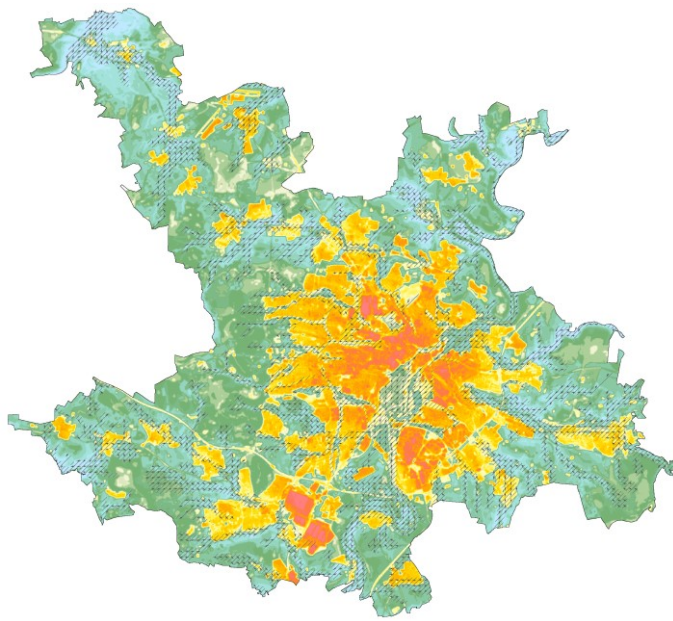




KLIMAANALYSE ZWECKVERBAND RAUM KASSEL

Klimaanalyse zur Ermittlung des Gefährdungspotenzials sowie Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel für den Zweckverband Raum Kassel.

Klimaanalyse zur Ermittlung des Gefährdungspotenzials sowie Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel für den Zweckverband Raum Kassel

Auftraggeber: Zweckverband Raum Kassel
Ständeplatz 13
34117 Kassel



Auftragnehmer: INKEK GmbH
Institut für Klima- und Energiekonzepte
Schillerstraße 50
34253 Lohfelden



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

Dipl.-Ing. Wiebke Kirchhof

Gefördert mit Mitteln des Landes Hessen



Hessisches Ministerium für Umwelt,
Klimaschutz, Landwirtschaft und
Verbraucherschutz

Integrierter
Klimaschutzplan
Hessen 2025



Lohfelden im Oktober 2019

Bei allen Bezeichnungen, die auf Personen bezogen sind, meint die gewählte Formulierung beide Geschlechter, auch wenn aus Gründen der leichten 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.

Inhalt

1. HINTERGRUND.....	5
2. EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG	7
2.1 ZIELE VON STADTKLIMAAANALYSEN	9
2.2 STADTKLIMATISCHER BEWERTUNGSINDEX	11
3. METHODIK.....	13
3.1 EINFÜHRUNG KLIMAFUNKTIONSKARTE	13
3.2 METHODIK ZUR ERSTELLUNG VON KLIMAFUNKTIONSKARTEN	13
4. DATENGRUNDLAGE	16
4.1 DATENBESTAND KLIMAAANALYSE ZWECKVERBAND RAUM KASSEL.....	16
5. METEOROLOGISCHE EINORDNUNG	17
5.1 AUSWERTUNG DER MESSKAMPAGNE SOMMER 2018.....	18
6. ÜBERSICHT DER THEMENKARTEN	23
6.1 GEBÄUDEVOLUMEN.....	26
6.2 KALTLUFTMODELLIERUNG MIT KLAM_21	28
6.3 HANGNEIGUNG.....	30
6.4 LOKALES BELÜFTUNGSSYSTEM	32
7. KLIMAFUNKTIONSKARTE	34
7.1 KLIMATOPE	34
7.2 LEGENDE DER KLIMAFUNKTIONSKARTE	40
7.3 KLIMAFUNKTIONSKARTE	41
7.4 BALANZIERUNG.....	42
8. PLANUNGSHINWEISKARTE (PHK).....	44
8.1 BESCHREIBUNG DER RÄUMLICHEN PLANUNGSHINWEISE.....	44
8.2 LEGENDE DER PLANUNGSHINWEISKARTE	46
8.3 PLANUNGSHINWEISKARTE	47
9. ZUKUNFT	48
9.1 SZENARIO I („BAULICHE ENTWICKLUNG“)	50
9.2 SZENARIO II („KLIMAWANDEL“)	51
10. KOMMUNALE AKTIONSMAPPE - VERKNÜPFUNG VON KLIMASCHUTZ- UND KLIMAAANPASSUNGSMAßNAHMEN.....	52
11. SCHLUSSBETRACHTUNG	80
12. LITERATUR	82
13. ANLAGE	84

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema "Thermischer Wirkungskomplex".....	12
Abbildung 2: Prinzipielle Vorgehensweise zur Erstellung einer Stadtklimakarte nach Lohmeyer 2008.....	14
Abbildung 4: Windrose Kasseler Stadtstation (1984-2004).	17
Abbildung 5: Lage der stationären Messorte.....	18
Abbildung 6: Jahresgang der Lufttemperatur (2018) an der Station des HLNUG Kassel-Mitte (rot) und Witzenhausen-Wald (grün).	19
Abbildung 7: Auswertung einer Strahlungsnacht (02.-03.08.2018) während der Messkampagne.....	20
Abbildung 8: Windrose während einer austauscharmen Wetterlage, Lohfelden-Vollmarshausen.	21
Abbildung 9: Vergleich der Kaltluftsimulationsergebnisse und der stationären Messungen... ..	22
Abbildung 10: Schematische Darstellung der angewandten Methode.....	25
Abbildung 11: Blockmodell (Ausschnitt).....	26
Abbildung 12: Themenkarte „Gebäudevolumendichte“, ohne Maßstab (Original in Anhang I).....	27
Abbildung 13: Kaltluflhöhe berechnet mit dem Kaltluftmodell des Deutschen Wetterdienstes KLAM_21, ohne Maßstab (Original in Anhang I).	29
Abbildung 14: Themenkarte „Hangneigung“, ohne Maßstab (Original in Anhang I).....	31
Abbildung 15: Themenkarte „Dynamik“, ohne Maßstab (Original in Anhang I).	33
Abbildung 16: Legende der Klimafunktionskarte ZRK 2019.	40
Abbildung 17: Klimafunktionskarte ZRK 2019, ohne Maßstab (Original in Anhang II).	41
Abbildung 18: Übersicht der Mitgliedsgemeinden des ZRK.....	42
Abbildung 19: Klimaökologische Flächenbilanzierung des ZRK in Prozent der Gesamtfläche des Verbandsgebietes.	43
Abbildung 20: Legende der Planungshinweiskarte mit abgestimmten Planungshinweisen.	46
Abbildung 21: Planungshinweiskarte des ZRK 2019, ohne Maßstab (Original in Anhang II).....	47
Abbildung 22: ZRK Szenario I „Bauliche Entwicklung“, ohne Maßstab (Original in Anhang III).	50
Abbildung 23: ZRK Szenario II „Klimawandel“, ohne Maßstab (Original in Anhang III).	51
Abbildung 24: Darstellung des Zusammenhangs Klimaschutz und Klimaanpassung.....	52

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bereiche von Hitzestress in Abhängigkeit des Bewertungsindex PET (Katzschner et al. 2010).	12
Tabelle 2: Steuerungsinstrumente für die Planung auf unterschiedlichen Maßstabsebenen und entsprechende Fachbeiträge.	15
Tabelle 3: Digitale Eingangsdaten.....	16
Tabelle 4: Ausgewählte Schwellenwerte der Lufttemperatur zur Charakterisierung des Klimas.	19
Tabelle 5: Gegenüberstellung der sogenannten RCP-Szenarien.....	49

1. HINTERGRUND

Der Zweckverband Raum Kassel (ZRK) ist im Raum Nordhessen angesiedelt und wurde 1974 durch das „Kasselgesetz“ gegründet.

Zu den Mitgliedern des Verbandes gehören aktuell die Städte und Gemeinden Ahnatal, Baunatal, Calden, Fuldabrück, Fulda, Kassel, Kaufungen, Lohfelden, Niestetal, Schauenburg und Vellmar sowie der Landkreis Kassel.

Insgesamt umfasst das Verbandgebiet eine Gesamtfläche von 379km² mit insgesamt ca. 330.000 Einwohnern.

Die klimatische Ausgangssituation für den Raum Kassel ist geprägt durch die Kessellage des Kasseler Beckens mit den umgebenden Randhöhen des Habichtswaldes im Westen, sowie dem Kaufunger Wald und der Söhre im Osten. Aufgrund dieser Orografie kommt es zu zahlreichen sogenannten Inversionswetterlagen, die zu einer Reduzierung des Luftaustausches führen. Hieraus resultiert bei austauscharmen Wetterlagen im Sommer eine potenzielle Überwärmungsgefährdung für das gesamte Kasseler Becken und stark verdichtete Flächen. Im Winter sind hohe Konzentrationen von Luftschadstoffen die Folge.

Vor diesem Hintergrund werden im Kasseler Raum bereits seit Jahrzehnten klimatische Untersuchungen durchgeführt. Im Jahr 1999 flossen die Erkenntnisse mit aktuellen Analysen in ein Klimagutachten ein, welches als Ergebnis eine Klimafunktionskarte sowie eine Klimabewertungskarte für das Gebiet des Zweckverbandes Raum Kassel enthält. Im Rahmen des Forschungsprojektes zum Klimawandel (KLIMZUG-Nordhessen) im Jahr 2008 ergab sich die Möglichkeit, die Klimafunktionskarte fortzuschreiben. Die im März 2010 fertiggestellte Klimafunktionskarte „Klimafunktionskarte 2009 mit Zukunftsprognosen, Zweckverband Raum Kassel“ beinhaltet neben einem textlichen Teil mit Erhebungsmethodik, Darstellung des Untersuchungsraumes, Funktionsanalyse sowie Planungshinweisen eine Klimafunktionskarte 2009 für das Gesamtgebiet, sowie 4 Teilkarten mit differenzierten Planungsaussagen. Zukunftsprognosen auf Basis der Darstellung des neuen Flächennutzungsplanes des ZRK 2009 sowie mit den zu erwartenden Temperaturveränderungen werden in den Klimafunktionskarten 2020 und 2030 dargestellt.

Die Klimafunktionskarte 2009 des ZRK etablierte sich schnell als wichtige Planungsgrundlage für den Raum Kassel und wird auch im internationalen Kontext als erfolgreiches Beispiel herangezogen.

Die Stadt Kassel hat ein Klimaschutzteilkonzept „Anpassung an den Klimawandel“ erarbeiten lassen, welches 2017 fertiggestellt wurde. Es beschreibt die aktuelle klimatische Situation, enthält Maßnahmenvorschläge und Planungsvorschläge, um den Klimaveränderungen zu begegnen. Die Darstellung der Ergebnisse bezieht sich auf die administrativen Grenzen der Stadt Kassel, die Berechnungsgrundlagen beziehen allerdings die klimatischen Gegebenheiten der Umgebung ein. Denn die Außenbereiche von Kassel mit z.B. dem Habichtswald, dem Kaufunger Wald und der

Söhre, aber auch besonders die Gewässerläufe und die damit verbundenen Luftleitbahnen, haben direkten Einfluss auf die klimatischen Bedingungen der Kernstadt.

Vor dem Hintergrund des aktuellen Klimaanpassungskonzeptes der Stadt Kassel und der empfohlenen fachgutachterlichen Maßnahme, den Untersuchungsraum auf das Kasseler Becken bzw. den ZRK zu erweitern, um alle relevanten klimatischen Vorgänge und Wechselbeziehungen zu erfassen, sowie der nunmehr fast 10 Jahre alten Klimafunktionskarte des ZRK bot sich dafür eine gute Gelegenheit.

Zudem kann mittlerweile auf ein technisch weiterentwickeltes Datenmodell zurückgegriffen werden. Auf dieser Basis können nun Aussagen über das Kaltluftgeschehen gemacht werden, eine quantitative Bewertung, wird dadurch ermöglicht. Diese Erweiterung bietet große Vorteile zu den vorangegangenen Verfahren, da die Kaltluftmengen einen entscheidenden Einfluss auf das Stadtklima haben.

Basis für die Darstellung bildet dabei die aktuelle Fassung der VDI 3787 Blatt 1:2015-09 (Umweltmeteorologie - Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen). Sowie die VDI 3787 Blatt 8: Gründruck (Umweltmeteorologie - Stadtentwicklung im Klimawandel).

2. Einleitung und Aufgabenstellung

Der Sommer 2018 und auch der aktuelle Sommer 2019 zeigten durch die extrem langen und trockenen Hitzephasen die prognostizierten Auswirkungen des voranschreitenden Klimawandels auf. Besonders in eher gemäßigten klimatischen Bereichen, wie Nordhessen, wurden die Folgen für die Bevölkerung bereits deutlich spürbar.

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 dynamische Aspekte geprägt wird. Starken Einfluss nimmt dabei der Mensch, da durch den Eingriff und die Veränderung der Umwelt auch die klimatischen Bedingungen beeinflusst und verändert werden. Ausgehend von einem hohen Versiegelungsgrad der Oberflächen, dem teilweise sehr geringen Vegetationsanteil, der Wärmespeicherfähigkeit der verwendeten Materialien sowie dem eingeschränkten Luftaustausch aufgrund der hohen Bodenrauigkeit, stellt der städtische Raum im Vergleich zum Umland eine veränderte Ausgangslage dar.

Der stadtklimatische Hintergrund im gesamten Kasseler Becken stellt dabei eine besondere Herausforderung dar. Da in diesem Bereich durch die bereits beschriebene Topografie ein besonders sensibler Austausch von Luftmassen zu erwarten ist, muss auch der umliegende Bereich des Gemarkungsgebietes der Stadt Kassel in klimatischen Betrachtungen berücksichtigt werden. Die administrative Stadtgrenze auf den Bereich des Verbandsgebietes auszudehnen, und ebenfalls in einer verfeinerten Untersuchungsmethodik zu betrachten, ist daher eine logische Konsequenz. Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Bereichen können nur so sinnvoll betrachtet und in Bezug gesetzt werden.

Zusätzlich soll ein Szenario der möglichen klimatischen Veränderungen in den nächsten Dekaden entwickelt werden. Dazu soll neben einer Veränderung der sehr dynamischen Bebauungssituation (Flächennutzung), auch auf die Auswirkungen des prognostizierten Klimawandels eingegangen werden.

Abschließend steht dem Zweckverband Raum Kassel eine Klimaanalyse zur Ermittlung des Gefährdungspotenzials sowie Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel zur Verfügung, planungsrelevante Aufgaben, Maßnahmen und Empfehlungen für eine klimabewusste Entwicklung stehen bereit. Dafür werden als Grundlage u.a. folgende Kartenwerke angefertigt:

Klimafunktionskarte

Ziel dieser Untersuchung ist es, das Verbandsgebiet in der Ist-Situation detailreich zu analysieren, um Grundlagen für die räumliche Interpretation der Klimawirkung von Vegetation, Baudichten bzw. Bauhöhen zu erhalten. 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 als auch regionale dynamische Prozesse (z. B. Luftleitbahnen, Kalt- und Frischluftabflüsse) abgelesen werden. Durch die unterstützende Messkampagne konnten die Modellergebnisse validiert werden und eine Kalibrierung der Klimatopkategorien konnte eine weitere Steigerung der Aussagekraft ermöglichen.

Planungshinweiskarte

Um die Integration der Ergebnisse in die Planungsprozesse reibungslos zu gestalten, wurde aufbauend auf der KFK eine Planungshinweiskarte (PHK) abgeleitet, in der die analysierten und vielschichtigen Ergebnisse zusammengefasst sind. Durch die vereinfachte Darstellung ist es möglich, schnell und eindeutig eine Einschätzung der klimatischen Bedeutung einer Fläche zu erhalten. Auf Basis eines Katalogs mit Planungsempfehlungen können fundierte und lokal abgestimmte Maßnahmen direkt den Flächen zugeordnet werden.

