationsbedeckung

Vegetation ist aus unterschiedlichen Gründen im städtischen Raum von hoher klimatischer Relevanz. Zum einen ist Vegetation durch ihre sehr positive lufthygienische Funktion als Filterungselement sowie zur Produktion von Frischluft bekannt. Zum anderen bedeutet ein höherer Vegetationsanteil auch eine erweiterte Retentionsfähigkeit des Gebietes, wodurch es verstärkt zu Verdunstungskühle durch andauernde Evapotranspiration kommen kann.

Grundlage der Vegetationserfassung für den Raum Kassel ist die vorhandene Realnutzungskartierung. Da bei der Landnutzungskartierung jedoch private Vegetationsstrukturen sowie öffentliche Solitärgehölze (z.B. Straßenbäume) nicht erfasst werden, ist die Ergänzung mit zusätzlichen Vegetationsinformationen notwendig, um ein realistisches Bild der Vegetationsbedeckung geben zu können. Diese Ergänzung geschieht durch Analyse unterschiedlicher Satelliten- und Luftbilder. Der Komplex setzt sich aus der Infrarot- (NDVI) sowie der Echtfarben-Bildanalyse (sichtbares Licht) zusammen. Für die NDVI-Analyse wurden aktuelle Satellitendaten des Programms „Sentinel 2“ mit einer räumlichen Auflösung von 10 m genutzt. Das Ergebnis der NDVI-Analyse basiert auf einer Verschneidung dreier Momentaufnahmen aus der zweiten Jahreshälfte 2015 (Juli, August, September). Um ergänzend auch kleinere Vegetationsstrukturen erfassen zu können, welche besonders oft unzusammenhängend im städtischen Raum vorkommen, wurde eine 3-Band Luftbildanalyse (Echtfarben-Luftbild) auf Basis einer 0,5 m Auflösung durchgeführt. Die hierfür genutzten Luftbilder entstammen der Luftbildbefliegung der Stadt Kassel aus dem Jahr 2015 (Mai), sowie extrahierten Luftbildern der Onlineportale GoogleEarth und Bing-Maps. Die visuelle Analyse geschah GIS-gestützt unter Zuhilfenahme eines angepassten „Image Classification Toolsets“. Hierbei handelt es sich um eine ArcGis Funktion zur Erfassung unterschiedlicher Farbtypen anhand einer zuvor erstellten Farbsignierungsdatei. Durch die Nutzung grob aufgelöster Infrarot- mit hoch aufgelösten 3-Band Luftbildaufnahmen wird eine flächendeckende Kartierung nahezu aller vorhandenen Vegetations-strukturen ermöglicht.

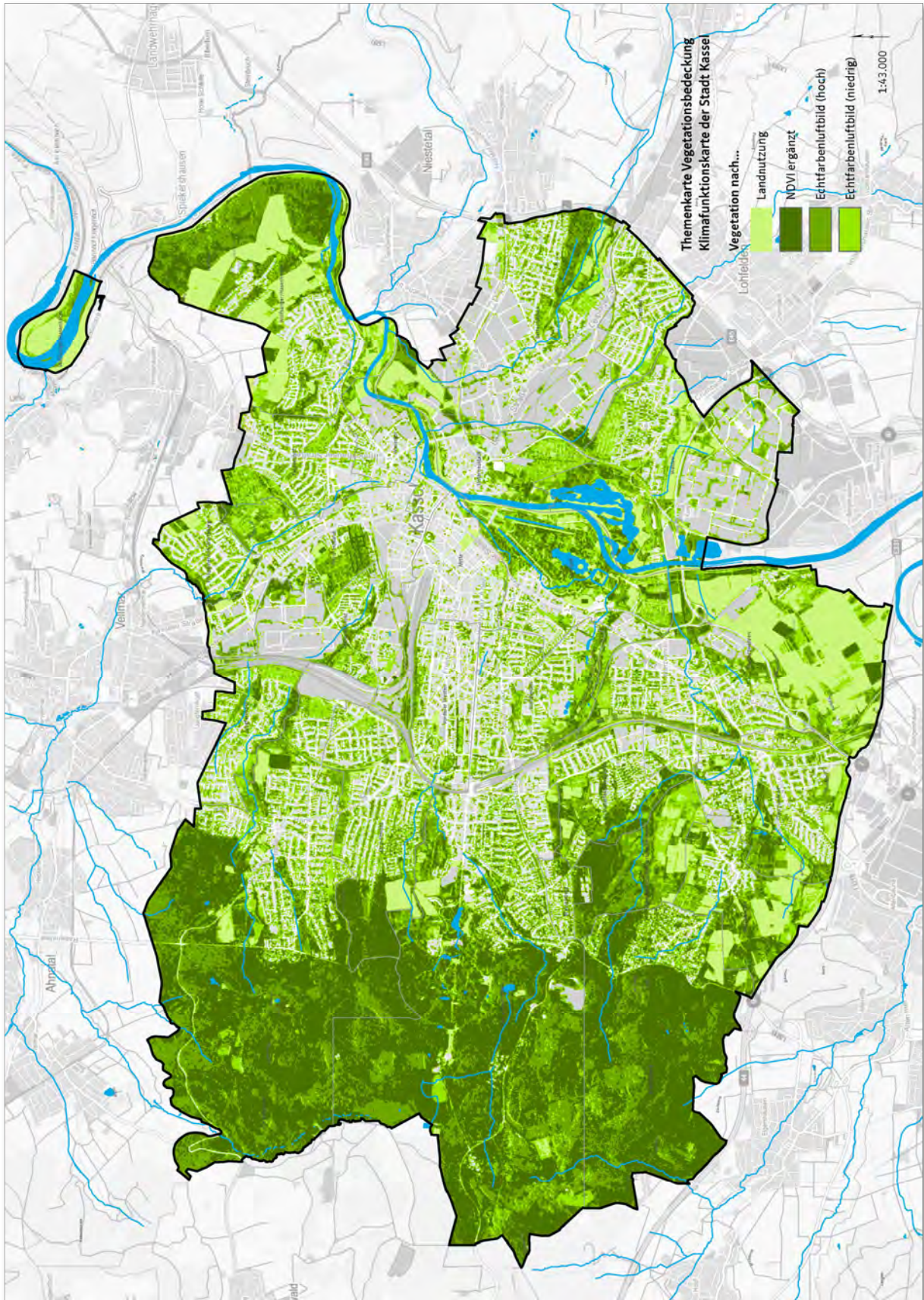


Abbildung 24: Themenkarte „Vegetationsbedeckung“, ohne Maßstab.

4.1.3.8 Legende der Klimafunktionskarte

Die Legende der Klimafunktionskarte (Abb. 24) beschreibt sowohl die thermische (Farbkodierung), als auch die dynamische (Schraffur und Symbolik) Komponente des Stadtklimas in Kassel.



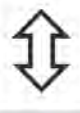


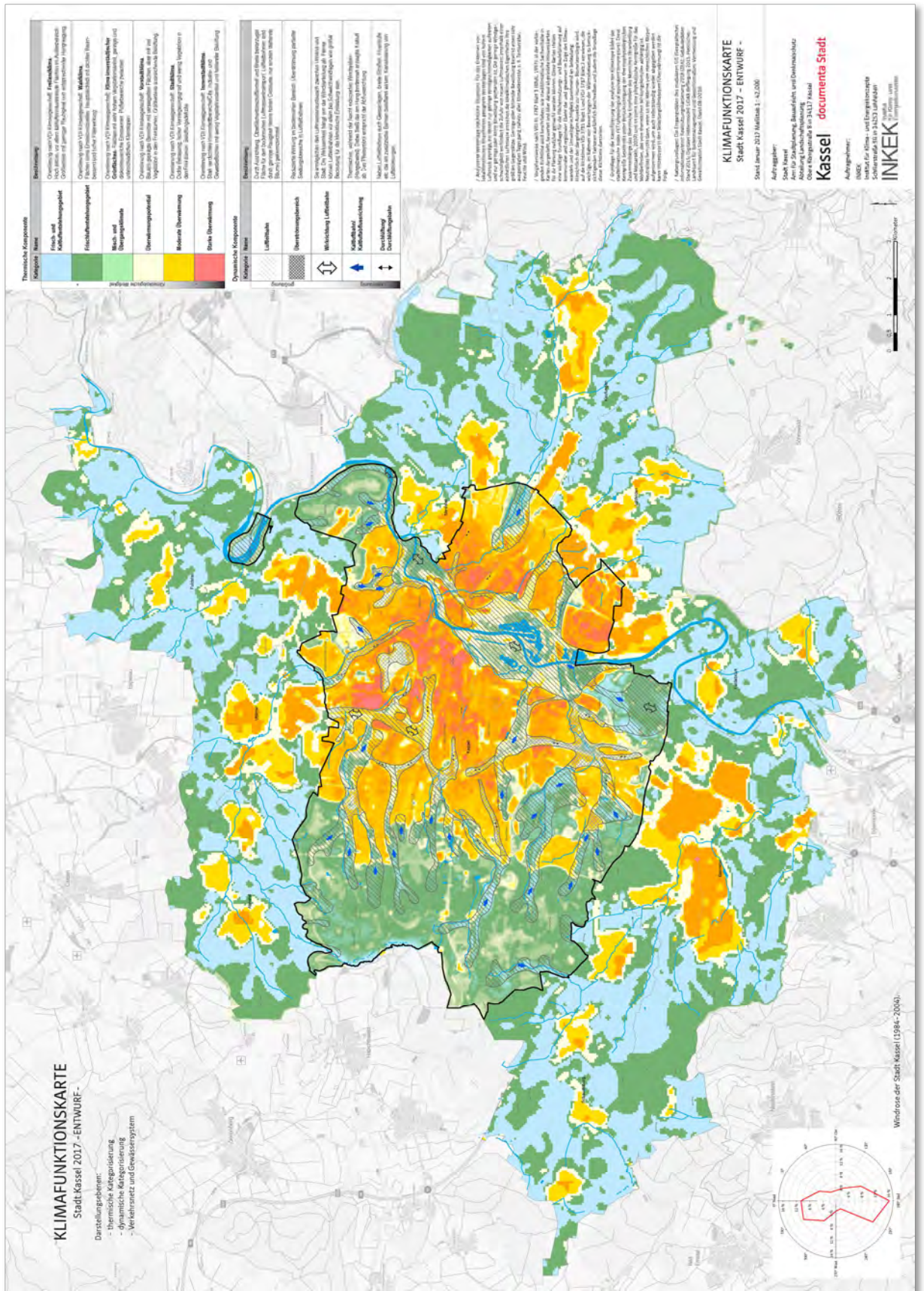
Thermische Komponente				
	Kategorie	Name	Beschreibung	
Klimakologische Wertigkeit	+	Frisch- und Kaltluftentstehungsgebiet	Orientierung nach VDI Klimaeigenschaft: Freilandklima . Hoch aktive, vor allem kaltluftproduzierende Flächen im Außenbereich; Größtenteils mit geringer Rauigkeit und entsprechender Hangneigung.	
		Frischluftentstehungsgebiet	Orientierung nach VDI Klimaeigenschaft: Waldklima . Flächen ohne Emissionsquellen; Hauptsächlich mit dichten Baumbestand und hoher Filterwirkung.	
	Misch- und Übergangsklimate	Orientierung nach VDI Klimaeigenschaft: Klima innerstädtischer Grünflächen . Flächen mit sehr hohem Vegetationsanteil, geringe und diskontinuierliche Emissionen; Pufferbereiche zwischen unterschiedlichen Klimatopen.		
	Überwärmungspotential	Orientierung nach VDI Klimaeigenschaft: Vorstadtklima . Baulich geprägte Bereiche mit versiegelten Flächen, aber mit viel Vegetation in den Freiräumen; Größtenteils ausreichende Belüftung.		
	-	Moderate Überwärmung	Orientierung nach VDI Klimaeigenschaft: Stadtklima . Dichte Bebauung, hoher Versiegelungsgrad und wenig Vegetation in den Freiräumen; Belüftungsdefizite.	
		Starke Überwärmung	Orientierung nach VDI Klimaeigenschaft: Innenstadtklima . Stark verdichtete Innenstadtbereiche/City, Industrie- und Gewerbeflächen mit wenig Vegetationsanteil und fehlender Belüftung.	
Dynamische Komponente				
	Kategorie	Name	Beschreibung	
großräumig			Luftleitbahn	Durch Ausrichtung, Oberflächenbeschaffenheit und Breite bevorzugte Fläche für den bodennahen Luftmassentransport. Luftleitbahnen sind durch geringe Rauigkeit (keine hohen Gebäude, nur einzeln stehende Bäume) gekennzeichnet.
			Überströmungsbereich	Reduzierte Wirkung im bodennahen Bereich; Überströmung partieller Siedlungsbereiche in Luftleitbahnen.
			Wirkrichtung Luftleitbahn	Sie ermöglichen den Luftmassenaustausch zwischen Umland und Stadt. Die Wirksamkeit hängt von der Windverteilung ab. Ferner können Luftleitbahnen vor allem bei Schwachwindlagen von großer Bedeutung für die klimatische Entlastung sein.
kleinräumig			Kaltluftbahn/ Kaltluftabflussrichtung	Thermisches, während der Nacht induziertes Windsystem (Hangabwind). Dabei fließt die am Hang bodennah erzeugte Kaltluft ab. Das Pfeilsymbol entspricht der Abflussrichtung.
			Durchlüftung/ Durchlüftungsbahn	Neben Luftleitbahnen auch Gleisanlagen, breite Straßen, Flussläufe etc. die als zusätzliche Bahnen belüftend wirken. Kanalisierung von Luftströmungen.

Abbildung 25: Legende der Klimafunktionskarte der Stadt Kassel.

4.1.3.9 Klimafunktionskarte der Stadt Kassel



4.1.4 Fazit Bestandsaufnahme

Die umfassende Bestandsaufnahme der klimatischen Bedingungen in Kassel haben zum einen deutlich bewiesen, dass eine sehr starke Abhängigkeit der klimatischen Wechselwirkungen mit dem Umland bzw. im Kasseler Becken herrscht. Aus diesem Grund wurden die Analysen stets anhand der „Klimaräume“ und nicht zwingend innerhalb der administrativen Grenzen Kassels getätigt. Zum anderen stellte sich bei den Untersuchungen heraus, dass sowohl in der Gegenwart als auch in der nahen und mittleren Zukunft vor allem zwei Themenfelder in Kassel besonders relevant sind.