Geeignete Wetterlage für stadtklimatische Untersuchungen laut DMG (Deutsche Meteorologische Gesellschaft):

„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: 2015-09):

„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 an austauscharmen Strahlungswetterlagen vermehrt den Hitzestress, vor allem innerhalb windschwacher Stadträume. Zu beachten ist somit, wie sich der Wärmeinseleffekt und die Belüftung, auf die Lufthygiene und den thermischen Komfort auswirken. Die Hitzewellen im Juni und August 2003, im Juli/August 2015 sowie im Sommer 2018 und 2019 sind dafür eindrucksvolle Beispiele.

Damit Leistungsfähigkeit, Wohlbefinden und Gesundheit von Menschen in Städten auch zukünftig gesichert sind und lebenswerte urbane Räume weiterhin ermöglicht werden, 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 begrenzt bleiben. Solche praxistauglichen Planungsleitfäden werden auf den unterschiedlichen Ebenen in Bundesländern (für Hessen: Anforderungen an die Berücksichtigung klimarelevanter Belange in kommunalen Planungsprozessen - Leitfaden für Kommunen -) und im Bereich der Forschung (Universität Kassel 2010) entwickelt. Sie sollen Konzepte beinhalten, auf welche Weise in bestehenden städtischen Strukturen der Hitzestress für Menschen minimiert werden kann, sodass ihr thermischer Komfort nur in erträglichem Ausmaß beeinträchtigt wird.

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 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 werden deshalb vor dem Hintergrund der Stadtentwicklungsprozesse geschehen, 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 als Überwärmungsbereiche,

Frischlufthversorgung und Luftleitbahnen, werden die Funktionen mit Planungsmaßgaben belegt.

Stadtklimatologie erstreckt sich über die Bereiche Stadtplanung und Architektur, Gebäude- und Bauleitplanung sowie Quartiers- und Stadtentwicklungsplanung. Sie unterstützt den Anwender bei der Bewertung der thermischen und lufthygienischen Situation und der Auswirkung von Flächen, Verdichtungen, Konversionsmaßnahmen, Stadtrückbau und Einzelbaumaßnahmen. Die Berücksichtigung des Klimas in der Stadtplanung erfordert eine detaillierte Kenntnis der Wechselwirkungen 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 hier verfügbaren Daten. Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) hat sich zur Aufgabe gestellt, Richtlinien zu verfassen 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 Wirksamkeit des Luftmassenaustauschs (Be- und Entlüftung);
- 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 (Wärmeinsel 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 sein: das Freihalten von Kalt- bzw. Frischluftentstehungsflächen (Hanglagen) und von Luftleitbahnen, Gebäudeausrichtung/ -höhe und Bebauungsdichte.

Solche Festlegungen können gemäß § 1a Baugesetzbuch (BauGB) in der Bauleitplanung erfolgen. Darüber hinaus sind aufgrund der Stadtklimaanalysen Darstellungen freizuhaltender Flächen im Flächennutzungsplan möglich. Ebenso kann überprüft werden, ob Festsetzungen in der Regionalplanung erfolgt sind. Klimabelange werden dort in der Planung regionaler Grünzüge berücksichtigt.

Planerisch gesetzliche Instrumente sind im „Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung“ (UVP) und in der „strategischen Umweltprüfung“ (SUP) zu finden. Die allgemeinen Belange des Klimas können mithilfe von Stadtklimakarten qualitativ bewertet und in die Planungswerke integriert werden.

2.2 Stadtklimatischer Bewertungsindex

Grundlage der analysierten Klimatope (siehe Kapitel 7.1), bzw. deren Abgrenzungen, bildet der stadtklimatische Bewertungsindex „physiologisch äquivalente Temperatur“ (PET) (vgl. Höppe 1999).

Die biometeorologische Kenngröße PET beschreibt unter Berücksichtigung der thermophysiologischen 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 Abbildung 1). Dabei liegt das Behaglichkeitsniveau des Menschen 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.

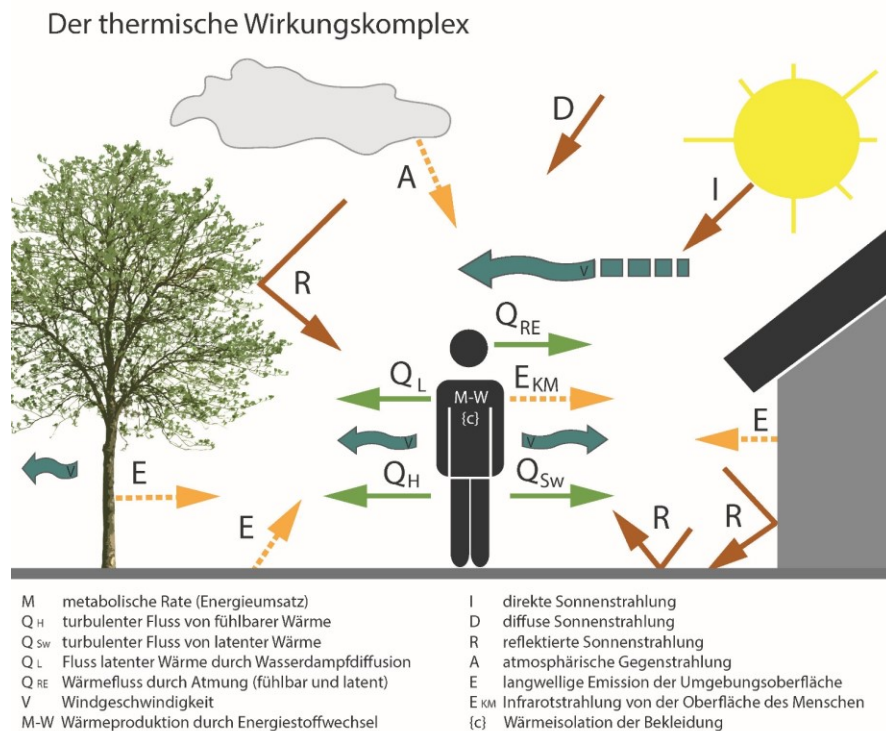


Abbildung 1: Schema "Thermischer Wirkungskomplex". Dargestellt sind die unterschiedlichen Parameter, die sich auf den Wärmehaushalt des Menschen auswirken. Durch planerische Eingriffe können diese Bedingungen beeinflusst werden (nach dem Klima-Michel-Modell, DWD).

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

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

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

3. Methodik

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 wurde zudem messtechnisch erfasst und validiert. Die Analyse des planungsrechtlichen bzw. zukünftig erreichbaren Zustandes erfolgt in einem weiteren Schritt. 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 natürlich die anthropogenen Einflüsse eine entscheidende Rolle. Gerade in den Städten hat die vom Menschen verursachte Veränderung der Erdoberfläche den größten und in den meisten Fällen auch negativsten Einfluss. Deshalb werden ebenso Daten bezüglich der Flächennutzung und Gebäudeinformationen benötigt. Je detaillierter die Eingangsdaten vorliegen, umso präziser und kleinteiliger können die Analysen ausfallen.

Neben den Geoinformationen ist das Wissen um klimarelevante Parameter von Bedeutung. Dabei ist die Lage eines verdichteten Stadtgebietes in Bezug auf Belüftung und regionale Windsysteme von besonderer Bedeutung. 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 statistischen Verknüpfung verschiedenster 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).

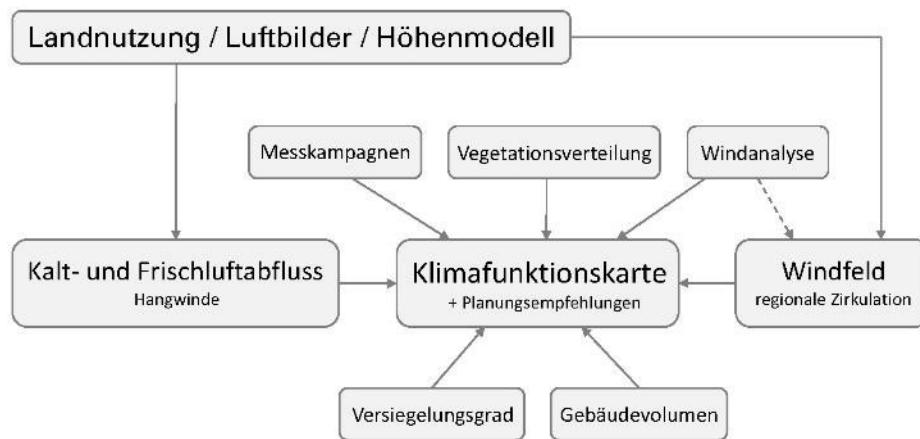


Abbildung 2: Prinzipielle Vorgehensweise zur Erstellung einer Stadtklimakarte nach Lohmeyer 2008.

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 kleineren Skala können unterschiedliche Effekte, wie Binnengewässer oder Tallagen, die örtlichen klimatischen Verhältnisse stark prägen. Somit ist eine vorgeschaltete klimatische Einschätzung unumgänglich, wobei entsprechend 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 Algorithmen mit anschließender Generalisierungen das Produkt in Form der Klimafunktionskarte aggregiert.

Die dynamische Komponente beinhaltet Luftbewegungen unterschiedlicher Skalierung wie Frisch- und Kaltluftabflüsse, regionale Strömungen und synoptische Winde. 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) angefertigt. Weitere Kriterien wie Rauigkeitslängen der Erdoberfläche (städtische Porosität) wurden ebenfalls in diese Rechenschritte integriert, um das Belüftungssystem realgetreu darzustellen.

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 um weitere 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 (Kupski 2017), 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, Kuttler 1998; Baumüller 1995 et. al).

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

Instrumente und Pläne		Maßstab, räumliche Auflösung der Karten	Fachbeiträge Klimaanalyse (Lufthygiene und Human-Biometeorologie)
Raumordnungs- planung	Regionalplan	1 : 50.000 bis 1 : 100.000, ≥ 100 m	Mesoklima Klimaanalysekarten: flächendeckende Immissionsschutzkarten, thermische Belastungsräume (Überwärmungs- räume), Luftleitbahnen, Kaltluftentstehungsflächen, Planungshinweiskarte
Bauleitplanung	Vorbereitende Bauleitplanung: Flächennutzungsplan	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 Eignungsunter- suchungen an Hot Spots Planungshinweiskarte

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.“

4. Datengrundlage

Für eine Klimaanalyse sind die regionalen Klimaverhältnisse wichtig. Von planerischer Bedeutung sind:

- thermische Verhältnisse (Wärmeinsel Stadt)
und die
- Belüftungssituation im Sinne der horizontalen Durchmischung.

Daraus ergibt sich im Zusammenhang mit der Klimafunktionskarte die planerische Bewertung (Planungshinweiskarte) von einzelnen Flächen.

4.1 Datenbestand Klimaanalyse Zweckverband Raum Kassel

Tabelle 3: Digitale Eingangsdaten.

Nr.	Datensatz	Datum (Stand)
1	Realnutzungskartierung ZRK	2019
2	Gebäudegrundrisse und Gebäudehöhen	2018
3	DGM (Digitales Geländemodell)	?
3	Flächennutzungsplan ?	2019
4	Szenarien: EURO-Cordex Ensembles (RCP4.5 / RCP8.5)*	2013
6	WebAtlasDe	2016

- * Für das Szenario II Klimawandel wurden aktuelle Trends aus dem Multi-Model Ensemble Durchschnitt der RCM Simulationen der EURO-CORDEX Initiative verwendet.

5. Meteorologische Einordnung

Der Zweckverband Raum Kassel und das Kasseler Becken gehören zur warmgemäßigten Klimazone. Die Tal-/Kessellage des Ballungsraums Kassel und der Großstadtcharakter führen zu einem typischen Lokalklima, das je nach Wetterlage mehr oder weniger zur Geltung kommt. Durch die Kessellage ist der Luftaustausch im Vergleich zu Standorten außerhalb des Kasseler Beckens oft schlechter. Deshalb kommt es häufiger zu Austauschverhältnissen, die zu einer Anreicherung der Schadstoffe und im Sommer zur Hitzebelastung führen.

Städte weisen im Allgemeinen höhere Temperaturen als ihre Umgebung auf. Ursache ist neben der Wärmeabgabe der Gebäude die durch die Luftverschmutzung entstehende Dunstglocke über dem Stadtgebiet, die die langwellige Ausstrahlung herabsetzt. Je ausgeprägter diese innerstädtische Wärmeinsel sich ausbildet, desto mehr ist die Durchlüftung dieses Stadtquartiers eingeschränkt. Abbildung 4 zeigt die Windverteilung an einer repräsentativen Messstation in Kassel.

Die in der freien Atmosphäre vorherrschenden westlichen Winde werden in Bodennähe durch die Topografie im Kasseler Becken aus ihrer Richtung abgelenkt. Durch die Tallage wird die Windgeschwindigkeit gegenüber der Umgebung verringert (aus: HMUELV 2011).

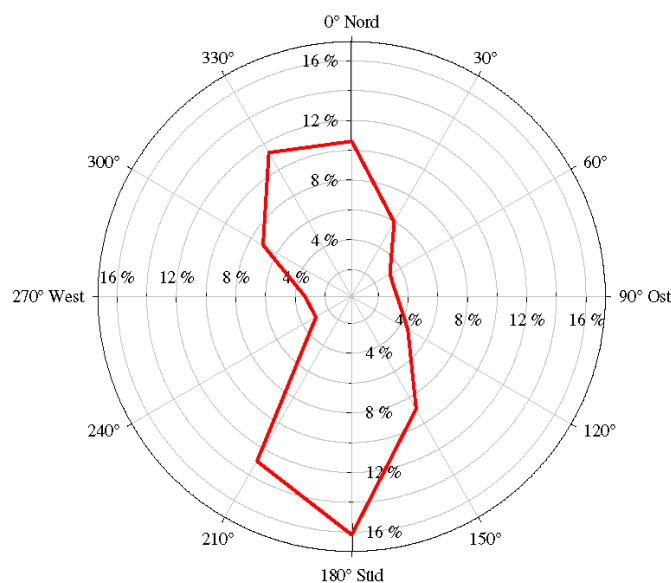


Abbildung 4: Windrose Kasseler Stadtstation (1984-2004) mit Darstellung der Hauptwindrichtung Süd, bzw. Südsüdwest.

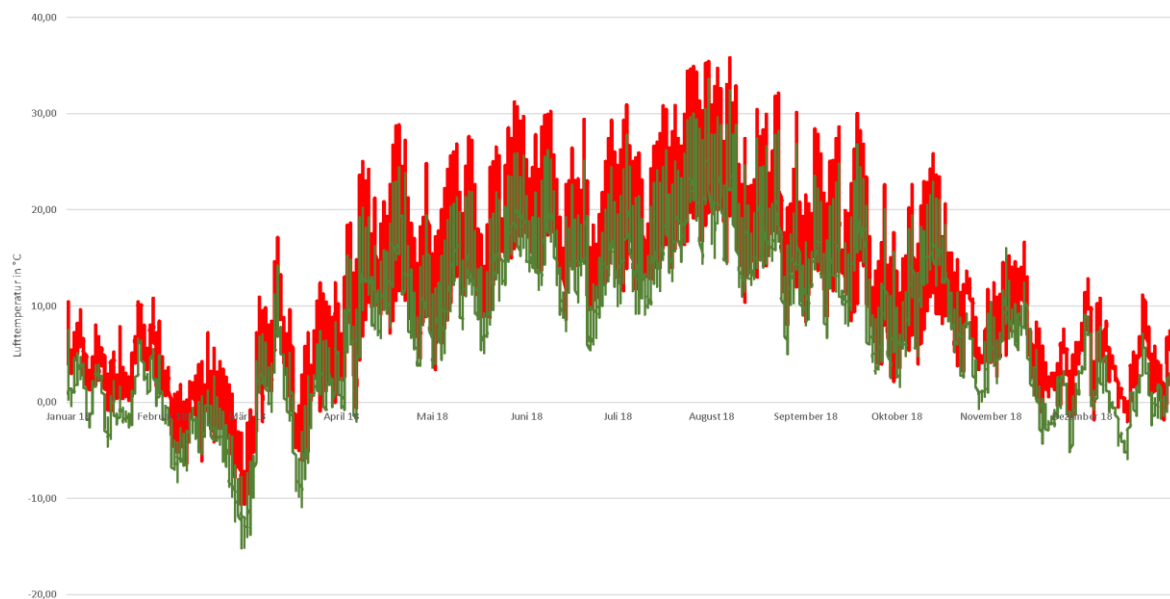


Abbildung 6: Jahresgang der Lufttemperatur (2018) an der Station des HLNUG Kassel-Mitte (rot) und Witzenhausen-Wald (grün).