Bedingt durch die Kessellage ist das Stadtgebiet Kassel geprägt von einer natürlichen Reduzierung der Windgeschwindigkeit im Vergleich zum Umland, was durch die Bebauungsstruktur noch weiter verschärft wird. Dies führt bei sommerlichen Hochdruckwetterlagen zu Hitzeproblemen und bei winterlichen Hochdruckwetterlagen zu lufthygienischen Beeinträchtigungen.

Neben der Überwärmung muss die Klimaanpassung die Bereiche Extremniederschläge thematisieren. Folgen wie Hochwasser und Überflutungen werden schon seit langer Zeit verzeichnet und entsprechende Handlungen sind erforderlich und werden intensiv umgesetzt.

4.2 Betroffenheiten

Unterschiedliche Wetterereignisse haben Auswirkungen auf verschiedene kommunale Handlungsfelder. Deshalb gilt es zu prüfen, in wieweit die städtischen Handlungsfelder durch die Auswirkungen des prognostizierten Klimawandels betroffen sind.

Als Grundlage wird hierzu die hessische Anpassungsstrategie aus dem Jahr 2012 (HMUELV 2012) herangezogen, für Hessen wurden folgende Handlungsfelder als wichtig identifiziert:

- Atmosphäre und Luftqualität
- Bauwesen
- Boden
- Energiewirtschaft
- Finanzwirtschaft
- Gesundheit
- Industrie und Gewerbe
- Landwirtschaft
- Naturschutz und biologische Vielfalt
- Verkehr und Mobilität
- Wald und Forstwirtschaft
- Wasserwirtschaft

Klima und der Klimawandel stellen globale Phänomene dar, somit sind deren Auswirkungen an jedem Ort der Erde zu finden. Daraus resultiert, dass sämtliche Handlungsfelder als betroffen anzusehen sind. Jedoch sind die Betroffenheiten auch lokal zu bewerten, da sie in unterschiedlicher Intensität auftreten.

Ausgehend von den unter 4.1 zusammengestellten klimatischen Veränderungen, die schon heute und in den nächsten Dekaden im Kasseler Becken zu erwarten sind, und den beiden analysierten Themenfeldern „Hitze“ und „Starkregen“, werden die Handlungsfelder mit daraus resultierenden besonderen Herausforderungen zusammengestellt, um eine zielgerichtete und umsetzungsorientierte Strategie bereitzustellen.

Zusammengefasst werden die Bereiche

- Stadtentwicklung und Bauleitplanung
- Grünflächen- und Freiraumgestaltung
- Gesundheitsvorsorge und Information

genannt.

Hierzu wurden im Rahmen der Kasseler Planungsgespräche (am 27.04.2016 und 19.04.2017) des Dezernats VI (Dezernat für Verkehr, Umwelt, Stadtentwicklung und Bauen) interdisziplinäre Gespräche und Diskussionsplattformen geschaffen, die relevante städtische Akteure zusammenbrachten. Neben diesem Diskussionsforum wurden, bezogen auf die besonders betroffenen

Bereiche, Einzelanalysen mit den betroffenen Ämtern, Betrieben und Verbänden durchgeführt (Detailliertere Angaben hierzu im Kapitel 4.4 ‚Akteursbeteiligung‘).

Intensiver Austausch bestand dabei mit der Stadtentwicklung und Bauleitplanung (hier: Amt für Landschaftsplanung, Hochbau, Geoinformation), aber auch mit dem Zweckverband Raum Kassel als Zusammenschluss der Umlandgemeinden mit direkten klimatischen Wechselwirkungen. Die Bereiche Grünflächen- und Freiraumgestaltung konnten durch Kontakte zum Umweltamt und zu KASSELWASSER gut abgedeckt werden. Parallel dazu konnte KASSELWASSER den Bereich der Vorsorge (Hochwasserrisiko und Überflutungsvorsorge) unterstützen, das Gesundheitsamt stellte Informationen zur menschlichen Gesundheit bereit und die Berufsfeuerwehr der Stadt Kassel konnte einen allgemeinen Überblick der Vorsorge darstellen.

Ausgehend von den Betroffenheiten können folgende Zusammenhänge dargestellt werden, die anschließend näher erläutert werden:

<i>Wetterereignis/ Klima</i>	<i>Stadtentwicklung und Bauleitplanung</i>	<i>Grünflächen- und Freiraumgestaltung</i>	<i>Gesundheitsvorsorge und Information</i>
<i>Belüftung</i>	••	•	•
<i>Hitze</i>	••	••	••
<i>Hochwasser</i>	••	••	•

Tabelle 5: Herausarbeitung der kommunalen Handlungsfelder der Stadt Kassel in Bezug auf Klimaveränderung.

Stadtentwicklung und Bauleitplanung

Mögliches, allgemeines Handeln:

- Festsetzung von Belastungsschwerpunkten,
- Festsetzungen zur Klimaanpassung in Bebauungsplänen,
- Kühlende Gestaltungselemente im Freiraumnetz,
- Anpassungsmaßnahmen an Gebäuden, Dach- und Fassadenbegrünung,
- Festsetzung von Belüftungsachsen.

Grünflächen- und Freiraumgestaltung

Mögliches, allgemeines Handeln:

- Neuanlage von öffentlichen Grünflächen,
- Optimierung der Kühleffekte von Grünflächen,
- Anpassung von Pflanzenauswahl und Grünflächenpflege,
- Anpflanzung/Erhaltung von Bäumen im Straßenraum und auf Parkplätzen, Straßenbegleitgrün,
- Rückhaltung, Versickerung und Bewirtschaftung von Regenwasser.

Gesundheitsvorsorge und Information

Mögliches, allgemeines Handeln:

- Verbesserung der Freiraumvernetzung,
- Gestaltung privater Freiflächen (Gärten, Hofbereiche),
- Informations- und Kommunikationsangebote.

4.3 Kommunale Gesamtstrategie

Anhand der analysierten Themenfelder „Hitze“ und „Starkregen“ und der damit kausal zusammenhängenden betroffenen Handlungsfelder ergibt sich die Fragestellung nach einer geeigneten Gesamtstrategie, um die Stadt Kassel im Sinne einer klimabewussten Entwicklung zu unterstützen. Dabei spielt der Erhalt der in Kassel vorhandenen Grünzüge und Achsen eine wichtige Rolle. Die bestehenden klimatischen Problembereiche sollen nachhaltig verbessert/aufgewertet, bestehende klimaökologische Potentiale weiter gesichert und weiter ausgebaut/vernetzt und zukünftige extreme Klimatrends im Zuge des prognostizierten Klimawandels abgemildert werden.

Allerdings zeigen die beiden Themenfelder eine hohe räumliche Variabilität. Das bedeutet, dass die Problemgebiete sowohl der Überwärmung (Hitze) als auch des Starkregens (Hochwasser und hier vor allem Überflutungen) nicht an jedem Ort innerhalb der Stadtgrenze gleichermaßen zu finden sind. Die Vulnerabilität des Stadtgebietes ist somit sehr heterogen, dies schließt eine flächendeckende Maßnahmenkampagne „von oben herab“ aus, da diese nicht zielführend leisten kann. Vielmehr sind in Abhängigkeit der vielseitigen Klimafunktionen im Kasseler Becken räumliche Verortungen von Anpassungsmaßnahmen und Planungsempfehlungen sinnvoll, die im lokalen Maßstab in der Wirksamkeit entwickelt werden und dann in generalisierter Form auf die Gesamtstadt übertragen werden (können).

Strategie Grün und Belüftung

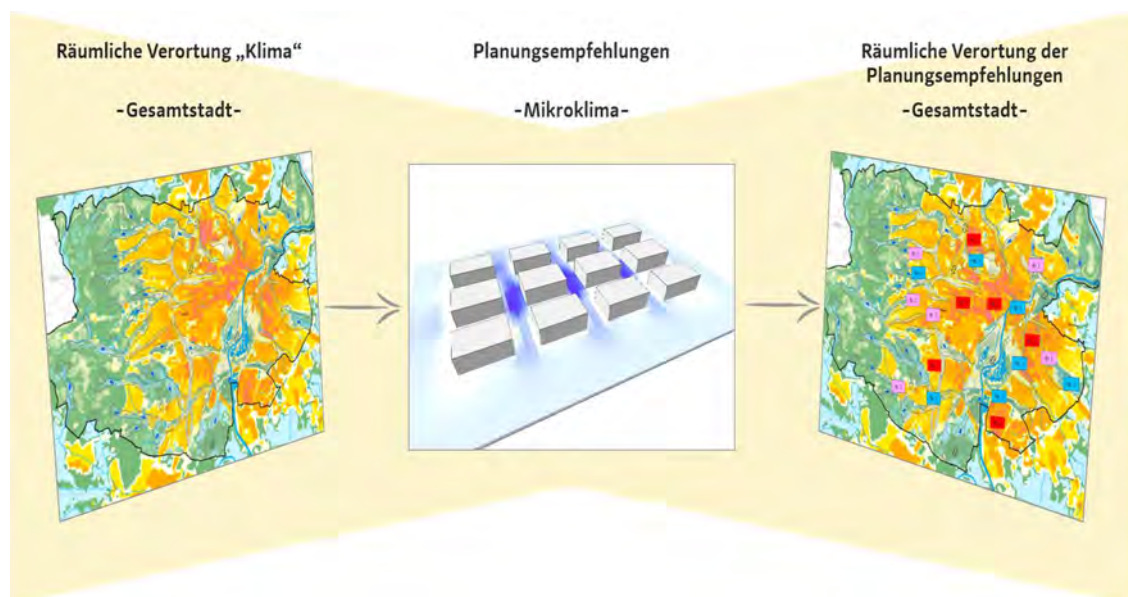


Abbildung 27: Schematische Darstellung der Kasseler Gesamtstrategie.

4.3.1 Klimaanpassung in urbanen Räumen

Themenfeld 1: Hitze (thermische) Entlastung durch:

- Erhöhung des städtischen Freiflächenanteils (Begrünung, Entsiegelung),
- Erhalt und Schaffung von Frischluftentstehungsgebieten und Luftleitbahnen,
- Schaffung offener Wasserflächen an geeigneten Stellen,
- Optimierung der Gebäudeausrichtung und Beschattung relevanter Flächen,
- Bewässerung urbaner Vegetation, Bepflanzung mit geeigneten Pflanzenarten,
- (helle) Verkehrsflächen mit geringer Wärmeleit- und Speicherfähigkeit,
- Einsatz technischer Möglichkeiten (z.B. Photovoltaikdächer) zur Beschattung.

Themenfeld 2: Schutz vor den Auswirkungen von Starkregenereignissen durch:

- Schaffung von Versickerungs- und Retentionsflächen (Notwasserwege),
- Entsiegelung von großflächigen Parkplätzen und städtischen Bereichen,
- Optimierung der Gebäudeausrichtung
- Baumpflanzungen zur Reduzierung der Abflussspitzen.

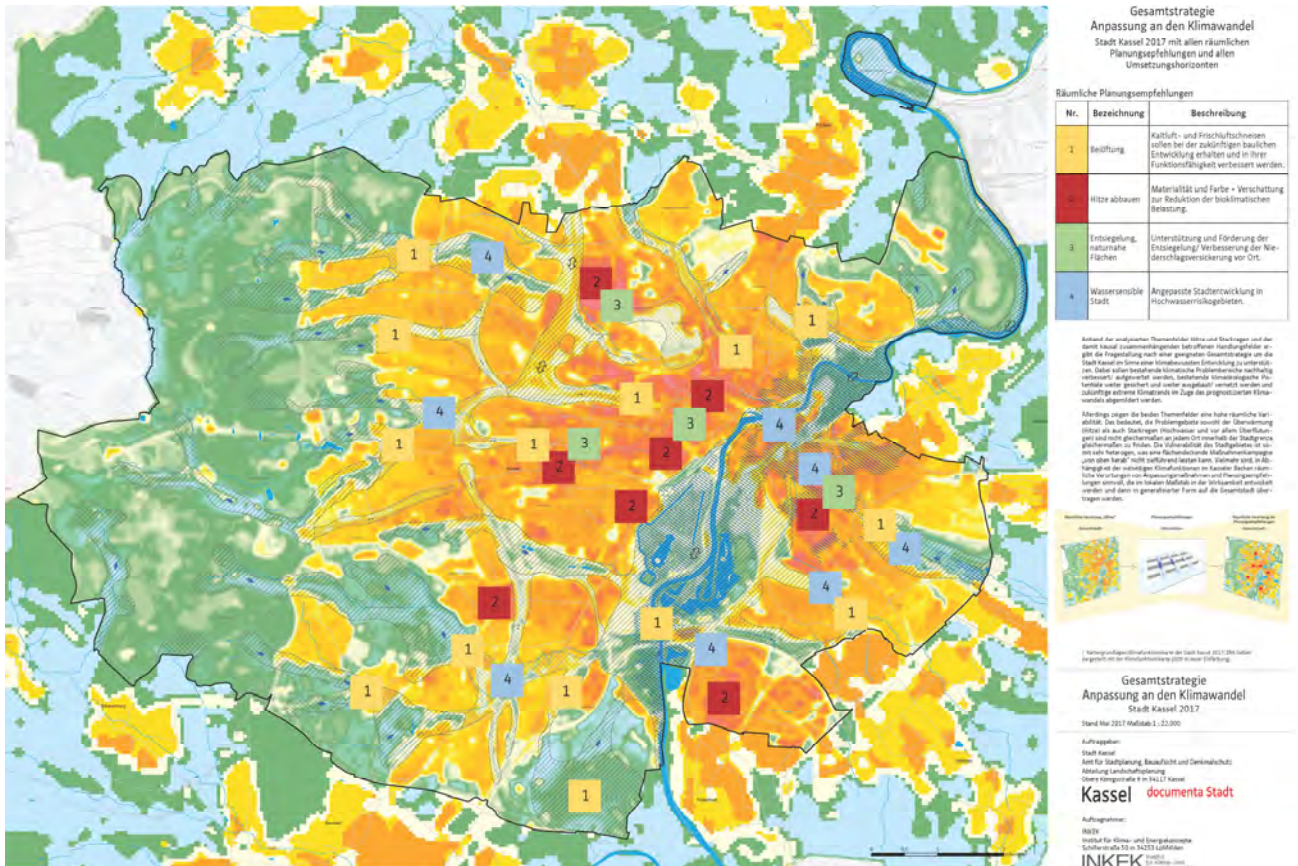


Abbildung 28: Zielgeführte Verortung der räumlichen Planungsempfehlungen (Original in Anhang II).