Zur Beschreibung der klimatischen Verhältnisse werden häufig sogenannte Kenntage herangezogen. Im Jahr **2018** wurden an der städtischen Messstation **88 Sommertage**, **28 heiße Tage** und **7 Tropennächte** gemessen. Diese Schwellenwerte, die sich auf die Lufttemperatur beziehen haben direkten Einfluss auf die bioklimatischen Verhältnisse und werden sich in der absoluten Anzahl pro Jahr in den nächsten Dekaden dramatisch erhöhen.

Definitionen:

Tabelle 4: Ausgewählte Schwellenwerte der Lufttemperatur zur Charakterisierung des Klimas.

$T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$	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

Vor allem die Grenze zur Tropennacht, was bedeutet, dass die nächtliche Lufttemperatur nicht unter 20° sinkt, wodurch erst eine nächtliche Erholung für den Menschen gegeben ist, ist im Rahmen der Klimaanalyse und der Klimatopabgrenzung ein wichtiges Indiz. Zur Kalibrierung der Analyse wurden deshalb die nächtliche Abkühlung unterschiedlichster Flächentypen, verteilt im gesamten Verbandsgebiet in Relation gesetzt.

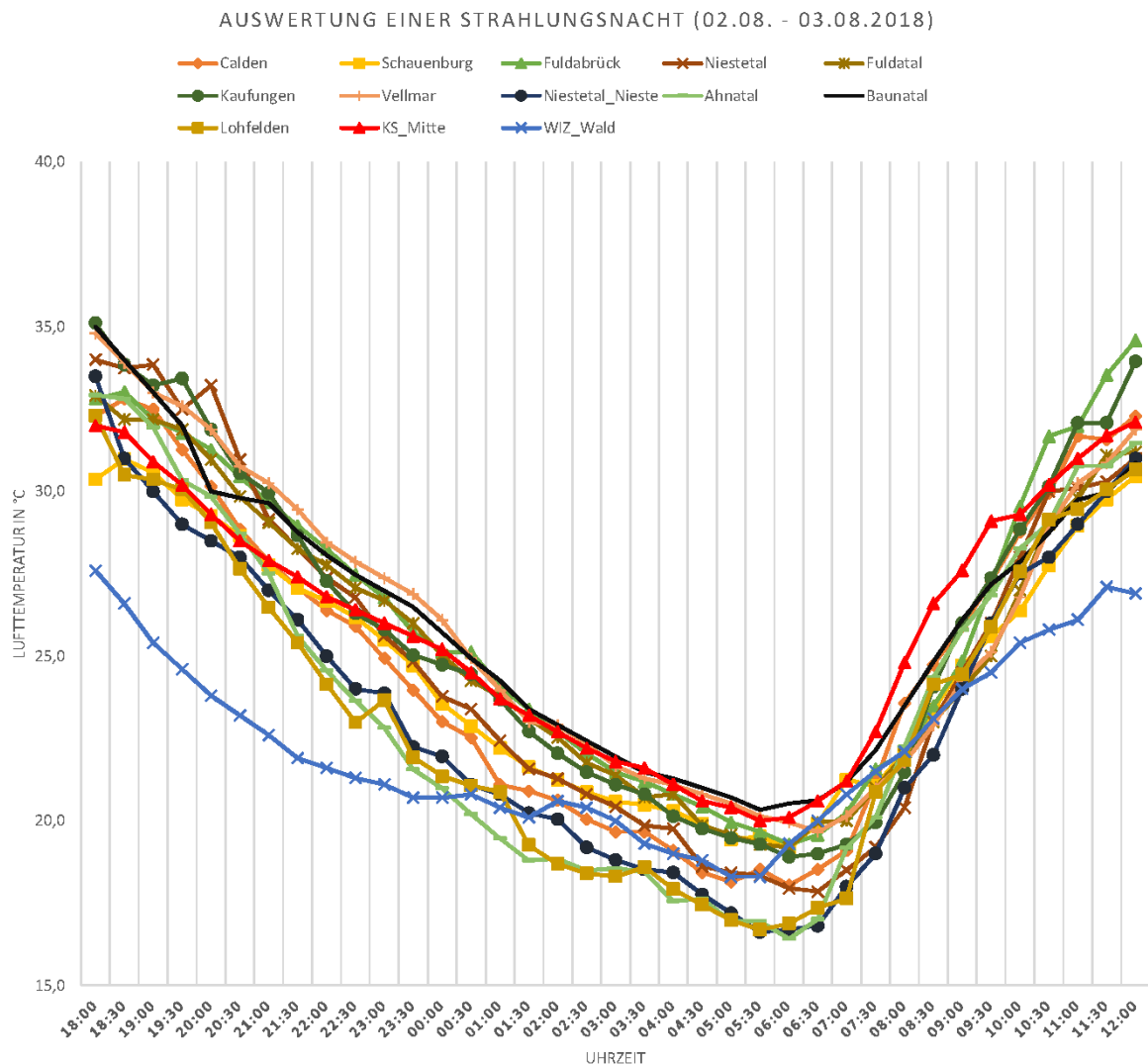


Abbildung 7: Auswertung einer Strahlungsnacht (02.-03.08.2018) während der Messkampagne.

Abbildung 7 beschreibt die unterschiedlichen Lufttemperaturen, wie sie sich in Abhängigkeit der Lage im stadtklimatischen Kontext und in Abhängigkeit der räumlichen Gegebenheiten einstellen.

Hervorzuheben ist dabei das besondere Kühlpotential der Kaltluftentstehungsgebiete, verbunden mit dem zusätzlichen Kaltluftabfluss. Vor allem in Ahnatal, Lohfelden und Niestetal wurde eine schnelle und im Vergleich zu anderen Flächen deutliche Abkühlung festgestellt. Verdichtete Bereiche mit fehlender nächtlicher Belüftung sind erwartungsgemäß durch sehr hohe Werte auch während der Nachtstunden gekennzeichnet (Kassel Mitte oder Baunatal Stadtzentrum).

Erläuterung: Strategische Auswahl zur Positionierung der Messeinrichtung war die unterschiedliche Flächennutzung. Die Ergebnisse stellen keine Reihenfolge der klimatischen Eigenschaften der einzelnen Kommunen dar und dienen rein der Modellanpassung.

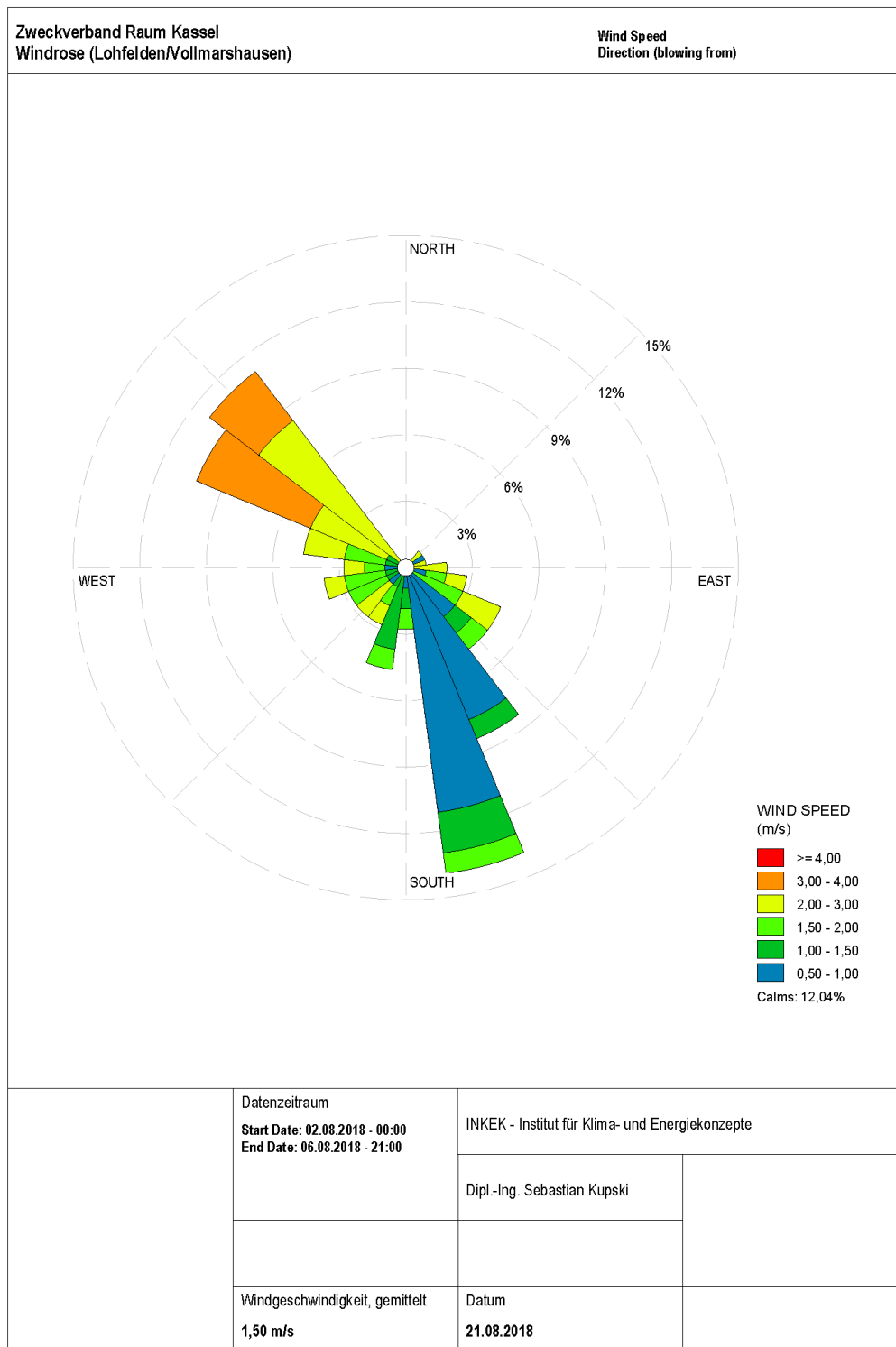


Abbildung 8: Windrose während einer austauscharmen Wetterlage, Lohfelden-Vollmarshausen. Der nächtliche Kaltluftabfluss (blaue Balken) mit geringen Windgeschwindigkeiten erfolgt aus Südsüdost.

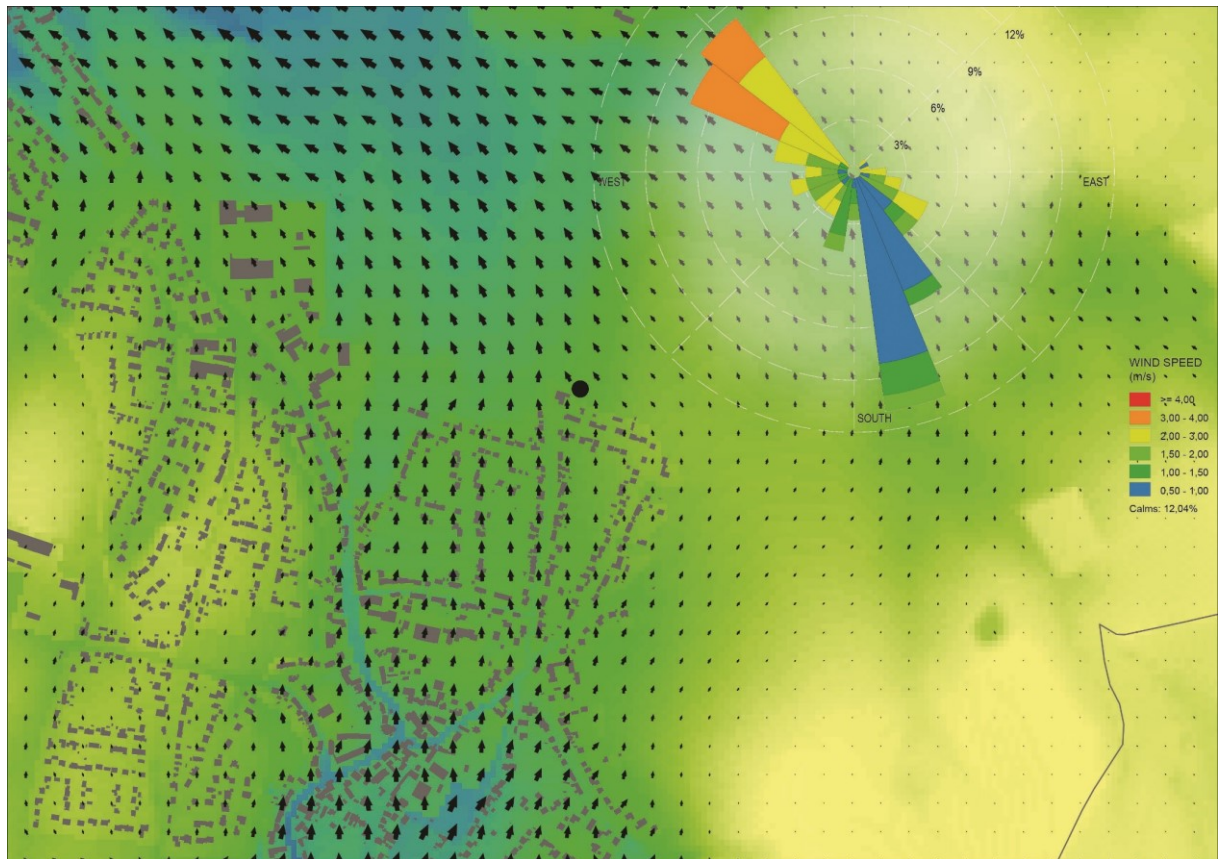


Abbildung 9: Vergleich der Kaltluftsimulationsergebnisse und der stationären Messung am Untersuchungsstandort Lohfelden. Die Windrose repräsentiert den schwarzen Punkt mittig der Karte. Die Vektoren geben die Windrichtung wider, die Farbe zeigt die Mächtigkeit des Kaltluftabflusses (blau = sehr wirksam).

Da die Berechnung des Kaltluftgeschehens, wie beschrieben, einen hohen Stellenwert im Kasseler Becken hat, wurden die Modellergebnisse mit den gemessenen Winddaten abgestimmt. An den beiden Standorten in Ahnatal und Lohfelden wurden diese Vergleiche vorgenommen. Am Beispiel Lohfelden wurde die erhobene Windrose (siehe Abbildung 8) mit den Modellergebnissen der KLAM_21 Rechnung (ausführliche Beschreibung in Kapitel 6.2) überlagert. Dargestellt in Abbildung 9 ist die flächendeckende Kaltlufthöhe (gelb-grün-Färbung) und die Richtung der geringen Windgeschwindigkeit. Diese Ergebnisse stimmen äußerst gut mit den tatsächlich erfassten Schachwinden während des Messzeitraums überein (dunkelblaue Sektoren der Windrose).

6. Übersicht der Themenkarten

Relieftypisierung

- Herausarbeitung klimatisch relevanter topografischer Faktoren (z. B. Höhenrücken, Täler, Hangneigungen, Exposition) und daraus ableitend Luftleitpotenzialbestimmung 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. potenzielle Barrierewirkung bzw. Kanalisierung von Luftmassen), auf Basis der Nutzungsartflächen, topografischen Karten sowie Luftbildern als wichtiges Ausgangsprodukt für die dynamische Analyse.

Gebäudevolumen

- Herausarbeitung der gebäudeabhängigen Barrierewirkung und der daraus resultierenden Minderung des Belüftungspotenzials 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. potenzielles Kaltluftentstehungsgebiet, potenzielles Überwärmungsgebiet) 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 (siehe Abbildung 10).

Dynamische Analyse

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

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 Potenziale, 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 Potenziale als auch der Defizitbereiche.
- Hierzu werden insgesamt sechs einzelne Bewertungskriterien herangezogen, separat betrachtet und bewertet. Diese dienen als Ausgangsbasis für die zusammenfassende Gesamtbewertung.

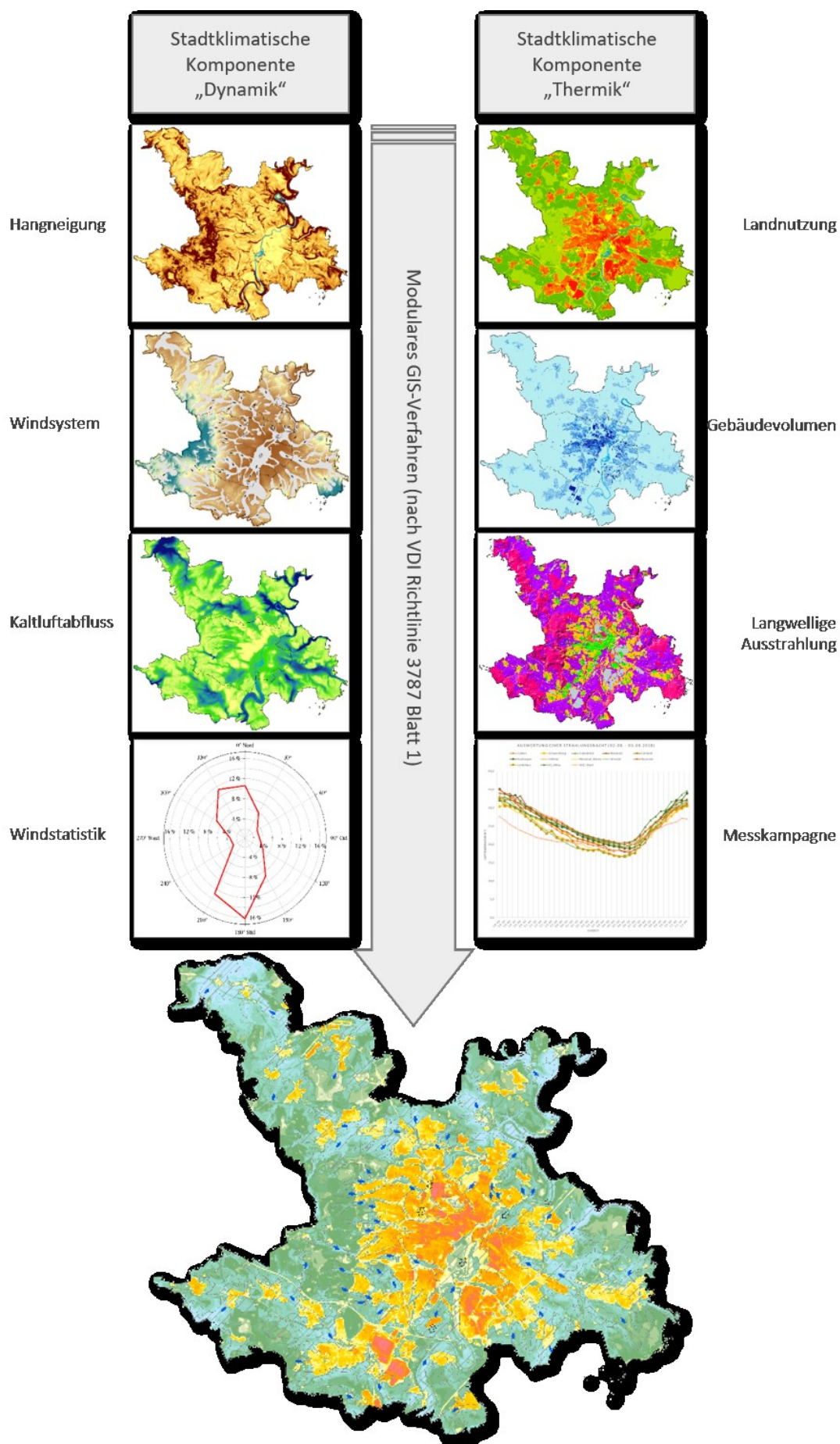


Abbildung 10: Schematische Darstellung der angewandten Methode.

6.1 Gebäudevolumen

Entsprechend des physikalischen Grundgesetzes der Energieerhaltung wird kurzwellige Sonnenstrahlung beim Auftreffen auf ein Objekt unter anderem in Wärmeenergie umgewandelt. Das Objekt wird erwärmt, speichert die Energie und gibt einen Teil dieser aufgenommenen Energie als langwellige Wärmestrahlung an die umgebende Atmosphäre ab. Dieser Prozess unterstützt die Ausprägung des städtischen Wärmeinseleffekts, da es zu einer verstärkten Speicherung von Energie in der bebauten Substanz, gefolgt von einer zeitlich verzögerten Abgabe (in der Nacht) kommen kann, wodurch sich die nächtliche Abkühlung des städtischen Raumes vermindert. 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 11) angefertigt wurde, konnte das mittlere Gebäudevolumen flächendeckend für das Verbandsgebiet berechnet werden.

Hierbei wurde auf Basis eines Datensatzes mit 10 Meter horizontaler Auflösung je eine Höhe, berechnet aus einer abhängigen 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 10 Meter Auflösung aggregiert. Das Ergebnis zeigt die statistische Verteilung von Kubikmeter Bauvolumen pro Quadratmeter Flächeneinheit (siehe Themenkarte „Gebäudevolumen“, Abb. 12). Diese Informationen fließen hauptsächlich in die Betrachtung der Wärmespeicherung ein, teilweise werden Parameter von der dynamischen Berechnung der Bodenrauigkeit genutzt.

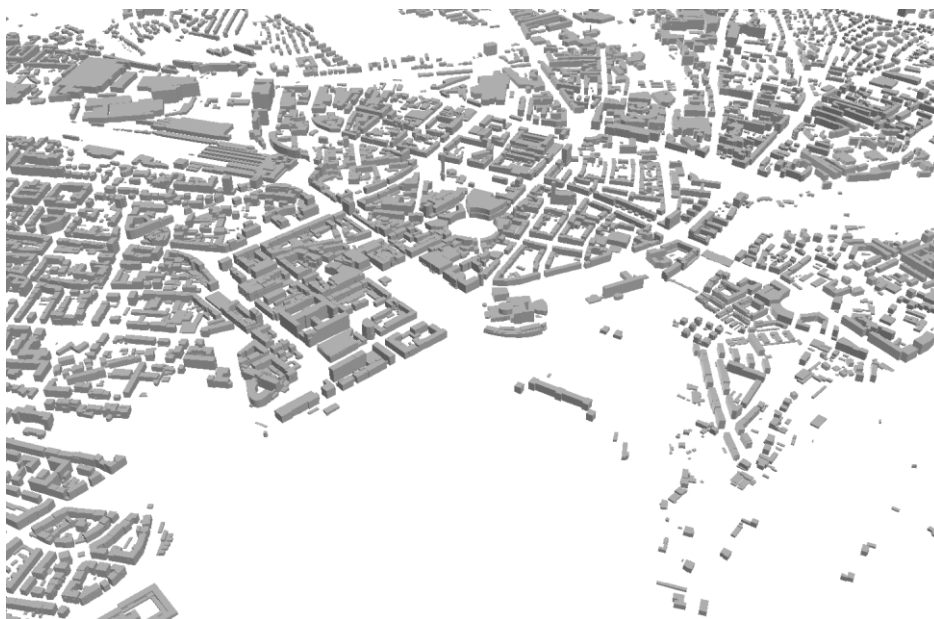


Abbildung 11: Blockmodell (Ausschnitt).

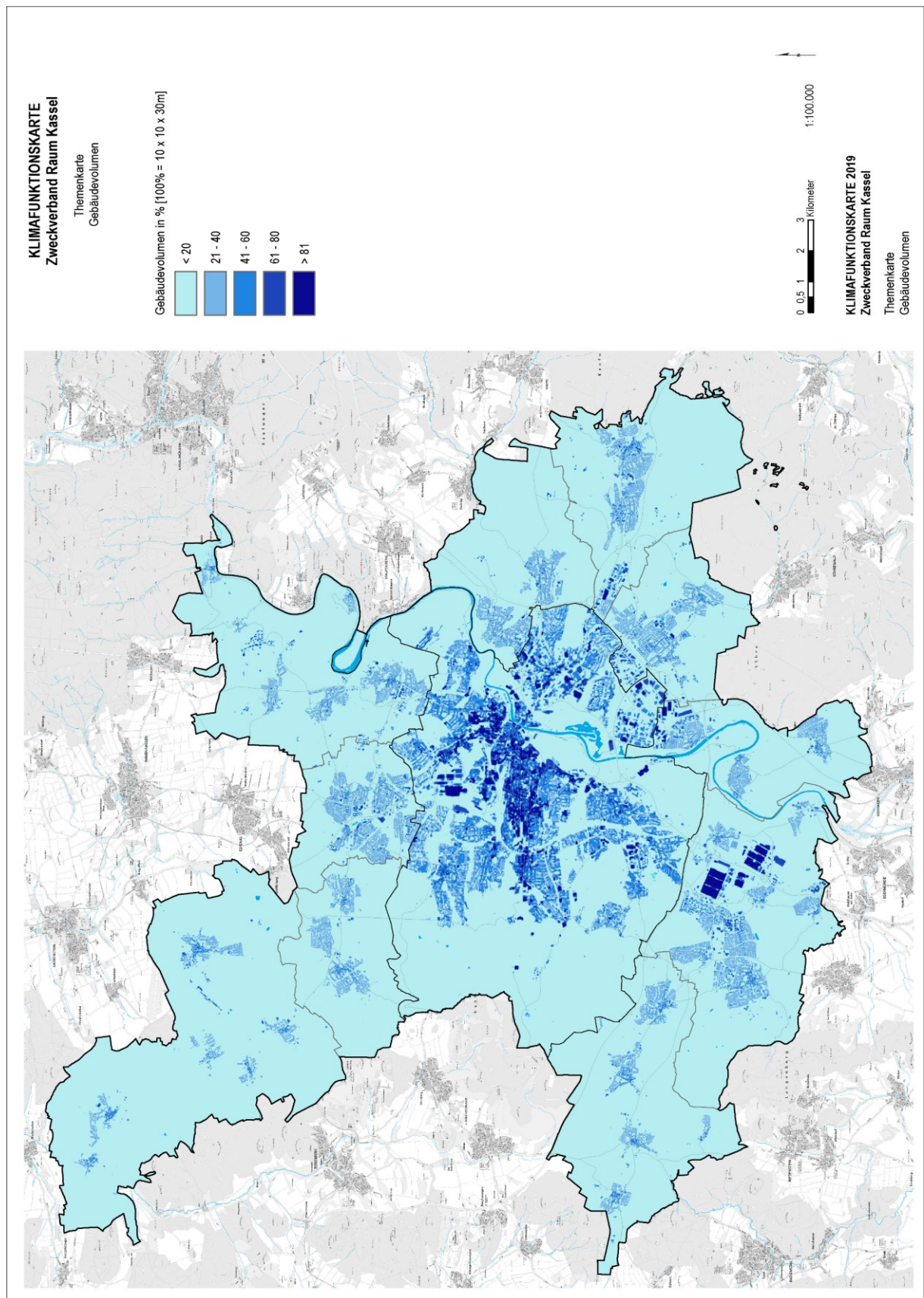


Abbildung 12: Themenkarte „Gebäudevolumendichte“, ohne Maßstab (Original in Anhang I).

6.2 Kaltluftmodellierung mit KLAM_21

KLAM 21 ist ein 2-dimensionales, 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 (DWD 2016).

Eingangsdaten: Realnutzungskartierung und DGM

Bearbeitung: Der Start der Simulation liegt kurz vor Sonnenuntergang. Zu diesem Zeitpunkt wird eine annähernd adiabatisch geschichtete Atmosphäre vorausgesetzt, in der keine horizontalen Gradienten der Lufttemperatur und der Luftdichte vorhanden sind. Es werden während der gesamten Nacht gleichbleibend gute Ausstrahlungsbedingungen, das heißt eine geringe Bewölkung, angenommen (DWD 2016).

Für die Klimaanalyse des ZRK 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 13 sind die Ergebnisse in Form der Kaltlufthöhe 180 Minuten nach Sonnenuntergang abgebildet.

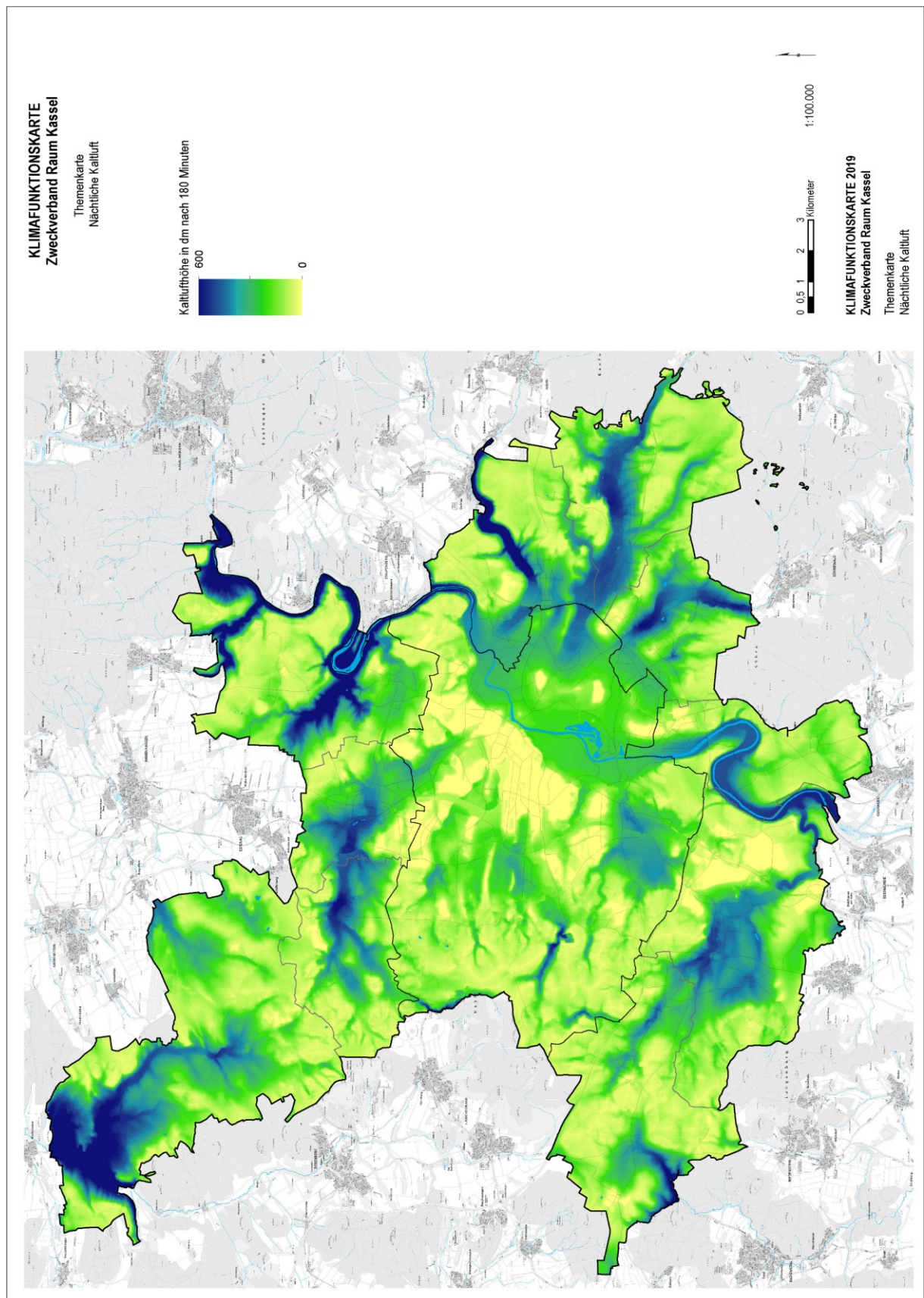


Abbildung 13: Kaltluflhöhe berechnet mit dem Kaltluftmodell des Deutschen Wetterdienstes KLAM_21, ohne Maßstab (Original in Anhang I).

6.3 Hangneigung

Physikalisch bedingt „fließt“ kalte Luft aufgrund ihrer höheren Dichte, und damit verbunden mit ihrem höheren Gewicht 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.