4.3.2 Umsetzungshorizont/ Priorisierung

Der Umsetzungshorizont der Bestandteile des Maßnahmenkatalogs erfolgt in Abhängigkeit der Handlungserfordernisse. Dabei werden beide Kategorien („Räumliche Planungsempfehlungen“ und „Maßnahmen“) auf ihre Empfindlichkeit gegenüber den Klimatrends in zwei Umsetzungshorizonte unterteilt. Durch dieses Vorgehen ist ein eindeutiges und praxisnahes Handeln möglich, da eine eindeutige Zuordnung gegeben wird.

Neben diesen Handlungsoptionen mit direkter Verortung gibt es im Maßnahmenkatalog den Abschnitt „Maßnahmen“, die einen gesamtstädtischen und ideellen Charakter haben. Auch diese Klimawandelanpassungsmaßnahmen werden priorisiert.

Dabei wird zwischen den beiden Umsetzungshorizonten „kurzfristig/hoher Handlungsbedarf“ und „mittelfristig/mittlerer Handlungsbedarf“ unterschieden. Als Besonderheit ist die Maßnahme 10 im Maßnahmenkatalog einzuordnen. Hierbei handelt es sich um die Prüfung der Anwendungsmöglichkeit bei „Sowieso-Maßnahmen“. Als „Sowieso-Maßnahme“ ist die Planung zu verstehen, die ohnehin („sowieso“) durchgeführt wird. Wie zum Beispiel: Umstrukturierung eines Gartens einer Kindertagesstätte, Neuerrichtung von Gebäuden oder die Umgestaltung von Straßenräumen.

Wenn die Stadt Kassel eine Neuplanung vornimmt, ist stets zu überprüfen, ob und welche räumliche Planungsempfehlung für das entsprechende Gebiet beschrieben wird. Bei einer Übereinstimmung des Planungsgegenstandes mit einer bestimmten Investitionssumme können Gelder von hessischen Förderrichtlinien in Anspruch genommen werden, wenn Maßnahmen zur Klimaanpassung umgesetzt werden.

4.4 Akteursbeteiligung

Um eine möglichst hohe Akzeptanz des Klimaschutzteilkonzeptes „Anpassung an den Klimawandel“ für die Stadt Kassel zu erzielen, wurden schon während der Erarbeitungsphase mehrere Gelegenheiten genutzt, um eine Abstimmung mit den betroffenen Verwaltungseinheiten, Verbänden und Institutionen zu treffen.

Hierzu wurden im Rahmen der Kasseler Planungsgespräche des Dezernats VI “Dezernat für Verkehr, Umwelt, Stadtentwicklung und Bauen“ interdisziplinäre Gespräche und Diskussions-plattformen geschaffen, die sämtliche städtischen und weitere nicht-städtische, aber relevante Akteure zusammenbrachte. Neben diesem Diskussionsforum wurden, bezogen auf die besonders betroffenen Bereiche, Einzelanalysen mit den betroffenen Ämtern, Betrieben und Verbänden durchgeführt.

Planungsgespräch 1	27.04.2016	Projektbeginn, Vorstellung der Beteiligten und der geplanten Aufgaben.
Planungsgespräch 2	19.04.2017	Vorstellung der Ergebnisse im Entwurf, Darstellung der Gesamtstrategie für Kassel.

Tabelle 6: Übersicht der Planungsgespräche.

Nach erfolgreicher Durchführung des ersten Planungsgesprächs wurden intensivere Einzelgespräche mit besonders betroffenen Ämtern, dem Zweckverband Raum Kassel (ZRK), der Berufsfeuerwehr Kassel und dem städtischen Ver- und Entsorgungsunternehmen KASSELWASSER durchgeführt.

Nr.	Datum	Amt/ Institution
1.	01.04.2016	Städtische Werke Netz+Service
2.	08.06.2016	Amt für Vermessung und Geoinformation
3.	29.06.2016	Berufsfeuerwehr Kassel
4.	13.07.2016	KASSELWASSER
5.	30.08.2016	ZRK
6.	09.11.2016	Jugendamt und Amt für Hochbau und Gebäudebewirtschaftung
7.	16.11.2016	Gesundheitsamt Kassel
8.	Parallel während Projektlaufzeit, intensiver Austausch	Umwelt- und Gartenamt
9.	Parallel während Projektlaufzeit, intensiver Austausch	Stadtplanung, Bauaufsicht und Denkmalschutz –Landschaftsplanung-

Tabelle 7: Übersicht der Einzelgespräche

Öffentlicher Diskurs

Im Rahmen der 2. Kasseler Klimaanpassungskonferenz im Februar 2017 konnte zu Beginn ein Informationsvortrag vor den Vertretern des Landkreises, der Politik, städtischer Beiräte, der Wirtschaft, des Zweckverband Raum Kassel, des Regierungspräsidiums, der Naturschutzverbände, der örtlichen Presse und dem Rundfunk sowie interessierten Bürgerinnen und Bürgern durchgeführt werden. Eine erfolgreiche Präsentation des gegenwärtigen Arbeitsstandes bildete die Grundlage für die anschließende fachliche Diskussion. Besondere Erwähnung fand der Hinweis der klimatischen Bedingungen und Wechselwirkungen im Kasseler Becken mit dem Hinweis, dass sowohl die Stadt Kassel, der Zweckverband Raum Kassel als auch Teile des Landkreises von dem stadtklimatischen Phänomen betroffen sind und sich dementsprechend alle als Partner verstehen müssen um gemeinsam geeignete Wege zur Anpassung an den Klimawandel durchzuführen.

Weiterhin wurde das Projekt Klimaanpassung für die Stadt Kassel auf dem „Marktplatz kommunaler Klimaanpassung“ öffentlich vorgestellt und diskutiert. Die Ankündigung wurde auf der Internetseite der Stadt Kassel sowie der örtlichen Presse veröffentlicht.

Am 15.08.2017 wird eine weitere Bürgerinformation im Stadtteilzentrum Wesertor durchgeführt. Neben den Vertretern der unterschiedlichen Planungsebenen, Politik und Umweltverbänden wird gezielt die Stadtöffentlichkeit angesprochen. Die moderierte Veranstaltung findet abends statt und bietet nach einem Impulsvortrag die Möglichkeit, weitere Fragen zu diskutieren. Das Format sieht es vor, dass die Besucher direkt nach ihren bisherigen persönlichen Erfahrungen gefragt werden, und ob sie Ideen für private Initiativen haben.

Diese Veranstaltung kann im Rahmen der weiteren Öffentlichkeitsarbeit und Akteursbeteiligung in anderen Stadtteilen wiederholt werden.

4.5 Maßnahmenkatalog

Die angewandte Stadtklimatologie befasst sich seit geraumer Zeit mit Analysemethoden, die direkte Grundlagen für eine Vielzahl planerischer Fragestellungen hervorbringen. Das Stadtklima setzt sich dabei aus zwei Komponenten zusammen, so dass thermische und lufthygienische Aspekte dieses Phänomen bestimmen. „Ein ideales Stadtklima zeichnet sich durch eine möglichst große Inhomogenität mit einer charakteristischen Weglänge von 150 m und einem thermisch und lufthygienisch belastungsfreiem Raum aus. Es soll die planerischen Absichten im Außenraum unterstützen“ (Mayer 1989, 52).

Der entwickelte Maßnahmenkatalog, abgestimmt auf die analysierten Themenfelder „Hitze“ und „Starkregenereignisse“ und verortet über die Klimafunktionskarte, ermöglicht ein zielgerichtetes Vorgehen im Rahmen der Gesamtstrategie.

Neben den planerischen Maßnahmen (hier: räumliche Planungsempfehlungen) sind zudem ideelle „Maßnahmen“ aufgeführt, unter denen sämtliche Anpassungsmaßnahmen, die nicht im planerischen Kontext stehen, aufgelistet sind.

	Nr.	Bezeichnung	Beschreibung	Ebene	Umsetzungs- horizont/ Zeitraum der Durchführung	Priorität der Maßnahme	Primäres Handlungs- feld/ federführende Akteure	Erfolgsindika- toren/ Handlungs- schritte	Erwartete Gesamt- kosten
räumliche Planungsempfehlungen	1	Belüftung	Kaltluft- und Frischluftschneisen sollen bei der zukünftigen baulichen Entwicklung erhalten und in ihrer Funktionsfähigkeit verbessert werden.	Mesoklima/ Gesamtstadt	Auf Grundlage der KFK je nach Vulnerabilität; kurz bis mittelfristig; bei sowieso-Maßnahmen	Hohe Priorität	Stadtplanungsamt/Umweltamt Naturschutzbeirat	Bilanzen von Freiräumen und Oberflächenentsiegelung	kann nicht finanziell bestimmt werden
	2	Hitze abbauen	Verschattung zur Reduktion der bioklimatischen Belastung, mehr Vegetation und die Materialität und Farbgebung beachten.	Mikroklima/ lokal		Hohe Priorität	Planung und Gesundheit, Naturschutzbeirat, NGOs	Erhöhung des Vegetationsvolumens an thermischen Hot Spots	
	3	Entsiegelung, naturnahe Flächen	Unterstützung und Förderung der Entsiegelung/Verbesserung der Niederschlagsversickerung vor Ort.	Mikroklima/ lokal		Mittlere Priorität	Stadtplanung und KASSEL-WASSER	Bilanzen von Oberflächenentsiegelung	
	4	Wasser-sensible Stadt	Angepasste Stadtentwicklung in Hochwasserrisikogebieten, Sensibilisierung in Bereichen mit hohen Abflussmengen.	Mesoklima/ Gesamtstadt		Hohe Priorität	KASSEL-WASSER und Umweltplanung	Potentialanalysen von Versickerung und Wasserspeicherung	
Maßnahmen	5	Planungshinweiskarte	Erstellung einer Planungshinweiskarte, basierend auf der Klimafunktionskarte.	Mesoklima/ Gesamtstadt	2019	Hohe Priorität, Umsetzung sofort möglich	Planung	Planungsbeitrag	50.000 €
	6	Anpassungsmanagement	Installierung eines Klimaanpassungsmanagements in der Verwaltung, um die Umsetzung des Konzeptes zu begleiten.	Mesoklima/ Gesamtstadt	Ab 2017	Hohe Priorität	Verwaltung/ Klimaanpassungsmanagement	Sofortige Einrichtung	für 2 Jahre ca. 120.000 €
	7	Information "Klimaanpassung"	Kurze und informative Broschüre/ Flyer zum Thema Klimaanpassung für Öffentlichkeit/Privat und Politik.	Mesoklima/ Gesamtstadt	Ab 2017	Mittlere Priorität	Öffentlichkeit/ wissenschaftliche Beratung	Beginn initialisiert	ca. 5.000 € pro Jahr
	8	Schulung/ Infoveranstaltung	Schulung in der Verwaltung, Umgang mit dem Anpassungskonzept (Inhalte); Fachtag; Informationsveranstaltung Öffentlichkeit + Politik.	Mesoklima/ Gesamtstadt und Mikroklima	2018/2019	Hohe bis mittlere Priorität	Verwaltung/ Universität	Beginn initialisiert	10.000 €
	9	Aktualisierung Klimafunktionskarte ZRK	Es wird empfohlen, die Klimafunktionskarte 2009 mit den angewandten Kriterien der Kasseler Klimafunktionskarte 2017 zu aktualisieren.	Mesoklima/ Gesamtstadt	2018/2019	Mittlere Priorität	ZRK, Ingenieurbüro	Festsetzungen auf FNP-Ebene	20.000 €

Abbildung 29: Maßnahmenkatalog des Klimaanpassungskonzeptes der Stadt Kassel.

4.5.1 Belüftung

Problematische lufthygienische Verhältnisse und thermische Belastungsepisoden treten hauptsächlich bei windschwachen Wetterlagen (z. B. anhaltendem Hochdruckeinfluss) auf. Wenn zudem der vertikale Luftaustausch unterbunden wird (z. B. Inversion), handelt es sich um eine austauscharme Wetterlage. In diesen Fällen sind lokale Windsysteme von besonderer Bedeutung. Die Klimaaktivität naturnaher Flächen und deren Wechselwirkungen zu städtischen Klimatopen gilt es zu schützen.

Vor allem das stark orografisch gegliederte Kasseler Becken kann ein verhältnismäßig mächtiges lokales Kaltluftsystem initiieren. Vor allem über die Hanglagen und die großräumigen Kaltluftentstehungsgebiete (größtenteils Flächen des ZRK) kann ein großes Volumen erzeugt werden, dass in der Lage ist, wertvolle Abkühlung in die Stadt zu transportieren.

Neben der Sicherung der Produktionsflächen steht der Transportweg über geeignete Schneisen im Vordergrund. Hier müssen die analysierten Fließwege der Luftmassen (dargestellt in der Klimafunktionskarte der Stadt Kassel) unbedingt beachtet werden.

Barrieren sollten ebenso wie eine Erhöhung der Bodenrauigkeit auch in Form von dichten Baumpflanzungen etc. vermieden werden

Neben dem Schutz der Schneisen und Korridore ist im Zuge der Erwärmung und der potentiellen Kühlwirkung in bestimmten Bereichen eine Vernetzung dieser Wirkräume eine hervorragende Anpassung an den Klimawandel. Eine Verbesserung der nächtlichen Abkühlungsrate würde erzielt werden.

Hintergrund:

Bei gleichbleibender Lufttemperatur, Strahlung und Feuchte wirkt sich eine Veränderung der Windgeschwindigkeit (hier 0 - 2 m/s) unmittelbar auf das thermische Empfinden der Passanten aus. Eine Reduzierung der Geschwindigkeit bewirkt eine Verschiebung in eine höhere thermische Belastungsstufe. Die Aufenthaltsqualität würde abnehmen.

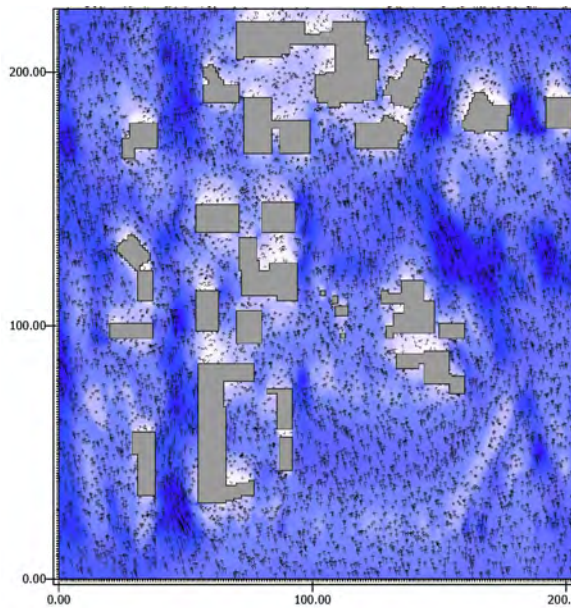
Beidseitiger Baumbestand in einer Straßenschlucht kann die Windbewegung deutlich bremsen, was zu schwachem bis moderatem Hitzestress führen kann. Die städtebauliche Planung sollte also bei entsprechender Ausrichtung der Straße darauf achten, in engen, schlecht belüfteten Straßenschluchten Bäume mit hohem Stammraum zu wählen, damit ausreichend Zirkulation stattfinden kann. Außerdem sollte die Pflanzung nicht zu dicht erfolgen. Eine offene Platzfläche hat normalerweise nicht das Problem der mangelnden Belüftung. Hier kann eine gezielte punktuelle Pflanzung bei hohen Windgeschwindigkeiten sogar dazu verhelfen, Räume im Windschatten (Lee) für den angenehmen Aufenthalt zu erzeugen. Objekte, die orthogonal zur Windrichtung stehen, lenken den Wind ab und erzeugen Luv-Bereiche vor dem Objekt und Lee-Bereiche hinter dem Objekt. Dies muss in der Planung berücksichtigt werden, um den jeweils gewünschten Effekt zu erlangen.

Wie in der Gesamtstrategie dargelegt, wurde im Rahmen dieses Anpassungskonzeptes neben der Verortung der Planungsempfehlungen die Herleitung und Übertragbarkeit der Maßnahmen fokussiert. Die Ableitung der räumlichen Planungsempfehlung „Belüftung“ wurde an einem

großmaßstäblichen Untersuchungsgebiet im Kasseler Osten entwickelt. Mikroklimatisch konnte mit einem geeigneten Stadtklimamodell dargestellt werden, wie sich die Belüftungsverhältnisse durch weitere Baukörper verschlechtern können, wenn die Anströmung nicht ausreichend berücksichtigt wird. Vor allem die Temperaturunterschiede in der Nacht (nächtliche Regeneration → Gesundheitsvorsorge) ist in diesem Fall stark betroffen.

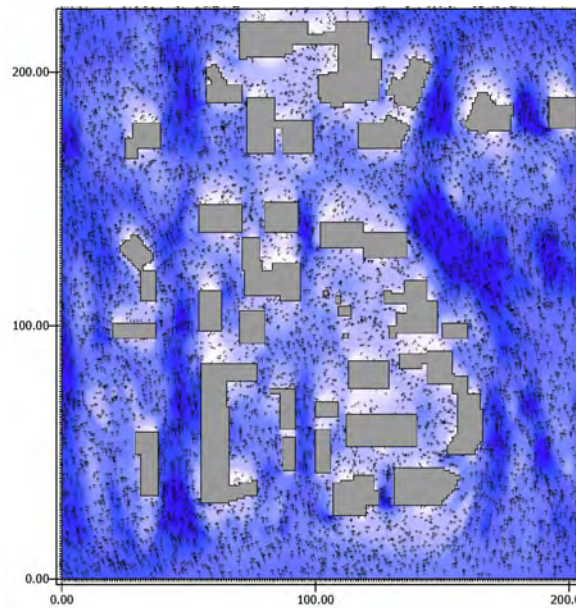
Konkretes Beispiel, Kasseler Osten, Bebauungsplan Nr. VII/8 „Vogelsang“

Vor der Innenentwicklung



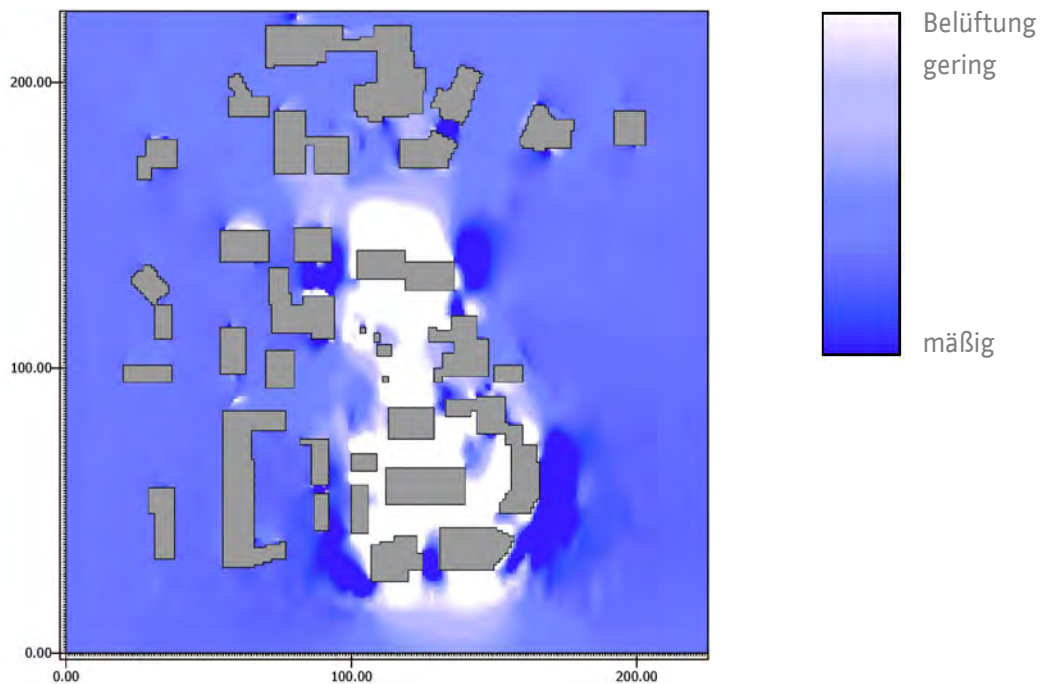
Windfeld, Legende siehe unten.

Nach der Innenentwicklung

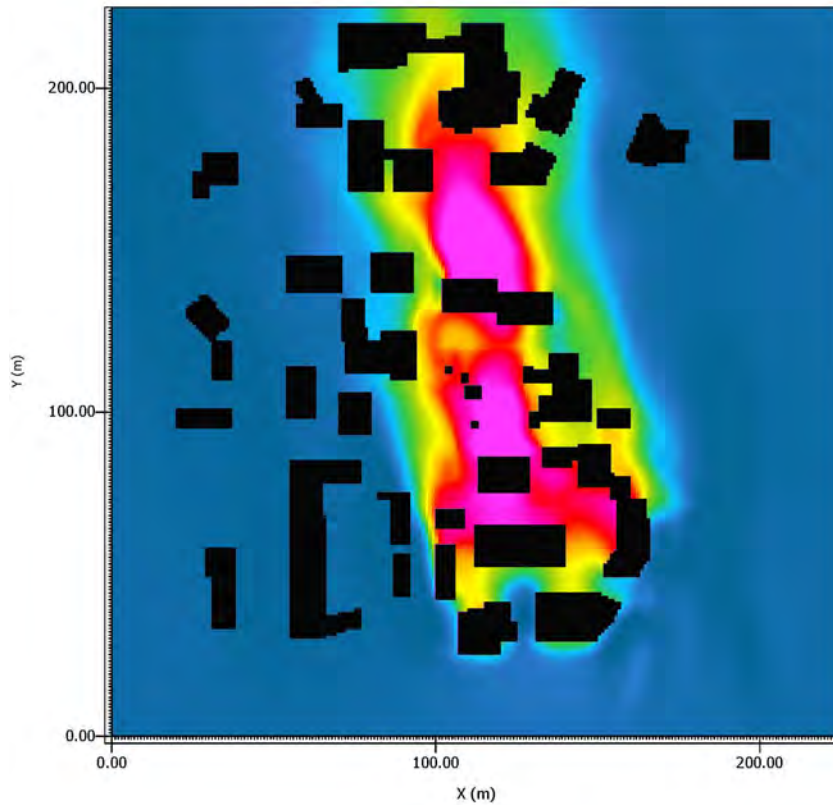


Windfeld, Legende siehe unten.

Vergleich der beiden Varianten



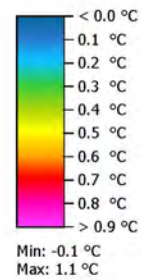
Die resultierende Herabsetzung der Belüftungsintensität bewirkt durch die reduzierte Windgeschwindigkeit eine verzögerte nächtliche Abkühlung. Das bedeutet, die Verschlechterung der Belüftung führt dazu, dass es nachts nicht so stark abkühlt. Im simulierten Beispiel „Vogelsang“ beträgt der Unterschied um 2 Uhr nachts bis zu 1 °C. Im Falle einer hochsommerlichen Wetterlage mit entsprechenden Temperaturen kann eine sogenannte Tropennacht (Nächte, in denen die Temperatur nicht unter 20 °C sinkt) zu einer Beeinträchtigung der Regeneration im Schlaf führen. Bei länger anhaltenden Hitzeepisoden sind Leistungseinbußen bis gesundheitliche Beeinträchtigungen nicht ausgeschlossen.



Simulation „Vogelsang“

Vergleich der Lufttemperatur um 02:00 Uhr nachts (MESZ) in einer Höhe von ca. 1,4m.

Absoluter Unterschied Lufttemperatur



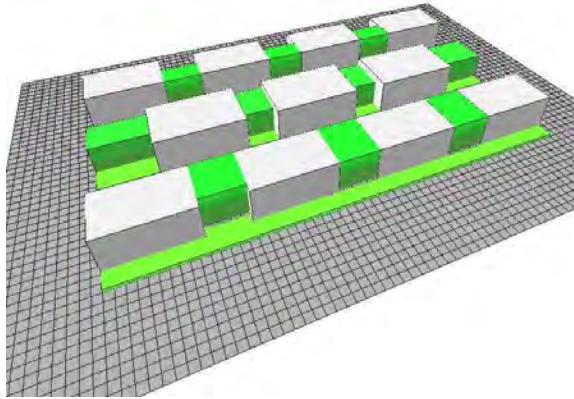
Basierend auf diesen Ergebnissen vor Ort im Mikroklima konnte der Baustein „Belüftung“ entwickelt bzw. schematisch aufgebaut werden. Es gilt, in Gebieten der räumlichen Planungsempfehlung 1 „Belüftung“ stets die Orientierung und Anordnung der Bauwerke zu beachten. Die Klimafunktionskarte gibt Aufschluss, in welcher Richtung die Anordnung gegliedert sein soll, um möglichst geringe Barrierewirkung zu verursachen. Durch diese optimierte und an das lokale Belüftungssystem angepasste Gebäudestellung soll erreicht werden, dass die angrenzenden urbanen Gebiete trotz Innenentwicklung keine Verschlechterung der klimatischen Situation erfahren.

Im Folgenden sind die Anordnungsvarianten schematisch im Modell umgesetzt worden.

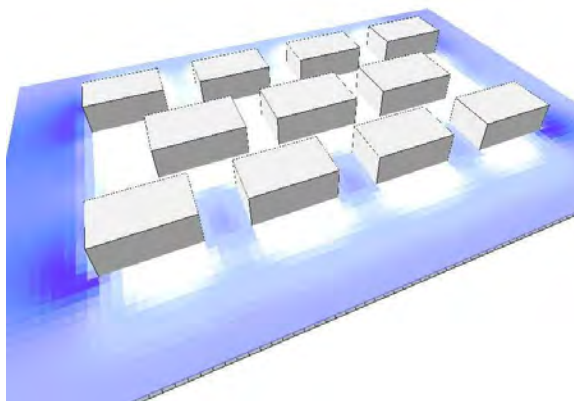
Räumliche Planungsempfehlung Nr. 1 **BELÜFTUNG**

Variante 1

Gebäudestellung versetzt,
Vegetation zwischen Gebäuden.

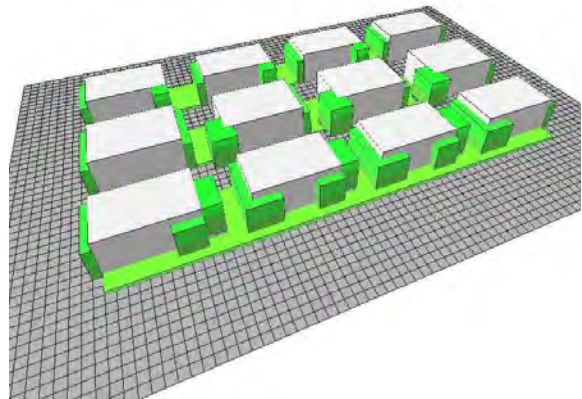


Windfeld, Legende siehe unten.

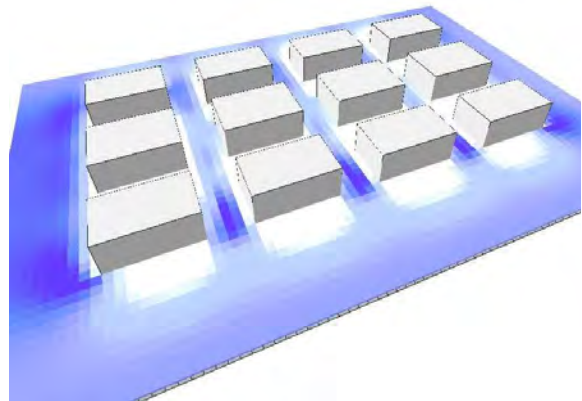


Variante 2

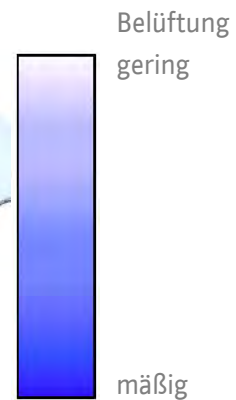
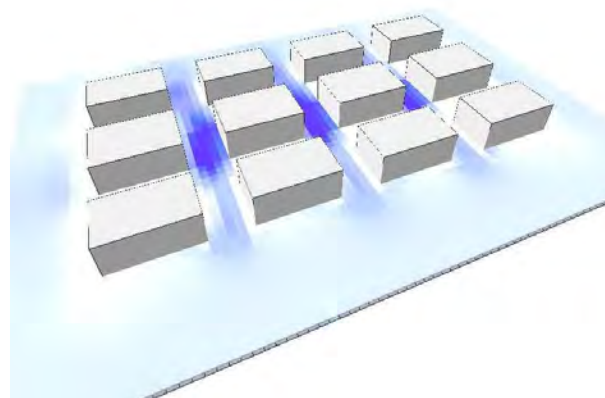
Gebäudestellung in Reihe,
Vegetation variabel.