Eingangsdaten: DGM

Bearbeitung: Auf Basis des DGM konnte das gesamte Gebiet auf die Geländeneigung hin untersucht werden. Dargestellt sind bestimmte Kategorien der Hangneigung, wobei kleinräumige Vorkommen wie Mulden oder Gräben 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 Osten und Westen des Verbandsgebietes hervor (s. Abbildung 14).

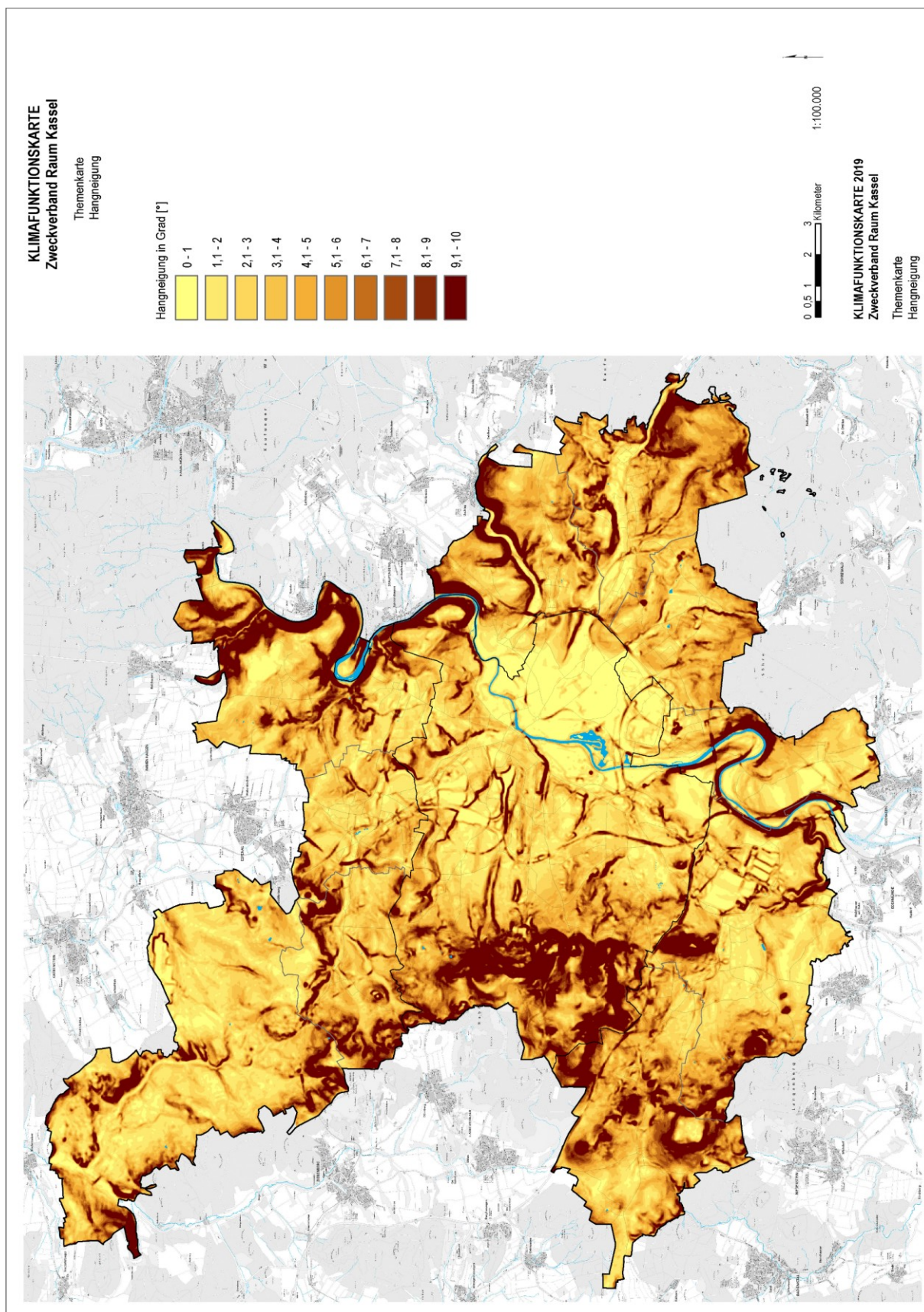


Abbildung 14: Themenkarte „Hangneigung“, ohne Maßstab (Original in Anhang I).

6.4 Lokales Belüftungssystem

Bei Untersuchungen der lokalen Kaltluftabflüsse und der damit einhergehenden Auswirkungen, werden die regionalen Windsysteme üblicherweise nicht berücksichtigt, mit daraus folgenden Konsequenzen und möglichen Interpretationsdefiziten. Der Einfluss von Regionalwinden auf die lokalen Windverhältnisse während autochthoner Wetterlagen ist gravierend. Insbesondere kann gezeigt werden, dass bei dieser meteorologischen Situation die alleinige Berücksichtigung der Lokalwinde nicht ausreicht, um beispielsweise realistische Abschätzungen zur Durchlüftungssituation von Siedlungsgebieten zu erhalten. Insbesondere die Ausbreitung von Luftbeimengungen, Gerüchen und Schall ist unter Verwendung der Regionalklimatologie möglich.

Aus diesem Grund wurde neben der lokalen Windsysteme einer autochthonen Wetterlage (ohne Antrieb eines Regionalwindes) zusätzlich die Wirkung der Hauptwindrichtung auf die Belüftung des Kasseler Beckens aufgenommen.

Eingangsdaten: DGM, Windstatistik, Messdaten, Themenkarte „Nächtliche Kaltluft“

Bearbeitung: In Abhängigkeit der Orografie im Zusammenhang zu den Ergebnissen der Kaltluftsimulation wurden die Kaltluftbahnen abgegrenzt. Die Fließrichtung konnte direkt aus den Datensätzen der KLAM_21 Simulation verwendet werden. Über die langjährige Windstatistik im Kasseler Becken (siehe Abbildung 4) konnten anschließend auch die überregionalen Luftleitbahnen und Belüftungskorridore lokalisiert und dargestellt werden.

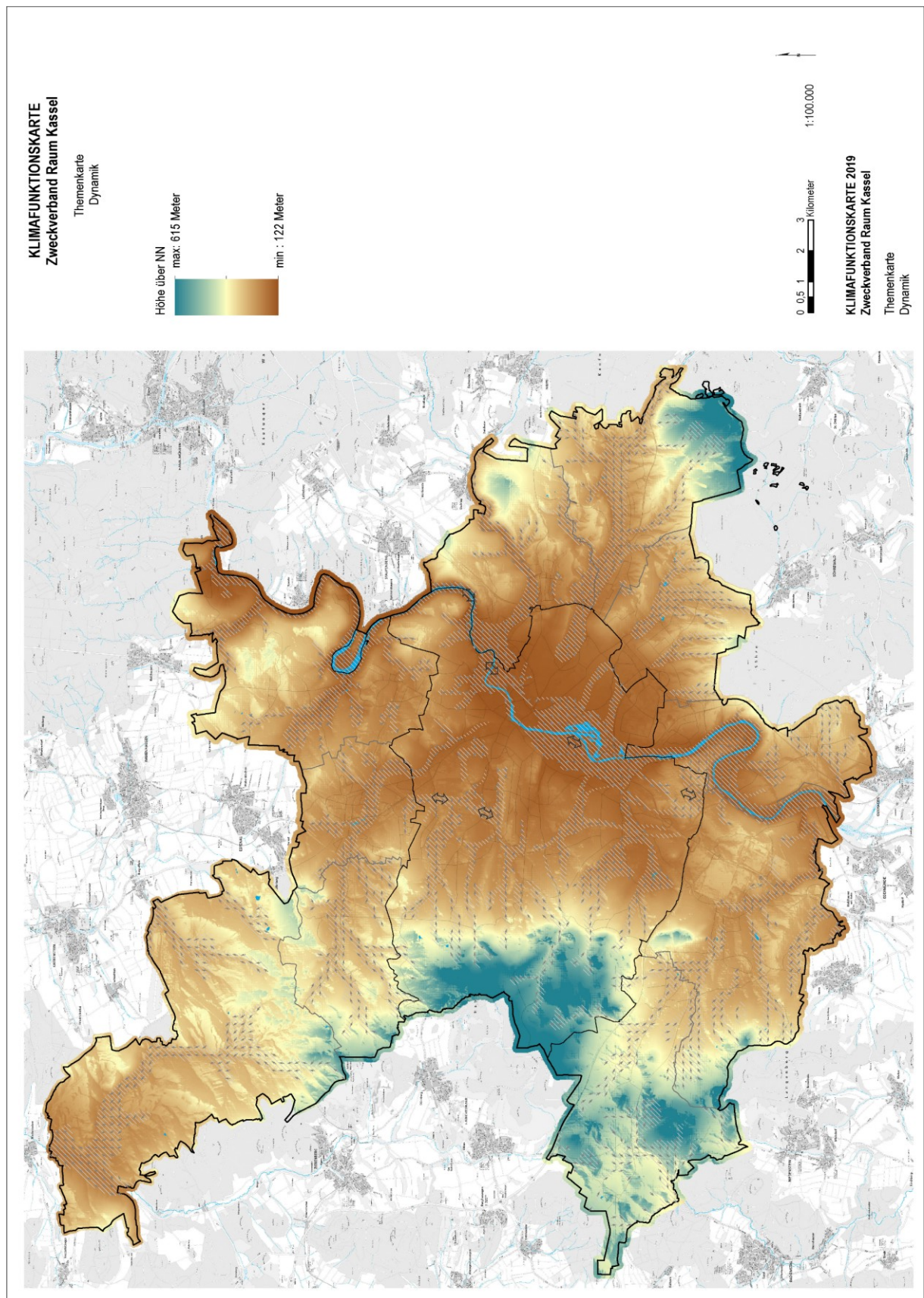


Abbildung 15: Themenkarte „Dynamik“, ohne Maßstab (Original in Anhang I).

7. Klimafunktionskarte

Eine Klimafunktionskarte/ Klimaanalysekarte stellt die räumlichen Klimateigenschaften einer Bezugsfläche dar, die sich aufgrund der Flächennutzung und Topografie einstellen. Dargestellt werden darin die thermischen und dynamischen Verhältnisse.

7.1 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 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 aufgeführte 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 Zweckverband Raum Kassel zum Teil nur implizit vorhanden, jedoch inhaltlich berücksichtigt.)

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 den 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, jedoch zudem Bedeutung der Flächen für den großräumigen Luftaustausch beachten (z. B. in Stadtrandlage). Erhaltung 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 geneigten Flächen hochrelevant für die Entstehung von Kaltluft/Frischlufte 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 mikroklimatische 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 ist dem Übergangsbereich zwischen Freilandklima und dem Klima bebauter Flächen zuzuordnen und wird durch eine grüingeprägte 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 Klimaelemente 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-, 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, bedingt durch die Wärmespeicherfähigkeit der städtischen Oberflächen und die starken Windfeldveränderungen, die sich in den straßenparallelen Be- und Entlüftungssituationen widerspiegeln. 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 human-bioklimatischen Belastungssituationen. Zu diesen Flächen zählen auch häufig Sonderflächen, wie militärisch genutzte Flächen usw.

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

Der Kaltluftabfluss ist ein 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 (=Frischluft) 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 einzeln stehende 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 ab, in Kombination mit der Ausrichtung der Luftleitbahn. 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.

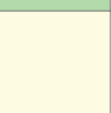
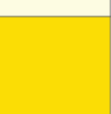
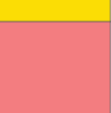
Durchlüftungsbahn

Als Durchlüftungsbahnen werden klimarelevante Luftleitbahnen mit unterschiedlichem thermischem und/oder lufthygienischem 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.

7.2 Legende der Klimafunktionskarte

Die Legende der Klimafunktionskarte beschreibt sowohl die thermische (Farbkodierung), als auch die dynamische (Schraffur und Symbolik) Komponente des Stadtklimas im Verbandsgebiet des ZRK.

Thermische Komponente:

	Kategorie	Name	Beschreibung
Klimaökologische Wertigkeit	+	 Frisch- und Kaltluftentstehungsgebiet	Orientierung nach VDI Klimaeigenschaft: Freilandklima . Hoch aktive, vor allem kaltluftproduzierende Flächen im Außenbereich; Größtenteils mit geringer Rauigkeit und entsprechender Hangneigung.
		 Frischlufentstehungsgebiet	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
Raumstruktur	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.
		 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 16: Legende der Klimafunktionskarte ZRK 2019.

7.3 Klimafunktionskarte

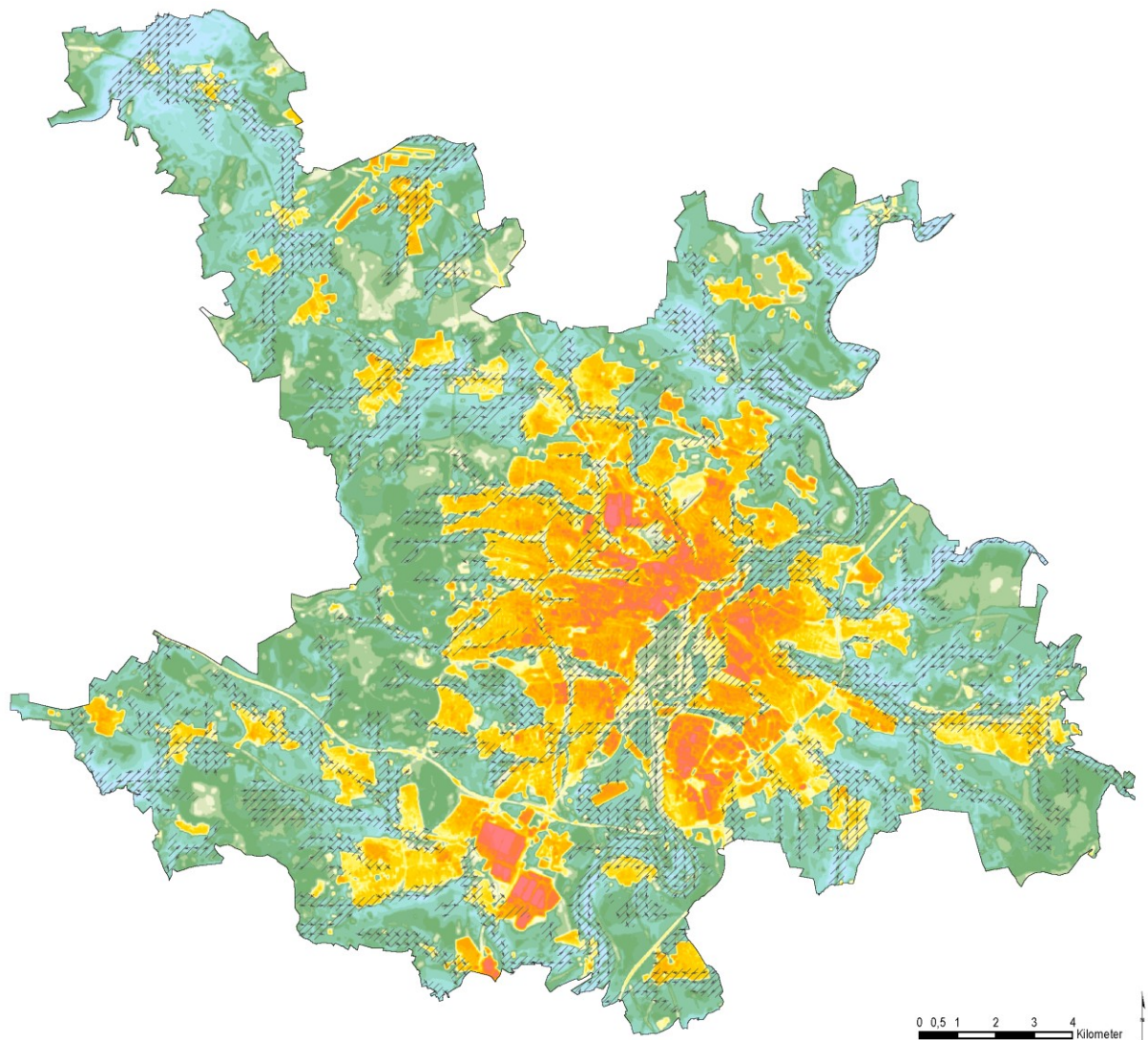


Abbildung 17: Klimafunktionskarte ZRK 2019, ohne Maßstab (Original in Anhang II).