Windfeld, Legende siehe unten.



Vergleich der beiden Varianten



4.5.2 Hitze abbauen

Der Klimawandel und die damit verbundenen Folgen können direkte und indirekte Auswirkungen haben.

Zu den direkten Auswirkungen zählen Gesundheitsrisiken durch thermische Belastungen (Hitzestress), die eine Folge der Zunahme von Tagen mit hohen Temperaturen sind. Diese können sowohl zu einer Erhöhung der Krankheitsrate (Morbidität) als auch der Sterblichkeitsrate (Mortalität) führen. Während langer Hitzephasen können beispielsweise gesundheitliche Risiken wie Herz-/Kreislaufbeschwerden sowie hitzebedingte Krämpfe oder Hitzschlag auftreten. Durch mangelnde Regeneration (Beeinträchtigung von Schlaf und Erholung, belastende UV-Strahlung und durch die Erhöhung der Luftschadstoffkonzentrationen wie Ozon und Feinstaub) treten zudem vermehrt Atemwegserkrankungen und Reizungen der Schleimhäute auf.

Insbesondere in den stadtklimatisch geprägten Bereichen mit hohem Versiegelungsanteil und dichter Bebauung ist mit einer zunehmenden Überwärmung mit entsprechenden gesundheitlichen Folgen für die Wohnbevölkerung zu rechnen.

Der Klimawandel birgt dabei zwar für alle Bevölkerungsgruppen Risiken, besonders anfällig sind jedoch ältere und gesundheitlich vorbelastete Menschen sowie Kleinkinder.

Innerstädtisches Grün – großräumig in Form von Parkanlagen, Freiflächen, kleinräumig in Form von Innenhöfen, Begrünungen von Straßenzügen sowie auf Gebäudeebene in Form von Dachbegrünungen/Fassadenbegrünungen – hat eine herausragende Bedeutung für die Abmilderung der negativen Auswirkungen der Klimaveränderung (Hitze- und Trockenstress) im Wesentlichen durch eine lokale Reduzierung der Lufttemperatur und eine Erhöhung der Verdunstung.

- Erhalt und, falls möglich, Erweiterung bestehender Grün- und Freiflächen;
- Sicherung und Weiterentwicklung des innerstädtischen Baumbestandes;
- Optimierung der Mischung aus Baumbestand, Rasenflächen/Wiesen und Sträuchern, um die jeweils gewünschte Funktion im Raum (Kaltluftentstehung/Frischluf- bzw. Belüftungskorridore) zu optimieren;
- Vernetzung kleinerer Grün- und Freiflächen untereinander, ggf. Anbindung an Biotope des Umlands;
- Begrünung von unbefestigten Trassen (aufgelassene Bundesbahntrassen, Stadtbahntrassen) zur Schaffung von mehr Vegetationsflächen);
- Förderung von Dach- und Fassadenbegrünungen;
Synergieeffekte:

Durch einen hohen Vegetationsanteil im Innenstadtbereich werden die Aufenthalts- und Lebensqualität deutlich erhöht.

Dach- und Fassadenbegrünungen tragen zu einer Verbesserung des Innenraumklimas bei und somit zu einer Energieeinsparung (CO₂-Einsparung und somit Beitrag zum Klimaschutz). Gegebenenfalls kann bei einer gut dimensionierten Dach- und Fassadenbegrünung auf eine Gebäudekühlung verzichtet werden (CO₂-Einsparung und somit Beitrag zum Klimaschutz).

Biodiversität: Unterstützung der Ziele der Kasseler Biodiversitätsstrategie wie ‚grüne Standards im Bereich Planen und Bauen‘; ‚grüne Standards in der Pflege‘; ‚ökologisch orientiertes Flächenmanagement‘; ‚Generierung öffentlicher Aufmerksamkeit, Netzwerke‘.

Die Energieumsätze am Erdboden bzw. an den Wänden werden u.a. sehr stark von den Reflexionseigenschaften (Albedo) des Untergrunds bestimmt. Die Erde erhält die von der Sonne eingestrahlte Energie etwa zu gleichen Teilen im sichtbaren Strahlungsbereich wie auch im nahen Infrarotbereich. Für die Energieaufnahme an den Oberflächen ist also die Albedo beider Spektralbereiche, die sehr unterschiedlich sein können, von Bedeutung. Insbesondere weiße und helle Oberflächen reflektieren die Sonnenstrahlung stark. Der reflektierte Anteil trägt damit nicht mehr zur Erwärmung der Oberfläche bei. In südlichen Regionen sind deshalb die Häuser oft weiß gestrichen.

Beispielhaft soll an einem Stadtplatz in Kassel (Rainer-Dierichs-Platz), vor dem Hauptbahnhof exemplarisch gezeigt werden, welchen Effekt Begrünungsmaßnahmen, Veränderung der Oberflächen hinsichtlich ihrer Materialität und Entsiegelung haben können.

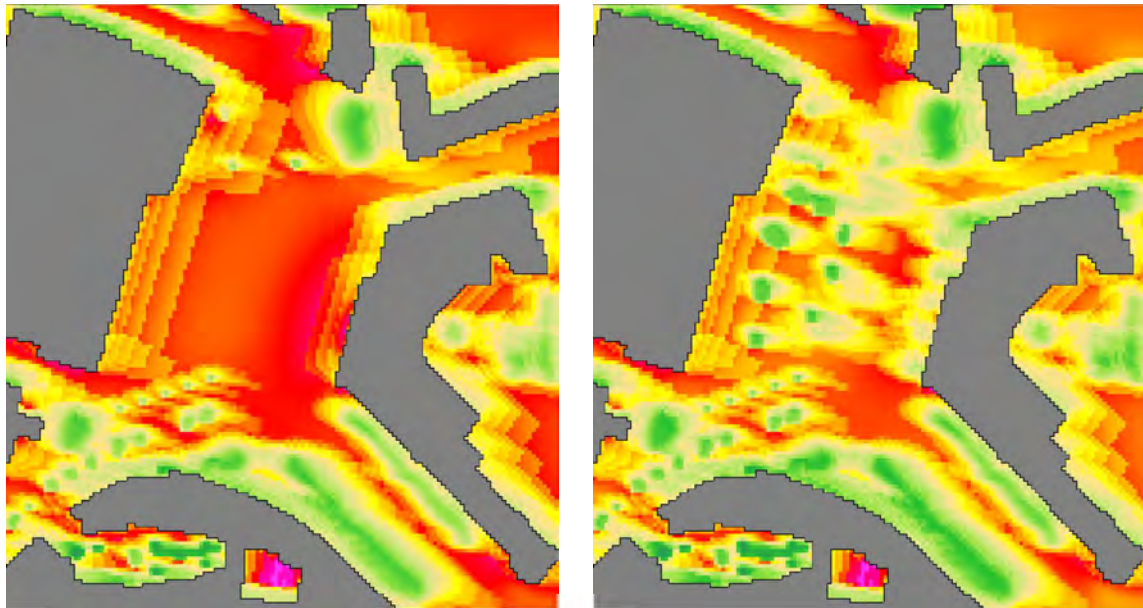
Dabei wurde bewusst ein nahezu 100% versiegeltes Areal gewählt, um den Kontrast vorher/nachher deutlich zu machen. Auf eine realistische Umsetzung (mögliche Pflanztiefen, Nutzungsanforderungen) wurde nicht geachtet, das Einzige ist der Erhalt der querenden Werner-Hilpert-Straße in ihrer jetzigen Dimension.

Der Vergleich auf den folgenden Seiten zeigt die Ist-Situation ohne Begrünung die Variante „mit Begrünung“ zeigt den Effekt von Baumpflanzungen auf dem Platz, Rasenflächen im südlichen Bereich in Kombination mit Wegestrukturen, sowie Rasengittersteinen als Parkplatzalternative im nördlichen Bereich.

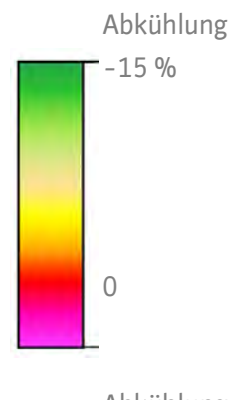
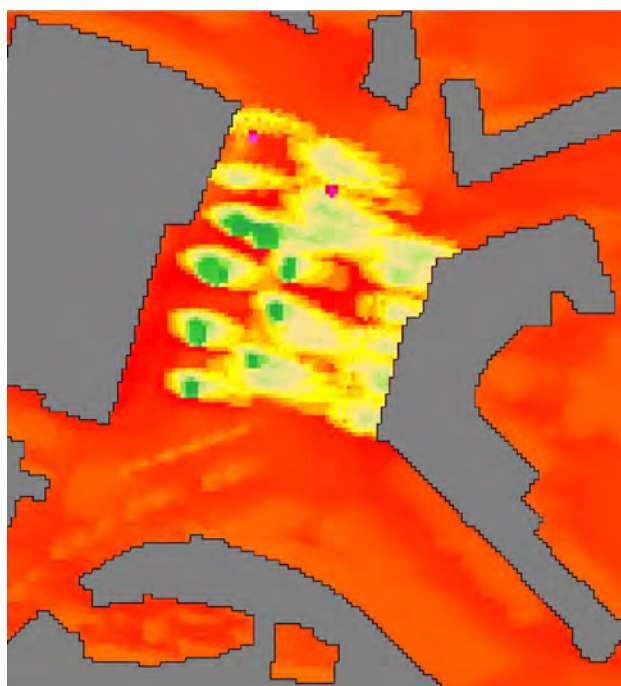
Konkretes Beispiel, Kassel Mitte, Hauptbahnhof

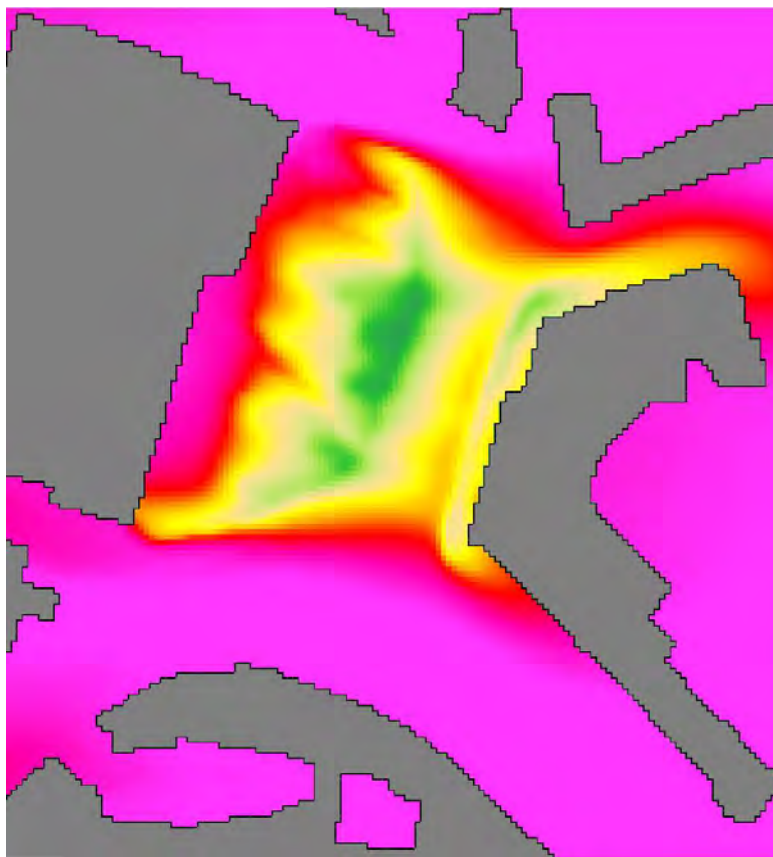
Vor Begrünungsmaßnahmen

Nach Begrünungsmaßnahmen



Vergleich der beiden Varianten

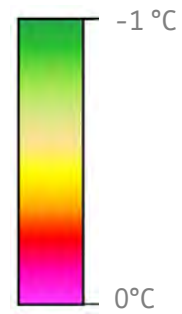




Simulation „Hauptbahnhof“

Vergleich der Lufttemperatur um
02:00 Uhr nachts (MESZ) in einer
Höhe von ca. 1,4m.

Absoluter Unterschied
Lufttemperatur



4.5.3 Entsiegelung/naturnahe Flächen

Die Energiebilanz der Stadt hängt sehr stark von der Beschaffenheit der Oberflächen ab. Sie bestimmt die Reflexionseigenschaften und die potentielle Verdunstung bzw. Evapotranspiration. In den Städten und insbesondere in den Innenstädten sind die Oberflächen, sehr stark versiegelt. Regenwasser läuft schnell in die Kanalisation ab und steht somit nicht mehr zur Verdunstung zur Verfügung. Eine Maßnahme zum Abbau der Überwärmung ist es deshalb, den Anteil der versiegelten Flächen zu reduzieren und naturnahe Flächen zu fördern.

Die Vorteile der Entsiegelung sind u.a.:

- Reduktion vom Regenwasserabfluss,
- erhöhte Verdunstung vom Boden,
- geringere Oberflächentemperaturen → Reduktion der thermischen Belastung,
- Wasserspeicherung im Boden.

Empfohlene räumliche Empfehlungen:

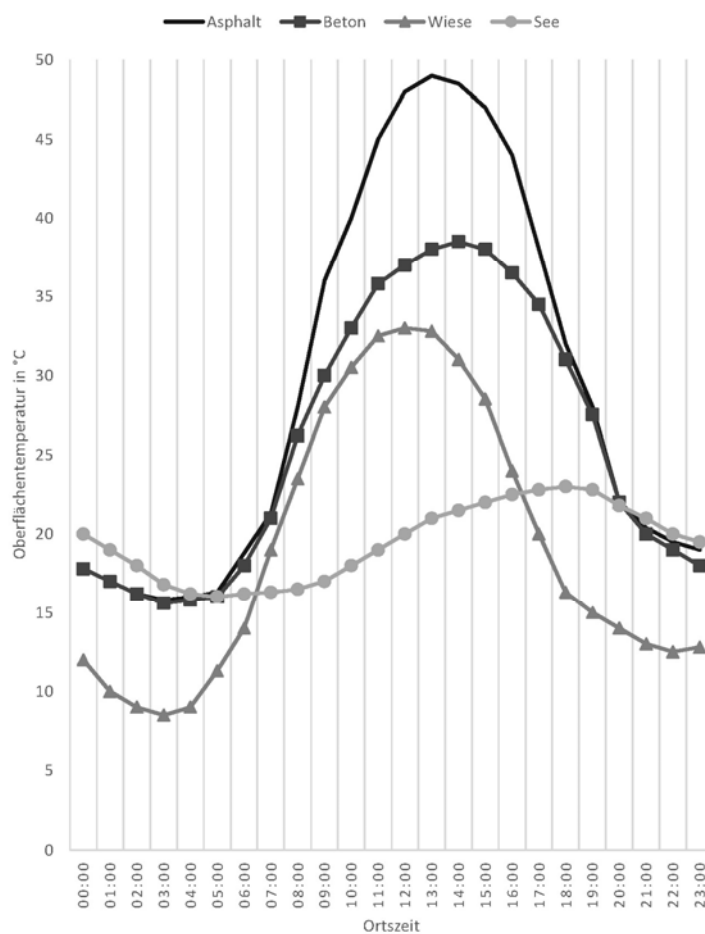
- Begrünung von unbefestigten Trassen (Straßenbahngleise),
- Entsiegelung von versiegelten Innenhöfen,
- Dach- und Fassadenbegrünungen.

Die mittlere Strahlungstemperatur (T_{mrt}) vereint sämtliche Strahlungsflüsse im dreidimensionalen Raum, sowohl kurzwellig, als auch langwellig und ist der Parameter, der maßgeblich von der Materialität und Farbe bestimmt wird. Hier hat der Planende den größten Einfluss und ist in der Lage, die klimatischen Verhältnisse direkt zu beeinflussen.

An wolkenlosen Sommertagen kann die Oberflächentemperatur einer asphaltierten Straße, die sonnenexponiert verläuft, bis zu 60 °C betragen. Die Aufwärmung tagsüber wird dann in Form von langwelliger Abstrahlung in den Nachtstunden wieder in die Stadtatmosphäre abgegeben, eine verlangsamte Abkühlung ist die Folge. Ähnlich verhalten sich Materialien wie Beton oder Steine, wobei die Farbe und damit der physikalische Wert Albedo die jeweiligen Niveaus bestimmt. Allgemein gültig ist, dass helle Farben eher die kurzwellige Strahlung reflektieren, sich im Verhältnis nicht zu stark aufwärmen und entsprechend nur eine geringe langwellige Wärmeabstrahlung während der Nachtstunden abgeben. Dunkle Farben hingegen können wie das Beispiel der asphaltierten Straße wirken. Aus diesem Grund gilt allgemein die Annahme, dass helle Farben klimatisch besser wirken, weil sie sich nicht derart aufheizen (siehe südliche Länder). Ein negativer Aspekt dabei ist jedoch die Rückstrahlung (Reflexion von sehr hellen Fassaden oder Bodenbelägen) während der Tagstunden. Offene und weite Plätze mit einer hellen Farbgestaltung erhöhen den Hitzestress des Nutzers, da neben der direkten Sonnenstrahlung zusätzlich eine hohe Belastung durch die Reflexion entsteht. Deshalb sollte bei der Planung stets die Nutzungsart bedacht werden. Stadtplätze, die vor allem tagsüber bespielt werden und nicht direkt im Wohnumfeld gelegen sind, können unter Umständen durch dunklere Farben die Aufenthaltsqualität steigern.

Durch die prognostizierten Auswirkungen des Klimawandels werden Anpassungsmaßnahmen empfohlen, die vor allem in Städten die beiden Themenfelder ‚Hitze‘ und ‚Starkregenereignisse‘ betreffen. Beide negativen Phänomene können in ihrer Auswirkung durch angepasste Bodenmaterialien abgemildert werden. Entsiegelte, naturnahe Flächen und Vegetation leisten einen positiven Beitrag für beide Themenfelder. Neben den thermischen Belastungsrisiken, die von versiegelten Flächen ausgehen, wird zudem die Versickerung bei Niederschlag unterbunden, was vielerlei negative Folgen hat. Dadurch kommt es zu einem erhöhten Oberflächenabfluss. Hochwasser oder Überflutungen sind die Folge. Vegetationsflächen können die angesprochenen Risiken stark reduzieren. Neben dem Rückhalt durch Versickerung wird das Bioklima durch Vegetationskühle und ggf. Schattenwurf verbessert. Dabei hängt der thermische Vorteil direkt mit der Wasserversorgung zusammen. Nur wenn Vegetation während heißer Wetterperioden ausreichend mit Wasser versorgt ist und nicht in Hitzestress gerät, kann von der positiven klimatischen Wirkung ausgegangen werden. Hier muss das Pflegemanagement (Bewässerung, Rasenschnitthöhe oder Substrathöhe) entsprechende angepasst werden, um den Bedürfnissen gerecht zu werden.

Temperaturen verschiedener Oberflächen an einem Hochsommertag (nach Fetzer, 1975)



4.5.4 Wassersensible Stadt

Extremniederschlagsereignisse:

Sturzfluten entstehen durch extreme Niederschlagsereignisse und können an nahezu beliebigen Orten und Zeiten auftreten. Innerhalb kurzer Zeit können Niederschlagsmengen auftreten, die normalerweise im Bereich mehrere Monate liegen. Folglich sind die Infiltrationskapazitäten von Böden überschritten und die Drainage- und Entwässerungssysteme überlastet, so dass starke Oberflächenabflüsse, die so genannten Sturzfluten, entstehen (vgl. Schlenkhoff et al. 2009). Sturzfluten werden in den existierenden Rechtgrundlagen und Regelwerken häufig – wenn überhaupt – nur indirekt angesprochen. Einige dieser Berührungspunkte im Wasserrecht, Umweltrecht, Baurecht oder Straßenrecht lassen sich als Grundlage für Planung und Umsetzung von Überflutungsschutzmaßnahmen nutzen. Auch die Klimaschutzklausel (§ 1a Abs. 5 BauGB) fordert die Berücksichtigung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. Die Berücksichtigung der Gefährdung von urbanen Sturzfluten bei kommunalen Planungen und Maßnahmen ergibt sich aus § 1 Abs. 6 BauGB (Quelle Dt. Städtetag 2015).

Vor allem im urbanen Raum sind verstärkt Überschwemmungen der Flüsse/Bäche und Überlastungen des Kanalnetzes mit Überstau und Überflutungen zu erwarten.

Bezüglich der Flusshochwässer ist die Nutzung der Werkzeuge für das Risikomanagement bereits gesetzlich nach EU-Hochwasserrisiko-Management-Richtlinie und Wasserhaushaltsgesetz (WHG §72ff) geregelt. So waren bereits bis Ende 2013 Gefahren- und Risikokarten für Gebiete mit potentiell signifikantem Hochwasserrisiko als Grundlage für Hochwasserrisikomanagementpläne zu erstellen. Die Karten sollen die Bevölkerung informieren und müssen daher öffentlich zugänglich sein.

Die Hochwassergefahrenkarten (HWGK) geben Auskunft über die mögliche Ausdehnung und Tiefe einer Überflutung. Dabei wird differenziert in drei Hochwasserszenarien (HQhäufig, HQ100 und HQextrem).

Die Hochwasserrisikokarten (HWRK) verdeutlichen für diese drei Hochwasserszenarien, wo Einwohner oder Schutzgebiete bzw. Kulturobjekte gefährdet sind und wo Gefahrenquellen vorliegen.

Erste Risiken können oft schon mit einem kritischen Blick auf die Topographie, die Lage von Tiefgaragenzufahrten und von Kellerschächten und Hauseingängen abgeschätzt werden. Auch die Dichte der Bebauung und der Versiegelungsgrad geben oftmals schon erste Hinweise auf mögliche Gefahrenbereiche.

In der Stadt Kassel ist der städtische Eigenbetrieb KASSELWASSER neben der Abwasserbeseitigung und der Gewässerunterhaltung auch für die Wasserversorgung zuständig. KASSELWASSER kann in dieser Thematik auf viel Erfahrung im Umgang mit Starkregenereignissen und Überflutungsvorsorge in Form unterschiedlichster Maßnahmen zurückblicken. Seit 1998 wird ein hauseigenes Niederschlagsmessnetz betrieben, um die Effektivität der Bemühungen zu verbessern und zu steigern.

Aktuell sind Forschungsvorhaben in Kooperation mit der Universität Kassel geplant, um neben den gemessenen Niederschlagsdaten genauere Informationen zu Überflutungsgefahren zu erlangen.

Aus diesem Grund wird im Rahmen dieses Klimaschutzteilkonzeptes nur auf die bereits bestehenden Hochwassergefahrenkarten eingegangen bzw. diese zur Verfügung stehenden Daten genutzt.

Dennoch sei an dieser Stelle die hervorragende und umfangreiche Informationsplattform ‚HWRM Hochwasserrisikomanagementpläne‘ des Landes Hessen erwähnt, welches unter der URL <http://hwrm.hessen.de/> zu finden ist.

4.5.5 Planungshinweiskarte

Um die Einbindung der Ergebnisse in die Planungsprozesse reibungslos zu gestalten, wird empfohlen, aufbauend auf die aktualisierte Klimafunktionskarte (Kap. 4.1.3.9) eine Planungshinweiskarte (PHK) abzuleiten, in der die analysierten und vielschichtigen Ergebnisse zusammengefasst werden. Durch die vereinfachte Darstellung ist es möglich, schnell und eindeutig eine Einschätzung der klimatischen Bedeutung einer Fläche zu erhalten. Eine flächige Zuordnung der räumlichen Planungsempfehlungen des Maßnahmenkatalogs kann unterstützt und weiterverfolgt werden.

Vorgehensweise nach VDI RL 3787 Blatt 1 (KRdL, 1997):

In der vorliegenden Richtlinie wird beschrieben, wie stadtklimatische Sachverhalte in Karten dargestellt, bewertet und über daraus abgeleitete Hinweiskarten für die Planung nutzbar gemacht werden können. Diese Karten stellen eine wichtige Grundlage für die Flächennutzungs- und Bauleitplanung auf kommunaler und regionaler Ebene dar und gewinnen im Zuge des Klimawandels und der Umweltgerechtigkeit zunehmend an Bedeutung.

Hinsichtlich der dargelegten Aspekte zur Human-Biometeorologie wird auf die Richtlinien VDI 3785 Blatt 1 und VDI 3787 Blatt 2 verwiesen, die wichtige, im Rahmen von Bewertungen der Wärmebelastung zu berücksichtigenden Faktoren ausführlich beschreiben und zudem die Grundlage dieser Richtlinie darstellen.

Die Erstellung einer klimatischen Planungshinweiskarte basiert auf den Ausweisungen der jeweiligen Klimaanalysekarte und beinhaltet immer einen Teil von Expertenwissen der Stadt- und Geländeklimatologie, um aus der Klimaanalyse die entsprechenden Planungshinweise abzuleiten. Die flächenhaften Ausweisungen der relativ einfach gehaltenen Einteilung der Hinweise für die Planung werden durch die entsprechenden Inhalte in der Klimaanalysekarte näher erläutert.

Planungshinweiskarten dienen vor allem dem Schutz und der Vorsorge zum Erhalt gesunder Lebens- und Arbeitsverhältnisse für die ansässige Bevölkerung. Das schließt die Sicherung bestehender günstiger lokalklimatischer und lufthygienischer Verhältnisse ebenso ein wie im Bedarfsfall die Verbesserung etwaiger Belastungssituationen.

Die Bewertung der im Analyseprozess gewonnenen Erkenntnisse in einer für die Regional-, Flächennutzungs- und Bauleitplanung verständlichen „Sprache“ fördert eine erfolgreiche Einbindung stadtklimatischer Anforderungen in Planungsprozesse.

Die bewertenden Stufen der PHK beinhalten Hinweise bezüglich der klimatischen Empfindlichkeit von Flächen gegenüber nutzungsändernden Eingriffen oder Bebauungsänderungen.

4.5.6 Anpassungsmanagement

Zur fachlich-inhaltlichen Umsetzung des Klimaschutzteilkonzeptes „Anpassung an den Klimawandel“ für die Stadt Kassel wird empfohlen, ein Anpassungsmanagement zu installieren. Eine Möglichkeit besteht darin, geförderte Sach- und Personalausgaben für geeignetes Fachpersonal durch die „Förderung einer Stelle für Klimaschutzmanagement“ der Initiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) zu beantragen.

4.5.7 Information „Klimaanpassung“

Die fertiggestellten Ergebnisse des Klimaschutzteilkonzeptes „Anpassung an den Klimawandel“ für die Stadt Kassel sollen abschließend in einer übersichtlichen und anwenderfreundlichen Broschüre von wenigen Seiten zusammengestellt werden. Neben einem kurzen methodischen Aufbau und einem Überblick der Rahmenbedingungen stehen die Gesamtstrategie und der Maßnahmenkatalog im Fokus.

Über die Verortung mit Hilfe der Klimafunktionskarte sollen vor allem die Akteure in der Verwaltung darin unterstützt werden, diese Anpassungsstrategie in ihren Arbeitsalltag zu integrieren. Hierüber soll eine Erläuterung gegeben werden, um sowohl das digitale Datenangebot in Form der Karten im PDF-Format (Portable Document Format) als auch die themenbezogenen Inhalte des Geoportals der documenta-Stadt Kassel (KASIS) zu nutzen.

Neben der Broschüre sollen weitere Informationsträger genutzt werden, um neben der Fachöffentlichkeit und den Akteuren der Verwaltung auch die Stadtöffentlichkeit und die Politiker zu erreichen. Hierzu wird ein Flyer mit einer Kurzvorstellung des Projektes eingesetzt, der Interesse wecken soll und auf die entsprechende Internetseite des Projektes verweist, auf der weitere Informationen erhältlich sind.

4.5.8 Schulung Infoveranstaltung

Neben der Informationskampagne „Klimaanpassung“ (Kap. 4.5.7) wird empfohlen, weitere thematische Formate durchzuführen, um ein breites Informationsangebot anbieten zu können. Hierzu zählen:

- eine Schulungsveranstaltung für die Akteure der Verwaltung/Sachbearbeiter der unterschiedlichen Ämter, um die Inhalte zu erläutern, die Anwendungsmöglichkeiten und den fachgerechten Umgang mit den Ergebnissen sowie die Grenzen der Aussagefähigkeit, bzw. die Robustheit/ Genauigkeit der Inhalte darzustellen;
- einen Fachtag (Bürgerveranstaltung);
- eine Magistratsveranstaltung für die Stadtöffentlichkeit im August 2017.