7.4 Bilanzierung

Mit der flächendeckenden Analyse der klimaökologischen Wertigkeit innerhalb der administrativen Grenzen des Zweckverbandes Raum Kassel (Abb. 18) wurde eine Flächenbilanzierung durchgeführt, um eine Verteilung der Verhältnisse der Klimatope im Gebiet zu bilden.



Abbildung 18: Übersicht der Mitgliedsgemeinden des ZRK.

Abbildung 19 zeigt die prozentuale Aufteilung der Klimatopanteile des gesamten Verbandsgebietes.

Im Sinne eines klimabewussten Flächenmanagementsystems sind hohe bis sehr hohe Anteile der Belastungsklimatope aus stadtklimatischer Sicht sanierungsbedürftig.

Flächenbilanzierung Zweckverband Raum Kassel
-klimaökologische Wertigkeit-

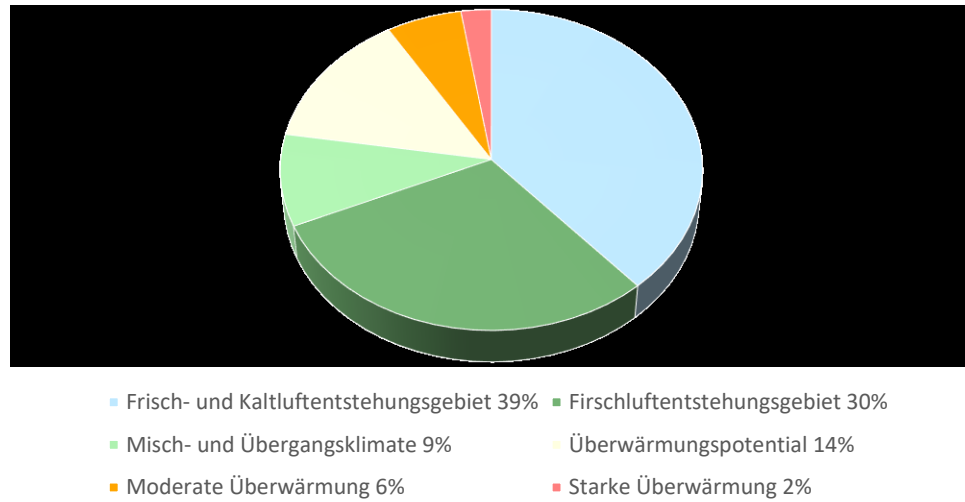


Abbildung 19: Klimaökologische Flächenbilanzierung des ZRK in Prozent der Gesamtfläche des Verbandsgebietes.

8. Planungshinweiskarte (PHK)

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.

8.1 Beschreibung der räumlichen Planungshinweise

Ausgleichsraum mit hoher Bedeutung

Dies sind vor allem klimaaktive Freiflächen mit direktem Bezug zum Siedlungsraum, wie innerstädtische und siedlungsnaher Grünflächen oder solche, die im Einzugsgebiet eines Berg-/Talwindsystems bzw. der lokalen oder regionalen Belüftung liegen.

Diese Gruppe umfasst des Weiteren nicht bebaute Täler, insbesondere deren Talsohlen und Geländeeinschnitte, in denen ein Kaltluftabfluss auftritt. **Diese Gebiete sind mit hohen Restriktionen gegenüber Bebauung belegt.** Außerdem sind große zusammenhängende Freiflächen aus klimatisch-lufthygienischen Gründen für den Ballungsraum von großer Wichtigkeit.

Die genannten Flächentypen sind mit einer hohen Empfindlichkeit gegenüber nutzungsändernden Eingriffen bewertet; das heißt **bauliche und zur Versiegelung beitragende Nutzungen führen zu bedenklichen klimatischen Beeinträchtigungen.** Dasselbe gilt für Maßnahmen, die den Luftaustausch behindern.

Sollten trotz klimatischer Bedenken in solchen Gebieten Planungen in Erwägung gezogen werden, sind dafür klimatisch-lufthygienische Sondergutachten unbedingt notwendig.

Ausgleichsraum

Diese Freiflächen haben entweder keine direkte Zuordnung zum Siedlungsraum, das heißt, dort entstehende Kalt- und Frischluft fließt nicht direkt in Richtung bebauter Gebiete, oder es liegt nur eine geringe Kaltluftproduktion vor. Für eine möglichst geringe klimatische Beeinträchtigung ist die Erhaltung von Grünflächen und Grünzügen zu empfehlen.

Sie sind mit geringerer Empfindlichkeit gegenüber nutzungsändernden Eingriffen bewertet. Auf derartigen Flächen ist aus klimatischer Sicht **eine maßvolle Bebauung, die den regionalen Luftaustausch nicht wesentlich beeinträchtigt, möglich.**

Bebautes Gebiet mit klimarelevanter Funktion

Hierbei handelt es sich um bebaute Gebiete, die aufgrund ihrer Lage und ihrer Bebauungsart klimarelevante Funktionen übernehmen. Darunter fallen z. B. locker bebaute und durchgrünte Siedlungen oder Siedlungsränder, die nachts entsprechend abkühlen und relativ windoffen sind oder gut durchlüftete verdichtete Siedlungsbereiche (z. B. Kuppenlagen).

Diese Gebiete führen weder zu intensiver thermisch-lufthygienischer Belastung, noch zu Beeinträchtigungen des Luftaustauschs und weisen im Allgemeinen geringe klimatisch-lufthygienische Empfindlichkeiten gegenüber Nutzungsintensivierungen auf.

Damit sind z. B. Arrondierungen an den Siedlungsrändern und das Schließen von Baulücken gemeint, wobei die in diesem Gebiet vorhandene Dimension der Bebauung beibehalten werden sollte. Solche relativ geringfügigen und der Umgebung angemessenen Nutzungsänderungen ziehen keine wesentlichen klimatisch-lufthygienischen Änderungen nach sich.

Allerdings ist bei Planungen von Baumaßnahmen in diesen ausgewiesenen Flächen eine Beurteilung eines klimatisch-lufthygienischen Sachverständigen bezüglich der Dimensionierung und Anordnung von Bauwerken sowie der Erhaltung und Schaffung von Grün- und Ventilationsschneisen von Vorteil. Eine zusätzliche Versiegelung ist minimal zu halten und durch Schaffung von Vegetationsflächen sowie Dach- und Fassadenbegrünung auszugleichen.

Bebautes Gebiet mit klimatischen Nachteilen

Diese Ausweisung umfasst vornehmlich verdichtete Siedlungsräume, die klimatisch-lufthygienisch stark belastet sind; dazu zählen auch diejenigen bebauten Bereiche, in denen der Luftaustausch maßgeblich durch Bauwerke behindert ist.

Diese Gebiete sind unter stadtklimatischen Gesichtspunkten sanierungsbedürftig.

Als Aufwertungs- oder Sanierungsmaßnahmen kommen infrage:

Erhöhungen des Vegetationsanteils, Verringerungen des Versiegelungsgrads und Verringerungen des Emissionsaufkommens, insbesondere des Verkehrs und der Feuerungsanlagen. Zudem wird eine Schaffung oder Erweiterung von möglichst begrünten Durchlüftungsbahnen empfohlen; damit ist u. U. die Entfernung oder Verlagerung störender Bauwerke verbunden.

Bei allen Planungen innerhalb dieser Flächenausweisungen sind klimatisch-lufthygienische Gutachten notwendig.

8.2 Legende der Planungshinweiskarte

Die Legende der Planungshinweiskarte mit zugeordneten Planungshinweisen unterteilt die zusammengefassten Klimatope der Klimafunktionskarte in Hinblick auf den Umgang der entsprechenden Flächen aus stadtklimatischer Sicht.

	Kategorie	Name	Planungshinweise
schützen		Ausgleichsraum mit hoher Bedeutung	Hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen. Diese Flächen stellen ein hohes Ausgleichspotenzial der städtischen Klimatope mit direkten Wirkzusammenhang dar. Hohe klimaökologische Wertigkeit (Kaltluftproduktion und -abfluss, Belüftung allgemein, thermische Entlastung). Weitere Bebauung und zur Versiegelung beitragende Nutzungen führen zu klimatischen Beeinträchtigungen der verdichteten Bereiche. Dasselbe gilt für Maßnahmen, die den Luftaustausch behindern (Bodenrauigkeit, Querbebauung). <i>Schützen und Funktionsfähigkeit aufrechterhalten, nach Möglichkeiten weitere Vernetzungen anstreben. Innerstädtische Potentialflächen über Schneisen und Vegetationsflächen verbinden.</i>
		Ausgleichsraum	Empfindlich gegenüber Nutzungsänderungen. Für eine möglichst geringe klimatische Beeinträchtigung sind die Erhaltung von Grünflächen und Grünzügen zu empfehlen. Vor allem der westliche Habichtswald kann zur Verbesserung der Lufthygiene (Frischlufitentstehung) beitragen, die östlichen Wald- und Freiflächen als Frisch- und Kaltluftlieferant übernehmen wichtige Ausgleichsfunktionen für das gesamte Kasseler Becken. Weitere naturnahe Ausgleichsräume mit Abstand zur verdichteten Stadt haben positive regionale Wirkung. Klimabewusste Entwicklungen sind unter Beachtung des „Bodenverbrauchs“/ Klimaschutz durchführbar. Eine möglichst <i>geringe Gebäudehöhe, sowie windoffene Gebäudeanordnungen</i> sind zu empfehlen. In Bereichen der Luftleitbahnen wird ein klimatisches Gutachten empfohlen (Ausrichtung beachten!).
sanieren		Bebautes Gebiet mit klimarelevanter Funktion	Geringe klimatisch-lufthygienische Empfindlichkeiten gegenüber Nutzungsintensivierung. Bestehende <i>Belüftungsmöglichkeiten erhalten</i> (Schraffur und Pfeilsymbolik beachten) und sicher stellen, dass zusätzliche Emissionen keine nachteilige Wirkung auf Siedlungsräume nach sich ziehen. Durch <i>Dach- und Fassadenbegrünung</i> sowie Beibehaltung/ Ausbau von <i>Grünflächen</i> kann einer thermischen Belastung vorgebeugt werden. Allgemein Vegetationsanteil beachten und Siedlungsränder offenhalten; Vernetzungspotentiale der Ausgleichsräume durch vertiefende Stadtklimabetrachtung prüfen.
		Bebautes Gebiet mit klimatischen Nachteilen	Diese Gebiete sind unter stadtklimatischen Gesichtspunkten sanierungsbedürftig. Erhöhungen des Vegetationsanteils, Verringerungen des Versiegelungsgrads und Verringerungen des Emissionsaufkommens, insbesondere der Verkehrsemissionen. Zudem wird eine <i>Schaffung oder Erweiterung von möglichst begrünten Ventilationsbahnen</i> empfohlen, damit das lokale Belüftungssystem entlastend wirken kann. Porosität der westlichen Anströmungspotentiale beachten. Human-Biometeorologische Empfehlung: Schaffung und Erhalt lokaler Gunsträume (Freiräume mit Vegetation und Schatten), vor allem auf Hinblick „Auswirkungen des Klimawandels“ und bei unzureichender Belüftung.

Abbildung 20: Legende der Planungshinweiskarte mit abgestimmten Planungshinweisen.

8.3 Planungshinweiskarte

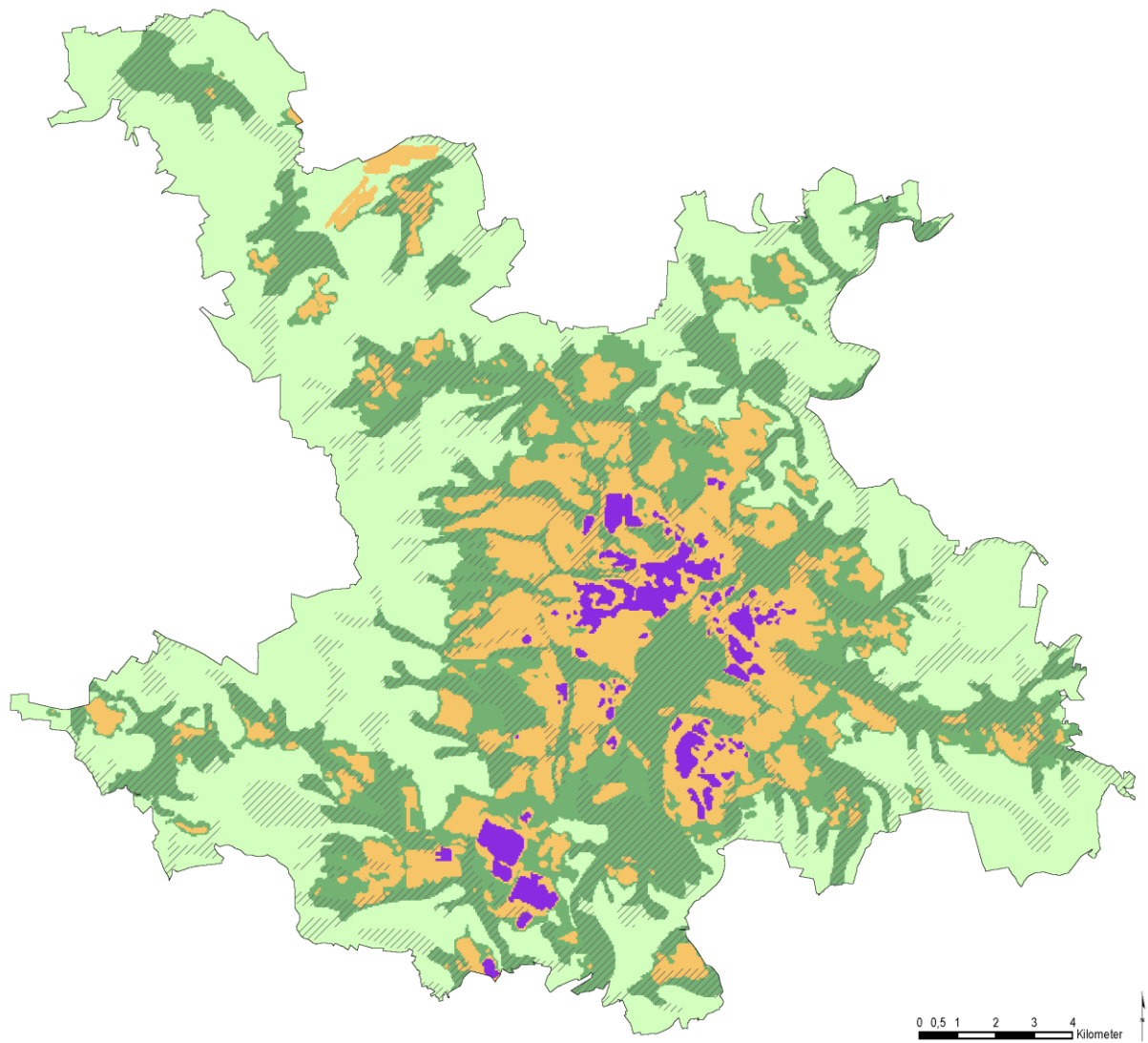


Abbildung 21: Planungshinweiskarte des ZRK 2019, ohne Maßstab (Original in Anhang II).

9. Zukunft

Um für heutige Planungsprozesse eine klimabewusste und zukunftsfähige Ausrichtung zu realisieren, müssen Kenntnisse vorhanden sein, in welche Richtung sich die klimatologischen Trends entwickeln und welche Auswirkungen diese auf den konkreten Planungsraum haben werden.

Um diesen Trend der wahrscheinlich eintretenden Veränderungen zu veranschaulichen, wurden aufbauend auf der detaillierten Klimaanalyse der Ist-Situation (ZRK KFK 2019, Kapitel 7.3) zwei Szenarien entwickelt. Für beide Szenarien gilt die Legende der KFK (Abbildung 16).

Szenario I

Im ersten Szenario „Bauliche Entwicklung“ wurde die Grundlage der Analyseschritte, die Flächennutzung durch die Datensätze „Innenentwicklungspotentiale“ und „Erweiterungspotentiale“ des Zweckverbandes Raum Kassels als Eingangsdatensatz in die Berechnung integriert. Hierdurch sollen die rein baulich verursachten Veränderungen innerhalb der Klimatope dargestellt werden.