4.5.9 Aktualisierung Klimafunktionskarte ZRK

Die Analysen haben gezeigt, wie stark die Stadt Kassel innerhalb ihrer administrativen Grenzen vom klimatischen Gefüge des Kasseler Beckens geprägt und beeinflusst ist. Um eine nachhaltige

Klimaanpassung betreiben zu können, sind neben den Bereichen innerhalb der Stadtgrenzen (lokaler Hitzeabbau, Entsiegelung oder Renaturierungsmaßnahmen) großmaßstäbliche Anstrengungen über Gemeindegrenzen hinweg notwendig (Belüftungskorridore sowie Kalt- und Frischluftentstehungsgebiete).

Hierfür bietet das Gebiet des Zweckverbandes Raum Kassel die geeigneten Voraussetzungen. Empfohlen wird daher, die bereits vorliegenden Untersuchungen (Klimafunktionskarte 2009, ZRK) zu aktualisieren, bzw. an die neuen Kasseler Ergebnisse anzugleichen.

4.5.10 Sonstiges: Maßnahmen Stadtplanung /Landschaftsplanung

Zu den räumlichen Planungsempfehlungen unter den Punkten 1 bis 4 und der Maßnahme 5 „Planungshinweiskarte“ werden folgende vertiefende Maßnahmen angesiedelt:

1. In Gebieten nach § 34/ § 35 BauGB: Empfehlungen formulieren, die im Zuge von Veränderungen zu beachten sind (Klimaanpassungsstandards im Planen und Bauen).
2. Aus der Planungshinweiskarte Bereiche entwickeln, die aus Klimaanpassungserfordernissen planungsrechtlich gesichert werden sollen.

Die zu sichernden Bereiche:

- identifizieren (z.B. Kalt- und Frischluftschneisen in die Stadt hinein);
 - verifizieren (z.B. sind die Flächen bereits anderweitig gesichert? – Etwa LSG, NSG o.ä.);
 - priorisieren (z.B. wo besteht aus welchen Gründen Handlungsbedarf?);
 - Handlungswege aufzeigen (z.B. Aufstellung eines Bebauungsplanes).
3. Standards für die Sicherung in Bebauungsplänen unter Nr. 2. entwickeln (Festsetzungen zu Gestaltung, Bepflanzung, Gebäudestellung etc.).

4.6. Controlling-Konzept

Die Auswirkungen des Klimawandels (z.B. in Form von zunehmender Hitzebelastung oder Starkregenereignissen) sind nicht nur durch Maßnahmen zum Klimaschutz, sondern insbesondere durch Maßnahmen zur Klimaanpassung zu begrenzen. Klimaanpassung im Rahmen der Kommunalplanung bedeutet, bereits heute die Aspekte des Stadtklimas in aktuellen Planungen zu berücksichtigen. Da sich die Qualität vieler Stadtentwicklungsprozesse allerdings erst über einen längeren Zeitraum herausbildet bzw. erfassen lässt, ist eine kontinuierliche Beobachtung und Auswertung der Arbeitsprozesse sinnvoll. Mit einem Controlling kann die Planung, Steuerung und Überprüfung der Zielerreichung eines gesamtstädtischen Klimaanpassungskonzeptes unterstützt werden.

Auf Basis der klimatischen Grundlagen und insbesondere der Maßnahmenkarte sind die Planungsvorhaben klimatisch zu bewerten und Anpassungsmaßnahmen zum Erhalt oder zur Verbesserung der Verhältnisse zu evaluieren. Konkrete Baumaßnahmen, die in die entsprechende Kategorie der fallen, benötigen unter Umständen eine detaillierte Klimauntersuchung.

Es bestehen rechtliche Anforderungen sowie Instrumente der Stadt- und Regionalentwicklung, um die Umsetzung der Ergebnisse zu gewährleisten. Die Stärkung der Behandlung der Umwelt- und damit auch der Klimabelange in der Bauleitplanung sind im BauGB verankert. Im Rahmen des Flächennutzungsplans oder des Integrierten Stadtentwicklungskonzeptes als gesamtgemeindliche Planungsinstrumente können Maßnahmen, die der Anpassung an den Klimawandel dienen, dargestellt werden. Auch das Festlegen von Umweltzielen (z.B. Anteil der Neuversiegelung, Erhalt von Parkanlagen, Mindestanteile unversiegelter Flächen, gemäßigte Innenverdichtung) als strategische Planung kann der Klimaanpassung dienen.

Zudem ist ein dauerhaftes Monitoring der Klimatope der Klimafunktionskarte und insbesondere der städtischen Wärmeinsel empfehlenswert. Die verwendeten Messdaten der Messstationen des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie stammen aus kontinuierlichen Erhebungen, die in Zukunft weitergeführt werden. Ergänzend können einfache Messungen der Lufttemperatur von der Stadt Kassel an besonders relevanten Orten eingerichtet werden. Nach der Installation und der technischen Einführung eines Fachunternehmens kann die Betreuung und Auswertung im Rahmen eines Anpassungsmanagements mit zeitlich und finanziell geringen Aufwand betrieben werden. Die Temperaturdatensätze können genutzt werden, um mögliche stadtklimatische Änderungen analysieren zu können. Kenngrößen wie Hitze- und Sommertage oder die Andauer von Hitzeperioden können ausgewertet werden. Durch Vergleiche von Klimastationen in der Innenstadt und im Freiland (hier bietet sich der Vergleich der Messstationen des HLNUG Kassel-Mitte und Witzenhausen-Wald an) kann die Intensität der städtischen Wärmeinsel verfolgt werden. In sommerlichen Strahlungswetterlagen können die größten Unterschiede zwischen diesen beiden Stationen auftreten. Die Häufigkeit von Tropennächten ist zu überwachen.

Auch Klimasimulationsdatensätze können von Nutzen sein, um zukünftige Trends abzuschätzen. Zentrale Service- und Informationsinstitution Hessens ist hierfür das Fachzentrum Klimawandel Hessen des HLNUG. Hier werden zahlreiche Erfahrungen aus Aktivitäten und Projekten (auch anderer Kommunen) zu den Themen Klimawandel, Klimafolgenmonitoring, Klimaanpassung und Klimakommunikation gebündelt.

Eine Bilanzierung der Flächenumwandlung, z. B. von landwirtschaftlichen Flächen hin zu Siedlungs- oder Industrieflächen kann die klimaökologischen Veränderungen über die Zeit darstellen. Die Berechnung einer Klimafunktionskarte sollte mit aktualisiertem Datenmaterial ca. alle 10 Jahre durchgeführt werden. Über diesem Zeitraum haben sich die Flächennutzung und die Bebauung meist so deutlich geändert, dass diese klimawirksam werden, durchgeführte Anpassungsmaßnahmen wie Begrünung oder Freihaltung von Belüftungsbahnen sind darstellbar.

Eine Konkretisierung der Controlling-Ziele in Bezug auf einen bestimmaren zeitlichen Horizont ist grundsätzlich wünschenswert und zielfördernd. Für die von Seiten der Stadtverwaltung zu verantwortenden Handlungsschritte wird für die weitere Umsetzung der Klimaanpassungsstrategie die zeitliche Priorisierung des Maßnahmenkatalogs als Orientierungsgrundlage herangezogen. Die Erfahrungen der Vergangenheit zeigen, dass die Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen auf den unterschiedlichen Ebenen (z.B. räumliche Planungsempfehlungen oder auch Maßnahmen ohne Raumbezug) lange Zeiträume erfordern. Daher sollte eine aktive Weiterführung der Klimaanpassungsaktivitäten unverzüglich angegangen werden. Die aktive Umsetzung durch ein Klimaanpassungsmanagement könnte einen aktiven Startprozess generieren, der für die weitere jahrzehntelange Aufgabe der Anpassung der Stadt Kassel an den sich ebenfalls verändernden Klimawandel maßgebend wäre.

Mehrere Handlungsschritte erfordern die Mitwirkung privater Akteure und liegen daher nicht im unmittelbaren Steuerungseinfluss der Stadt. Eine Bestimmung zeitlicher Vorgaben ist deshalb aus mehreren Gründen nicht praktikabel.

Erste wichtige Prüfschritte zum generellen Aufbau und zur Umsetzung der Klimaanpassungsstrategie sind daher:

- Die politische Beschlussfassung des Klimaschutzteilkonzeptes Klimaanpassung als Arbeitsgrundlage für die weitere Umsetzung durch die Verwaltung;
- Der Aufbau einer AG Klimaanpassung zur Verstetigung der ämterübergreifenden Zusammenarbeit in der Stadtverwaltung;
- Die kontinuierliche Pflege der Klimafunktionskarte und ihre Aktualisierung alle 10 Jahre sowie die Ergänzung durch Hinterlegung der mikroklimatischen Teilgutachten, die für sensible Gebiete vorliegen;
- Installation eines Messnetzes zur Überwachung der bodennahen Lufttemperatur;
- Die Bereitstellung kommunaler Mittel für Anreizprogramme zur Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen im Bestand privater Grundstücke sowie zum Ankauf und/oder Zwischenerwerb von Grundstücken.

Zu berücksichtigen ist das kommunale Klimaschutzteilkonzept „Klimagerechtes Flächenmanagement im Kasseler Osten“ (2016). Es bietet die Chance weiterer integrierter Zusammenarbeit in der gewerblichen Innenentwicklung. Die gewerblichen Potenzialflächen wurden hierin mittels Pilotquartieren untersucht und mit dem Betrachtungsfilter der Freiraum- und Umweltpotenziale in ihrer Machbarkeit überprüft. Dieser Ansatz lässt eine integrierte Stadtentwicklung unter Berücksichtigung der Aspekte zur Klimaanpassung (Hitze, Starkregen, Entsiegelung) zu. Die zusammenfassende Potenzialbewertung zeigt ökologische Potenziale auf, die in den vier Kategorien

Baulücken, Brachen, betriebliche Reserveflächen und untergenutzte Flächen Potenzialflächen für Renaturierungs- und Begrünungsmaßnahmen sowie Zwischennutzungen durch Grün aufzeigen. Diese Potenziale sind vor dem Hintergrund der Klimaanpassungsaspekte zu bewerten und in die weitere Zielkonzeption/integrierte Entwicklung einzubringen. Die beschriebene Nutzungsintensivierung von Flächen der Pilotquartiere im Zusammenhang mit der prognostizierten Zunahme der Überwärmung zeigt auf, dass hier eine Konfliktlinie entsteht. Wege zu einer doppelten Innenentwicklung vor dem Hintergrund der Planungsempfehlungen Klimaanpassung sind auch in diesem Bereich zu berücksichtigen und zu kommunizieren.

4.7 Kommunikation

Um die Ergebnisse des Klimaschutzteilkonzeptes „Anpassung an den Klimawandel“ für die Stadt Kassel in Umsetzungsprozesse einbinden zu können, ist die Kommunikation und Einbindung kommunaler Akteure und Verbände, der Fachöffentlichkeit sowie von Privatpersonen vorgesehen.



Abbildung 30: Kommunikationsstrategie – Klimaanpassung für die Stadt Kassel.

Das Thema Klimaanpassung wird die Stadt Kassel sowie die gesamte Region in den nächsten Jahrzehnten begleiten und stellt eine Herausforderung zur Öffentlichkeitsarbeit und der Beteiligung relevanter Akteure dar.

Anlassbezogene Kommunikation (Hitzetage, Starkregenereignisse, Artensterben, Gesundheitsbelastungen etc.) in den örtlichen Medien erzeugt aus derzeitigen Erfahrungswerten höhere Akzeptanz in der Stadtöffentlichkeit zur Notwendigkeit von Klimaanpassungsmaßnahmen. Diese Chancen gilt es in der weiteren Strategie zu nutzen, um eine Mitarbeit und Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen und -aktivitäten im eigenen Bereich zu motivieren. Ständiger Austausch auch in der Verwaltung und mit der Stadtöffentlichkeit sowie daraus resultierende Ansprachen in den unterschiedlichen Bereichen erhöht die Sensibilität und Umsetzungsbereitschaft. Zielgruppenspezifische Formate über bestehende Kontakte aus der Verwaltung sind hierbei genauso zielführend wie die Gewinnung von Multiplikatoren in der Stadtgesellschaft.

Die Kommunikationsstrategie setzt sich aus zwei Komponenten zusammen. Zum einen gab es Aktionen und Veranstaltungen, die schon während der Erarbeitung in der Projektlaufzeit durchgeführt wurden, um eine möglichst hohe Akzeptanz und Offenheit gegenüber des Themas

„Klimaanpassung“ bei den Akteuren der Verwaltung, den Verbänden und weiteren Institutionen zu bewirken. Zum anderen besteht die Kommunikationsstrategie aus einem zweiten Teil, der nach Fertigstellung des Klimaschutzteilkonzeptes die Ergebnisse zusammenfasst und weiterträgt. Hierzu dienen die Maßnahmen 7 und 8 des Maßnahmenkatalogs (Kapitel 4.5.7 und 4.5.8).

Um die Öffentlichkeit zu informieren und um eine breite Akzeptanz zu schaffen, wurden Präsentationsvorschläge (z.B. Flyer und Internetauftritt) entwickelt, so dass die Inhalte des Projektes schnell und verständlich vermittelt werden. Der entwickelte Entwurf eines Handlungsleitfadens in Broschürenform fasst die wesentlichen Inhalte und Ergebnisse des Klimaschutzteilkonzeptes „Anpassung an den Klimawandel“ zusammen und erläutert die Maßnahmenkarte. Ziel ist es, übersichtsartig die Resultate des Projektes darzustellen und das methodische Vorgehen zu erörtern, um die Umsetzung zu initiieren und zu fördern.

Desweiteren liefern die betriebenen Messstationen permanent Daten verschiedener meteorologischer Parameter, die zeitnah online zur Verfügung stehen. Aktuell vorliegende Messwerte könnten dargestellt und langzeitige Messreihen statistisch ausgewertet werden (z.B. Anzahl Sommertage pro Monat), um die Thematik stets aktuell zu halten.