Innenentwicklungspotentiale sind Flächen, die bereits im Flächennutzungsplan als Bauflächen dargestellt sind. Sie ermöglichen im Sinne der Nachhaltigkeit eine Innenentwicklung, Außenbereichsflächen werden nicht verbraucht, bestehende Infrastruktur kann genutzt werden.

Erweiterungspotentiale sind Flächen, die in der Vorbereitung für die Fortschreibung des Siedlungsrahmenkonzeptes (SRK 2030, ZRK) von den Kommunen gemeldet oder vom ZRK ausgewählt worden.

Da für die zukünftigen Flächen keine präzisen Gebäudeinformationen vorliegen wurden diese Parameter über Mittelwerte, bzw. in Anlehnung der zulässigen Wohneinheiten pro Hektar abgebildet.

Die fehlenden Gebäudedaten der Flächen des Szenario I führten aus technischen Gründen dazu, dass eine horizontale Rasterauflösung von 25m je Rasterzelle erreicht wurde (im Vergleich: KFK ZRK 2019 Rastergröße = 15m). Eine direkte Gegenüberstellung soll vermieden werden, das Ablesen der möglichen Trends und Entwicklungen ist jedoch gesichert.

Szenario II

Für die Berechnung des Szenario II „Klimawandel“ wurden Daten aus dem 5. Sachstandsberichtes des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) genutzt. Der IPCC fasst den aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand der Klima- und Klimafolgenforschung zusammen. Als Eingangsdaten wurde auf Ergebnisse von EURO-CORDEX (Coordinated Downscaling Experiment - European Domain) zurückgegriffen. Ausgehend von dem RCP-Szenario RCP6.0 (Einordnung siehe Tabelle 5).

Dargestellt wird die mittlere Zukunft mit dem Zeitraum 2041-2071.

Szenariename Szenarienentwicklung

<i>RCP8.5</i>	Ähnlich wie das bisherige A2-Szenario. Über 1370 ppm CO ₂ -Äquivalent im Jahr 2100, der Strahlungsantrieb bleibt bis 2300 auf hohem Niveau.
<i>RCP6.0</i>	Stabilisierung des Strahlungsantriebs im Jahr 2100 bei ca. 850 ppm CO ₂ -Äquivalent, ähnlich dem A1B-Szenario, danach abnehmender Strahlungsantrieb bis 2300.
<i>RCP4.5</i>	Moderate Entwicklung, ähnlich dem B1-Szenario. Anstieg des CO ₂ -Äquivalents bis 2100 auf 650 ppm, der Strahlungsantrieb bleibt bei abnehmenden Emissionskonzentrationen bis 2300 auf gleichem Niveau
<i>RCP2.6</i>	"Peak-Szenario", d.h. Anstieg der Treibhausgasemissionen bis 2020 auf ca. 490 ppm, danach konstanter Treibhausgasemissions- und Strahlungsantriebsrückgang auf etwa 3 Wm ⁻² im Jahr 2100. Vergleichbar mit dem E1-Szenario, d.h. ein "politisches" Szenario, in dem durch drastischen Rückgang der Emissionen eine globale Erwärmung um mehr als 2°C im Jahr 2100 nicht überschritten wird. Das Szenario entspricht einem Ziel der Vereinbarungen von Paris.

Tabelle 5: Gegenüberstellung der sogenannten RCP-Szenarien (Representative Concentration Pathways), die für den 5. Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) entwickelt wurden (Entwicklung der Konzentration von klimarelevanten Treibhausgasen in der Atmosphäre).

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

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 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. Der Kaltluftabfluss erleidet somit nahezu keine Einschränkungen und gilt demnach als besonders schützenswert, da er in Zukunft eine noch höhere Bedeutung für das Stadtklima des Ballungsraums haben wird als bisher.

9.1 Szenario I „Bauliche Entwicklung“

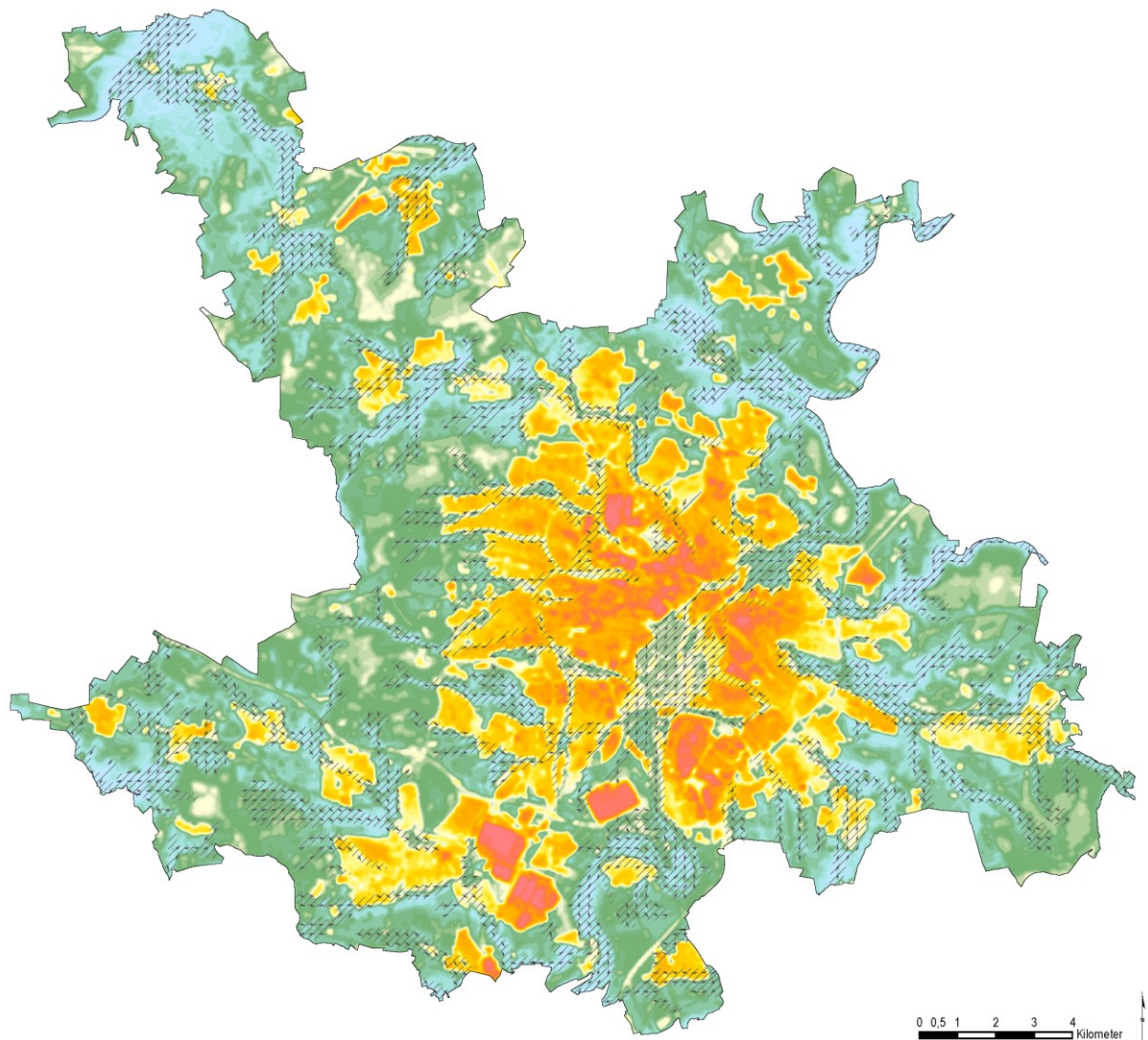


Abbildung 22: ZRK Szenario I „Bauliche Entwicklung“, ohne Maßstab (Original in Anhang III).

9.2 Szenario II „Klimawandel“

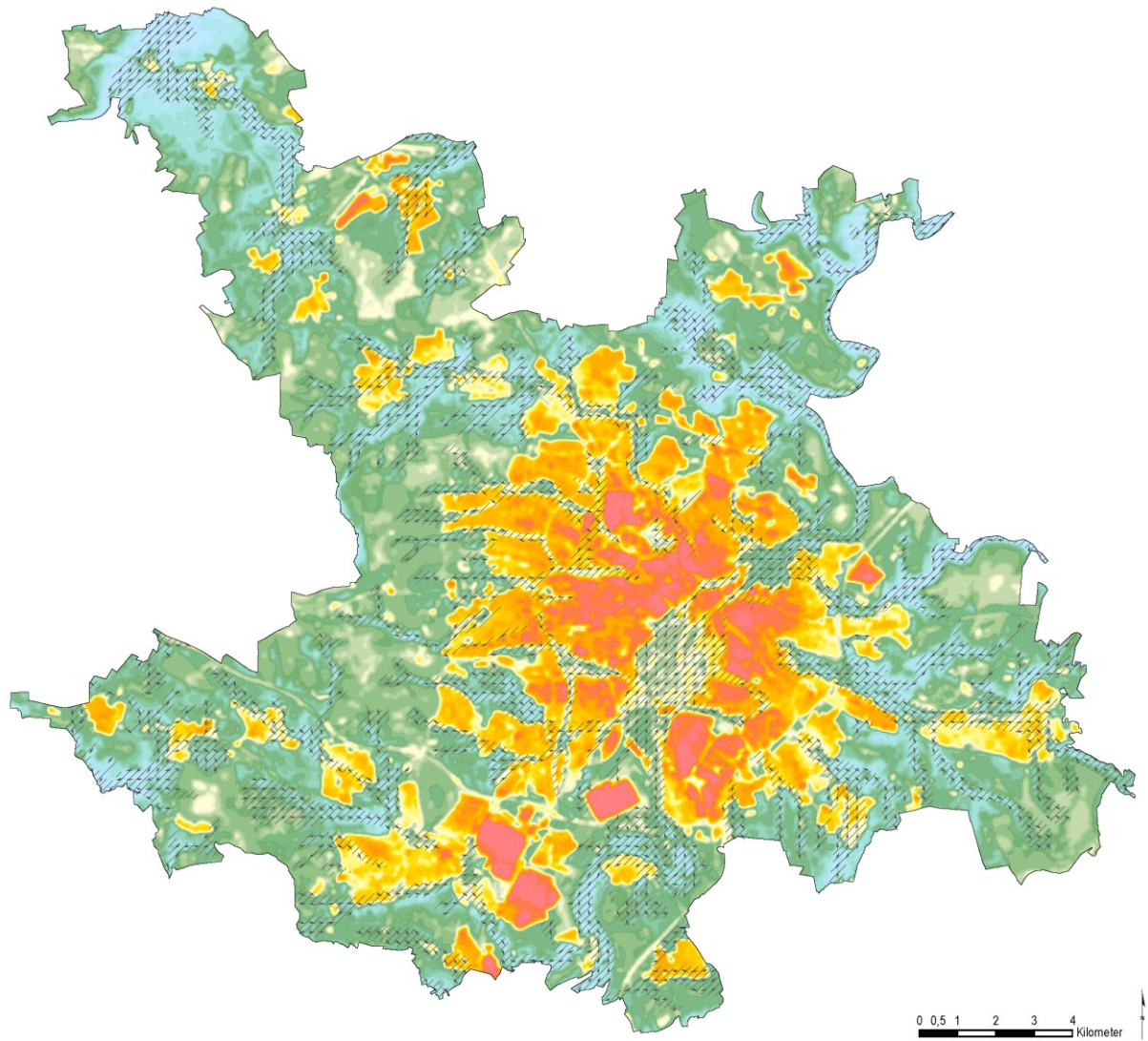


Abbildung 23: ZRK Szenario II „Klimawandel“, ohne Maßstab (Original in Anhang III).

10. Kommunale Aktionsmappe - Verknüpfung von Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen

Häufig werden die beiden Themengebiete Klimaschutz und Klimaanpassung separat voneinander bewertet, geplant und ausgeführt. Eine gemeinsame Betrachtung liegt jedoch nahe, da es deutliche Synergien gibt.

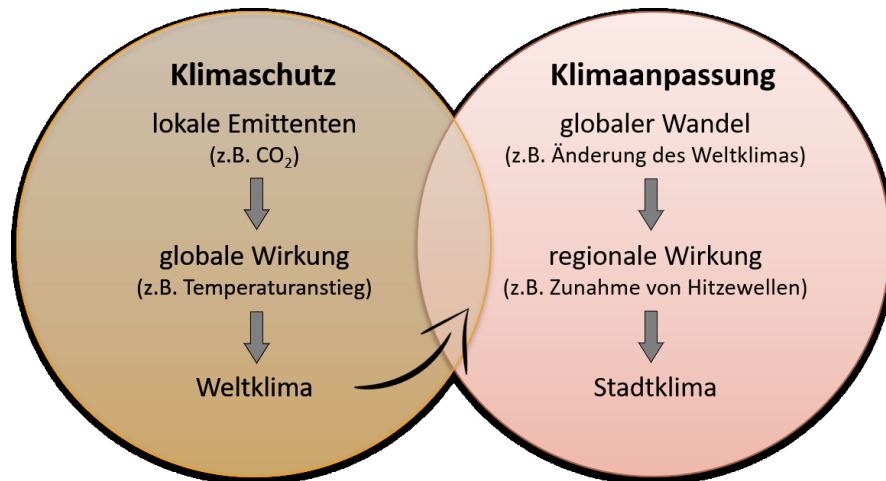


Abbildung 24: Darstellung des Zusammenhangs Klimaschutz und Klimaanpassung (Kirchhof & Kupski 2019).

In allen Verbandkommunen gab es bereits das deutliche Bestreben Klimaschutz-/Klimaanpassungsmaßnahmen voranzutreiben und somit eine zukunftsfähige Aufstellung für den Gemarkungsbereich und seine jeweiligen Einwohner zu begünstigen.

Die finanzielle Haushaltslage erschwert jedoch eine kontinuierliche Umsetzung besonders von kostenintensiven Maßnahmen in diesem Bereich. Durch die aktuelle Fördermittelsituation wie sie durch das Land Hessen sowie den Bund bereitgestellt wird, erleichtert es Kommunen trotz knapper eigener Mittel diese Projekte voranzutreiben.

Problematisch dabei ist die teils unübersichtliche Fördermittellage, die es recht aufwendig macht, einen Überblick über die geeigneten Möglichkeiten für ein konkretes Projekt zu bekommen. Da Fördermittel im Regelfall auch bereits vor Beginn der Umsetzung beantragt und genehmigt werden müssen, kommt die zeitliche Komponente erschwerend hinzu.

Besonders bei kleineren Kommunen fehlen häufig die personellen Ressourcen um sich ausreichend damit zu beschäftigen, um eine optimale Ausnutzung dieser vorhandenen Mittel zu gewährleisten.

Ein weiterer zu betrachtender Punkt ist die Übertragbarkeit von konkret umgesetzten Projekten in den Verbandskommunen. Oft besteht kein ausreichender Austausch untereinander, um von den Erfahrungen für die Umsetzung von Klimaschutz- und Klimaanpassungsprojekten profitieren zu können.

Um die Kommunen trotz dieser Ausgangslage zu unterstützen, wurden während der Ausarbeitung des Projektes mit allen Verbandskommunen Einzelgespräche geführt

und ein dafür vorbereiteter Fragebogen vorgestellt. Dieser wurde durch die jeweiligen kommunalen Mitarbeiter mit den entsprechenden Projekten ausgefüllt.

Zur Präsentation der Ergebnisse kommunenscharf mit dem Bezug zur erstellten Klimaanalyse in übersichtlicher Form zu präsentieren, wurde für jedes Verbandsmitglied eine kommunale Aktionsmappe angefertigt. Fokus sind die individuellen klimatischen Ergebnisse, eine Einstufung und eine Darstellung der klimatischen Leitplanken. Zusätzlich wurden je Kommune die Ergebnisse der Fragebogenauswertung eingefügt, um eine Basis für den interkommunalen Austausch und Dialog zu schaffen. Dieser erste Schritt soll die Kommunen ermutigen, Projekte anzugehen und von Beispielen und Erfahrungen der Nachbarkommunen zu profitieren. Somit kann der Klimaschutz effizienter und gegebenenfalls sogar grenzübergreifend in interkommunalen Konzepten noch besser umgesetzt werden.