Ein Hitzewarnsystem wird seit dem Hitzesommer 2003 vom Deutschen Wetterdienst betrieben und bietet ein Warnmodul an, in dem eine stadt-/landkreisbezogene amtliche Warnung zur Verfügung gestellt wird. Die ständig aktualisierten Warnungen können problemlos implementiert werden.

Zu den bereits durchgeführten Veranstaltungen und Aktionen zählen:

- Planungsgespräche Dezernat VI “Dezernat für Verkehr, Umwelt, Stadtentwicklung und Bauen“, siehe Kapitel 4.4 „Akteursbeteiligung“;
- Informationsveranstaltung zum Klimaschutzteilkonzept „Anpassung an den Klimawandel“ für die Stadt Kassel unter dem Titel „Stand der Dinge“, begleitend zur 2. Klimaanpassungskonferenz Nordhessen. Teilnehmer vor allem Vertreter aus den Umlandgemeinden/Landkreis;
- Präsentationen und Berichte im Rahmen der Bauamtsleiterrunde des ZRK;
- Einzelgespräche mit Vertretern der Verwaltung, Verbänden und weiteren Institutionen, siehe Kapitel 4.4 „Akteursbeteiligung“;
- Stand auf dem Marktplatz „Kommunale Klimaanpassung“ im Rahmen der 2. Klimaanpassungskonferenz Nordhessen mit Posterpräsentation und Rollup (s. Abbildung 1);
- Presseerklärung (s. Abbildung 31);
- Onlineauftritt (<http://www.stadt-kassel.de/projekte/infos/23050/>);
- Bürgerinformation „Anpassung an den Klimawandel für die Stadt Kassel“ am 15.08.2017.



Abbildung 31: Ausstellungsstand Marktplatz „Kommunale Klimaanpassung“.



Abbildung 32: Artikel in der HNA (Hessische Niedersächsische Allgemeine) Zeitung vom 22.07.2016.

Die empfohlenen Veranstaltungen und Aktionen, die nach Fertigstellung des Klimaschutzteilkonzeptes „Anpassung an den Klimawandel“ für die Stadt Kassel durchgeführt werden sollten, sind im Einzelnen im Maßnahmenkatalog in den Kapiteln 4.5.7 und 4.5.8 beschrieben.

5. Ausblick

Das Land Hessen hat 2017 einen Klimaschutzplan vorgestellt und auf Landesebene beschlossen. Darin sind sowohl Klimaschutz- als auch Klimaanpassungsmaßnahmen enthalten.

Die in diesem Bericht beschriebenen Maßnahmen lassen sich in den Klimaschutzplan integrieren, da auf Landesebene nur allgemeine Maßnahmen und Aktionen beschrieben werden, die auf kommunaler Ebene umgesetzt werden können. Von entscheidender Bedeutung wird sein, wie die hier beschriebenen Maßnahmen und verbindliche Planwerke übernommen werden. Isolierte Fachpläne allein reichen nicht aus.

Grundlage sollte in allen Bereichen Klimafunktionskarten sein, welche Maßnahmen lokalisieren und effektiv machen können. Klimafunktionskarten entstehen auf allen Planungsebenen und sollten gemäß den vorgegebenen Richtlinien angewandt werden (VDI 3737 Bl.1). Der Verweis auf Richtlinien ist insofern wichtig, da hier die Arbeitsansätze von Klima, Klimawandel und Umsetzung wissenschaftlich fundiert beschrieben wurden.

Landesentwicklungsplan:	Flächenschutz, Vorranggebiete, Mobilität;
Regionale Raumordnungsplan:	Vorranggebiete Luftleitbahn, Flächenschutz, Wasser;
Flächennutzungsplan: Energiepotential;	Verbindliche Flächen für Klimaschutz + Klimaanpassung,
Bauleitplanung:	Oberflächen- und Fassadengestaltung, Energiepotential;
Hessische Bauordnung: Oberflächengestaltung.	Integration des Klimaschutzes in Gebäude- und

Bei allen Maßnahmen und Strategien zur Klimaanpassung ist zentral zu beachten, dass sie auf die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen bezogen sein müssen. Oft wird hier der Effekt auf die Lufttemperatur überbewertet. Planerisch kann effektiver auf die Ventilation und die Strahlung Einfluss genommen werden. Dieser auf der Wärmebilanz des Menschen basierte Ansatz muss, neben den lokalen Besonderheiten, noch mehr in die Planung eingebunden werden.

Steigerung urbaner Klimaanpassungskapazitäten durch Wissenschaft-Praxis-Kooperationen (KliWiPraKo)

Neben der Entwicklung des KTA-KS wurde und wird noch bis zum 30. Juni 2018 gemeinsam durch die Universität Kassel und die Stadt Kassel das Projekt „Steigerung urbaner Klimaanpassungskapazitäten durch Wissenschaft-Praxis-Kooperationen (KliWiPraKo)“ bearbeitet. Dieses Projekt verfolgt komplementär zum KTA-KS das übergeordnete Ziel, die Anpassungskapazität der Stadtregion Kassel innovativ und vorbildhaft zu steigern.

Zur Verminderung der Vulnerabilität der Stadt Kassel gegenüber dem Klimawandel setzt das KTA-KS schwerpunktmäßig bei der Verringerung der Sensitivität an. D.h., dass organisatorische, bauliche oder sonstige Anpassungsmaßnahmen identifiziert, definiert und priorisiert werden, die zur Verringerung der Sensitivität von Menschen, Tieren sowie Natur- und Sachgütern führen.

Das Projekt KliWiPraKo hingegen setzt in erster Linie bei der Erhöhung der Klimaanpassungskapazität an. D.h., dass Maßnahmen und Instrumente entwickelt und umgesetzt werden, die die Fähigkeit zur Anpassung, also die Anpassungskapazität erhöhen. Das Projekt ermittelt hierfür die gegenwärtige Anpassungskapazität der Stadt Kassel, um konkrete Ansatzpunkte für die gezielte Steigerung der Anpassungskapazität zu bestimmen.

Mit Blick auf die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen, die der städtischen Überwärmung – aber auch der Bewältigung von Starkregenereignissen – entgegenwirken, kommt dem Handlungsfeld „Planung“ eine Schlüsselrolle zu. Folglich wurden durch das Projekt KliWiPraKo die gegenwärtigen Anpassungskapazitäten und Anpassungskapazitätsdefizite im Handlungsfeld „Planung“ ermittelt. Im Rahmen von Fallanalysen wurde der Frage nachgegangen, wie und durch wen Klimaanpassungsaspekte im Rahmen von Bebauungsplanverfahren Eingang in Bebauungspläne finden. Ausgehend von den festgestellten Ansatzpunkten und Notwendigkeiten zur Verbesserung der Anpassungskapazität im Bereich Planung werden aktuell Instrumente und Maßnahmen zur gezielten Steigerung der Anpassungskapazität identifiziert, entwickelt und konkrete Umsetzungsmöglichkeiten sondiert. Für den Bereich der Bebauungsplanung werden momentan zum Beispiel folgende Maßnahmen und Instrumente betrachtet:

Um die Nutzung der Klimafunktionskarte in Bebauungsplanverfahren zu verbessern, könnte ein Anwenderworkshop organisiert werden. Weiterhin könnten die Festsetzungen von Dach- und Fassadenbegrünung durch einen Leitfaden oder ein Schema für entsprechende Festsetzungen optimiert werden. Bei stadtklimatologisch kritischen Flächen können mikroklimatische Gutachten zur Ermittlung und Verdeutlichung der Wirkungen der Nutzungsänderung und potenzieller Begrünungsmaßnahmen beitragen. Um die Einholung von mikroklimatischen Gutachten zu fördern, sollten klare Regelungen bezüglich der Frage, wer nach welchen Kriterien über die Einholung mikroklimatischer Gutachten bestimmt und wer die Kosten für diese Gutachten trägt, getroffen werden. Außerdem könnten durch die Entwicklung und Verabschiedung eines planungsorientierten stadtklimatischen Zielsystems (Grünflächenanteil, entsiegelte Flächen, Bäume, begrünte Dachfläche, Kaltluftleitbahnen...) sowohl städtebauliche Planungserfordernisse als auch konkrete Festsetzungen gestützt werden. Zur Verringerung des Vollzugsdefizits bzgl. grünordnerischer Festsetzungen in Bebauungsplänen ist zu prüfen, durch welche zusätzlichen, möglicherweise synergetischen Kontrollmechanismen die Vollzugsdefizite verringert werden können. Ein Ansatzpunkt ist hier die Regelung einer konkreten Nachweispflicht im Rahmen der Beantragung einer verringerten Niederschlagswassergebühr.

Auch wenn die Bauleitplanung ein zentrales Steuerungsinstrument der Kommune ist, so sind – nicht zuletzt im Hinblick auf den unbeplanten Innenbereich – auch abseits der Bauleitplanung Strukturen und Instrumente notwendig, um eine verstärkte städtische Durchgrünung zu fördern. Zu erwägen ist hier zum Beispiel die Formulierung und Verwendung von Grüngestaltungskriterien für städtebauliche Wettbewerbe und Gutachterverfahren. Ein weiterer Ansatzpunkt besteht in der Entwicklung einer Argumentationshilfe zur Überzeugung von privaten Investoren von Gebäudebegrünungsmaßnahmen. Schließlich könnten im Rahmen eines städtischen Vorzeigeprojektes zu Demonstrationszwecken beispielgebende Begrünungsmaßnahmen realisiert werden, um Architekten und Investoren für Gebäudebegrünungsmaßnahmen zu sensibilisieren.

Mit der Beendigung des Projektes KliWiPraKo werden besonders zielführende Maßnahmen und Instrumente beispielhaft realisiert sein. Dadurch werden Voraussetzungen, Bedingungen, Strukturen und Instrumente geschaffen bzw. implementiert, die die Umsetzung des KTA-KS konkret unterstützen werden.

Klimaschutzteilkonzept Radverkehr

Das derzeit bearbeitete Klimaschutzteilkonzept Radverkehr konkretisiert sowohl den Verkehrsentwicklungsplan (VEP 2030) als auch das Integrierte Klimaschutzkonzept (IKK) und soll am 31.12.2017 abgeschlossen werden. Das Klimaschutzteilkonzept Radverkehr hat eine Auftragssumme von circa 140.000€, wovon in etwa 67.500€ gefördert werden.

Grundlegendes Ziel ist eine signifikante Steigerung des Radverkehrsanteils am Modal Split, wozu das Konzept eine konkrete Umsetzungsstrategie liefern soll. Potentiale bilden eine Erhöhung der Lebensqualität in der Stadt, eine bessere Erreichbarkeit sowie die Reduzierung von Lärm und Stau. Das Konzept zeigt Einspar- und Verlagerungspotentiale durch eine Steigerung des Radverkehrs auf und vermag CO₂-Emissionen zu senken.

Die Besonderheit bei diesem Konzept ist die vielfältige Öffentlichkeitsarbeit: Es fanden mehrere Workshops, ein Fachforum sowie zwei geführte Radtouren mit Bürgerbeteiligung und ein Termin zur Kinder- und Jugendbeteiligung statt. Somit soll sichergestellt werden, dass die Bedürfnisse der Bürger einfließen können und das Konzept Rückhalt erfährt.

6. Literatur

Baugesetzbuch (BauGB):

Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. September 2004 (BGBl. I S. 2414), zul. geändert 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474).

Baumüller, J.; Hoffmann, U.; Reuter, U. 1995:

Städtebauliche Klimafibel, Hinweise für die Bauleitplanung Folge 2. Stuttgart: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg.

Brandenburg C., Matzarakis, A. 2007:

Das thermische Empfinden von Touristen und Einwohnern der Region Neusiedler See. In: Matzarakis, A., Mayer, H. (Eds.), Proceedings zur 6. Fachtagung BIOMET. Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg Nr. 16, 67-72.

Häckel H. 1985:

Meteorologie. UTB – Ulmer, Stuttgart.

HMUELV 2012:

Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Hessen (Hessische Anpassungsstrategie). Wiesbaden.

Hupfer P., Kuttler, W. 1998:

Witterung und Klima B.G. Teubner Stuttgart.

Höppe, P. 1999:

The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. Int. J. Biometeorol. 43, 71-75.

IPCC 2007:

Climate Change 2007: Impacts, Adaption and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds. , Cambridge University Press, Cambridge, Uk, 976pp.

Katzschner, L. 2004:

Beitrag der Stadtklimatologie zu den Zielen einer neuen Urbanität UVP Report, Nr. 1/2004, Hamm.

Katzschner, L.; Katzschner, A.; Kupski, S. 2010:

Abschlussbericht des BMBF Verbundprojekts KLIMES. Teilvorhaben Planerische Bewertung der kleinräumigen Stadtklimaanalyse zur Umsetzung der Maßnahmen „Anpassung an Klimaextreme“, Universität Kassel.

Katzschner, L. 2011:

Urban Climate Strategies Against Future Heat Stress Conditions. Resilient Cities: Cities and Adaptation to Climate Change. Proceedings of the Global Forum 2010. K. Otto-Zimmermann. Dordrecht, Heidelberg, London, New York, Springer: 79-89.

Kuttler, W. 2011:

Klimawandel im urbanen Bereich, Teil 1, Wirkungen; Climate change in urban areas, Part 1, Effects. In: Environmental Sciences Europe (ESEU), Springer open, DOI: 10.1186/2190-4715-23-11, S. 1-12.

Lohmeyer, A. 2008:

Klimafunktions- und Klimaplanungskarten, Lohmeyer Aktuell, 20/2008, Karlsruhe.

Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (ehem. MUNLV NRW) 2010:

Handbuch Stadtklima– Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel. Düsseldorf.

Oke, T. R. 2006:

Boundary layer climates. Routledge. London. New York.

Robel F., Hoffmann U., Riekert A. 1978:

Daten und Aussagen zum Stadtklima von Stuttgart auf der Grundlage der Infrarot Thermographie Beiträge zur Stadtentwicklung Nr. 15, Stadt Stuttgart.

TA Luft 2002:

Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) vom 24.07.2002 (GMBI. S. 511).

VDI 2008:

Richtlinie 3785 Blatt 1 Umweltmeteorologie – Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

VDI 2008:

Richtlinie 3787 Blatt 2 Umweltmeteorologie – Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung – Teil I: Klima. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

VDI 2015:

Richtlinie 3787 Blatt 1 Umweltmeteorologie – Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

7. Anlagen

Anlage I: Klimafunktionskarte Stadt Kassel 2017 (im Original Din A1)

Anlage II: Gesamtstrategie Anpassung an den Klimawandel Stadt Kassel 2017 (im Original Din A1)