Glossar zu den Aktionsmappen:

Hotspots

Hotspots sind im folgenden thermische Belastungsbereiche, in denen die Hitze im Vergleich zu neutralen Räumen überhöht ist. Diese Flächen sind zudem von einer stark eingeschränkten nächtlichen Abkühlung betroffen.

Kaltluft und Kaltluftabfluss

Eine entscheidende Komponente des Stadtklimas sind die lokalen Zirkulationen, die im Untersuchungsgebiet vor allem durch Kaltluft und dessen Abfluss induziert werden. Kaltluft entsteht über naturnahen Böden (Acker- und Wiesenflächen, Streuobstwiesen, Parks etc.) und fließt entsprechend der Topografie ab. Dieser Abfluss ist in der Regel als sehr sensibel und mit geringen Windgeschwindigkeiten verbunden und kann schnell von Hindernissen aufgehalten werden. Diese Bahnen sind als Entlastung der Überwärmungsgebiete sehr wichtig.

Stadtklimatische Sanierung

Siehe Beschreibung Planungshinweiskarte (Kapitel 8). Sanierungsbereiche sind demnach stark versiegelte und/oder hoch verdichtete Bereiche, an denen die lokale Zirkulation nicht greifen kann. Maßnahmen wie Begrünung (horizontal und vertikal), Entsiegelung und die Schaffung von vernetzten Grünstrukturen sind wichtige Bausteine zur nachhaltigen Verbesserung der klimatischen Situation.

Kommunale Aktionsmappe

für die Mitgliedskommunen des Zweckverband Raum Kassel

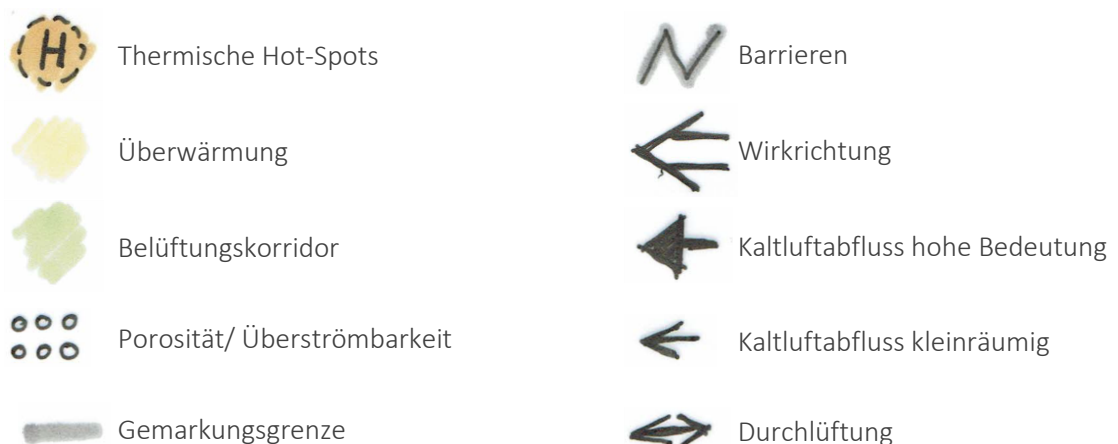
Für jede Kommune wurden zwei aufeinanderfolgende Seiten angelegt, die jeweils identisch aufgebaut sind und die gleichen Informationsebenen aufweisen.

Die erste Zeile bildet die Informationsebene, auf die sich die Texte in den Spalten der zweiten Zeile beziehen. Nach der statistischen Beschreibung der Kommune ist im zweiten Info-Kasten eine vereinfachte Wirkskizze der stadtklimatischen Vorgänge der Kommune dargestellt. Bevor die flächendeckenden Analyseergebnisse der Klimafunktionskarte (Info-Kasten 3) und der Planungshinweiskarte (Info-Kasten 4) folgen, soll durch die Wirkskizze der Fokus auf die wichtigsten und prägendsten Klimaeigenschaften der Kommune gelenkt werden. Die Beschreibung der Spalte „Klimaanpassung“ bezieht sich maßgeblich auf die Wirkskizze.

Die beiden ersten Spalten unter den Info-Kästen beziehen sich auf eine Analyse, bzw. Charakterisierung der Kommune aus stadtklimatischer Sicht, die keinen Anspruch auf eine vollumfängliche Wiedergabe aller kommunaler Eigenschaften hat. Sie soll vielmehr als kompakte Übersicht der spezifischen Merkmale dienen.

Die letzte Spalte „Kommunale Maßnahmen“ stellt einen Überblick der bereits durchgeführten Maßnahmen im Bereich Klimaschutz und Klimaanpassung dar. Ziel ist ein Austausch von Erfahrungen der Kommunen im ZRK. Es soll eine Steigerung der themenbezogenen Kommunikation, verbunden mit einer Steigerung der Effizienz bei der Umsetzung klimatischer Belange fördern.

Legende der klimatischen Wirkskizzen:



Fläche in km²: 18,03

Einwohnerzahl: 7960



Nutzung:

Große Teile sind geprägt von reiner Wohnnutzung. In den Ortskernen findet eine Mischnutzung statt, die unterschiedlich stark ausgeprägt ist. Landwirtschaft in den Außenbereichen.

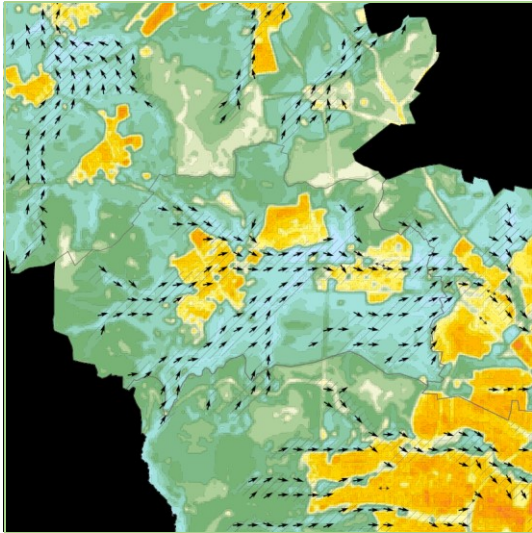
Freiraumstruktur:

Die Gemeinde Ahnatal ist im ländlichen Raum eingebettet von landwirtschaftlich genutzten Flächen mit nördlich, südlich und westlich verlaufenden Waldgebieten.

Bioklimatische Einflüsse:

Durch die beschriebenen Faktoren wie lockere Bebauung, geringe Versiegelung und ein hohes Maß an naturnahen Flächen ist die Hitzebelastung in der Gemeinde als gering einzustufen.

In dieser Betrachtung nimmt die Tagsituation, an der ähnlich hohe Belastungen wie in den stark verdichteten Bereichen der Nachbarkommunen erreicht werden, eine untergeordnete Rolle ein. Die nächtliche Abkühlung hat einen höheren Stellenwert und wird durch die klimaaktiven Flächen in direkter Angrenzung der bebauten Areale sichergestellt. Die nächtliche Erholung an sommerlichen Hitzetagen kann damit gewährleistet werden.



Klimaanpassung

Lokal

Durch die räumliche Lage Ahnatales im Kasseler Becken, umgeben von klimaaktiven Flächen und einem hohen Kaltluftabfluss, vor allem entlang der Bachläufe, kommt es schon kurz nach Sonnenuntergang zu einer deutlichen Abkühlung. Lokale Hotspots mit thermischer Belastung sind eher in den Tagstunden zu finden.

Einfluss Kasseler Becken

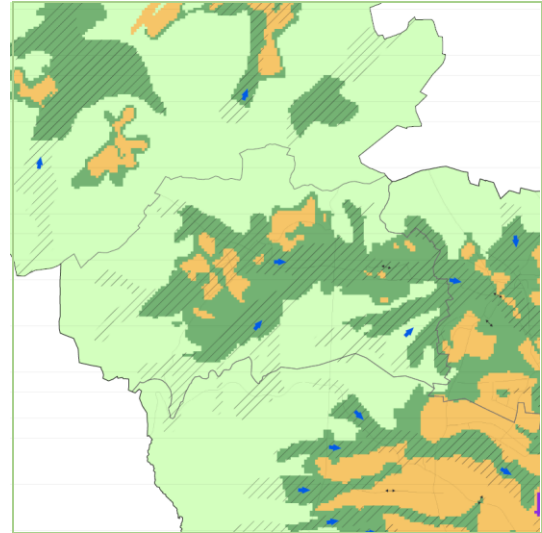
Durch das großflächige Kaltluftentstehungspotenzial und der Fließrichtung nach Osten in Richtung Vellmar und weiter in Richtung verdichteter Bereiche der Stadt Kassel, übernimmt Ahnatal eine wichtige Versorgungsfunktion für belastete Flächen.

Lokal:

- Abmilderung von Hitzeintrag während der Tagstunden an sensiblen Orten (Kindertagesstätten, Schulen, Spielplätzen, Pflegeeinrichtungen, etc.
- Siedlungsrandbereiche offen und mit hoher Porosität erhalten, Bereiche mit Kaltluftabfluss sichern und schützen.

Einfluss Kasseler Becken:

- Kaltluftabfluss in Richtung Osten sichern und schützen.
- Klimaaktive Flächen im Außenbereich schützen.



Kommunale Maßnahmen

Klimaanpassung und Klimaschutz

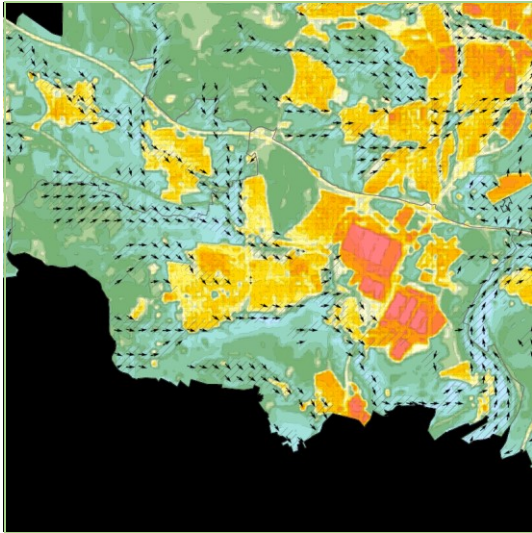
Durchgeführte Maßnahmen:

- Integriertes Klimaschutzkonzept (Nr. 2)
- Einstellung Klimaschutzmanager (Nr. 3)
- Teilnahme Regio-Twin „Grüne Verwaltung - 2015 (Nr. 8)
- Energiesparmodell für Kitas (Nr. 9)
- Energetische Sanierung kommunale Liegenschaften (Nr. 10 & 11)
- Ausbau Radwegenetz (Nr. 14)
- Aufbau E-Ladeinfrastruktur (Nr. 18 & 19)
- Konzept energ. Stadtsanierung (Nr. 17)
- Ertüchtigung Kläranlage (Nr. 19)
- Renaturierung der Ahne (Nr. 20)

(Auszug aktuell wirksamer/konkret geplanter Maßnahmen. Eine ausführliche Gesamtaufstellung aller Maßnahmen sowie die Zuweisung der Nummerierungen befindet sich im Anhang.)

Anmerkung

Bei systematischer Gebäudesanierung ist ein anschließendes Monitoring sinnvoll, um Erfolge besser aufzeigen und kommunizieren zu können. Besonders bei Mobilitätsprojekten erzeugt interkommunale Zusammenarbeit sinnvolle Synergien, die zur Kostenreduktion und besserer Ausnutzung führen können.



Klimaanpassung

Lokal

Die klimaaktiven Flächen können zwar Kaltluft produzieren, durch die teilweise kompakte Bebauung und durch die Abflussverhältnisse der Kaltluft profitieren allerdings nur die Randbereiche von diesen klimatischen Wechselwirkungen. Lokale Hotspots mit thermischer Belastung bilden sich aus. Besonders extrem stellt sich diese Situation in den Gewerbegebieten angrenzend an die BAB49 ein.

Einfluss Kasseler Becken

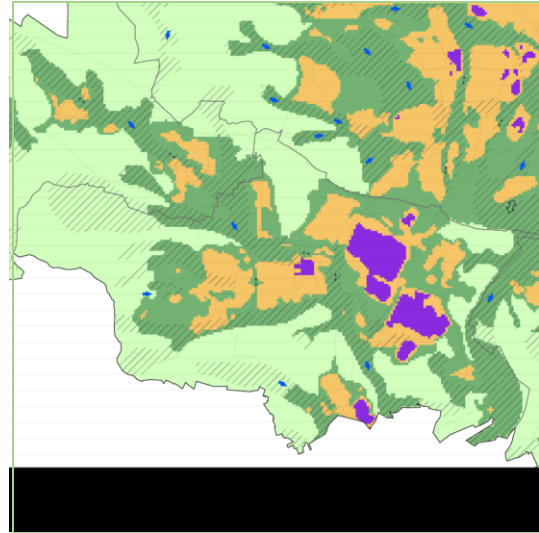
Bei Wetterlagen mit Anströmung aus der Hauptwindrichtung werden die Emissionen ins Kasseler Becken verfrachtet, lufthygienische Nachteile sind die Folge. An austauscharmen Sommertagen findet der lokale Kaltluftabfluss nach Osten in Richtung Fulda statt.

Lokal:

- Thermische Hotspots müssen abgemildert werden. Sanierung des Stadtklimas, Förderung des Vegetationsvolumens.
- Die Kaltluftbahn entlang der Bauna in Altenbauna muss geschützt werden, um das Zentrum zu entlasten.

Einfluss Kasseler Becken:

- Reduzierung der Luftschadstoffemissionen zur Steigerung der Luftgüte im Kasseler Becken.



Kommunale Maßnahmen Klimaanpassung und Klimaschutz

Durchgeführte Maßnahmen:

- E-Mobilitätskonzept (Nr. 1)
- E-Carsharing (Nr. 3)
- Einstellung Energiebeauftragter (Nr. 6)
- Quartierskonzepte (Nr. 8 & 10)
- Energetische Sanierung Sporthalle (Nr. 16)
- Dachbegrünung städt. diverse Liegenschaften (Nr. 28)
- Förderprogramme Klimaschutz (Nr. 30 & 31)
- E-Autos städtischer Fuhrpark (Nr. 32)
- Teilnahme Regio Twin (Nr. 36)

(Auszug aktuell wirksamer/konkret geplanter Maßnahmen. Eine ausführliche Gesamtaufstellung aller Maßnahmen sowie die Zuweisung der Nummerierungen befindet sich im Anhang.)

Anmerkung

Besonders bei Mobilitätsprojekten erzeugt interkommunale Zusammenarbeit sinnvolle Synergien, die zur Kostenreduktion und besserer Ausnutzung führen können.

Gemeinde Calden

Nordwestlich im Verbandsgebiet

Fläche in km²: 54,84

Prozentualer Flächenanteil ZRK 14%

Einwohnerzahl: 7.550

**Analyse / Charakterisierung****Bebauungsstruktur:**

Die Gemeinde Calden gliedert sich in die Ortsteile Calden, Ehrsten, Fürstenwald, Meimbressen, Obermeiser und Westuffeln. Die klimatische Lage ist größtenteils außerhalb des Kasseler Beckens im Nordosten des ZRK.

Bis auf die Flughafenstrukturen und den alten Ortskern Caldens ist eine ländlich geprägte Bebauung vorzufinden. Alleinstehende Gebäude mit viel Freiraum und hohem Vegetationsanteil sind prägend.

Versiegelung:

Der große Anteil an unversiegelten landwirtschaftlichen Flächen hat eine hohe klimaökologische Wertigkeit. Die großräumigen Parkplätze, Verkehrsflächen und Rollbahnen wirken sich jedoch negativ auf das Klima aus.

Nutzung:

Große Teile sind geprägt von reiner Wohnnutzung, besonders in den Randbereichen. In den Ortskernen findet eine Mischnutzung statt. Besonderheiten in dieser Kommune sind der Kassel Airport und die Anlage Schloss Wilhelmsthal.

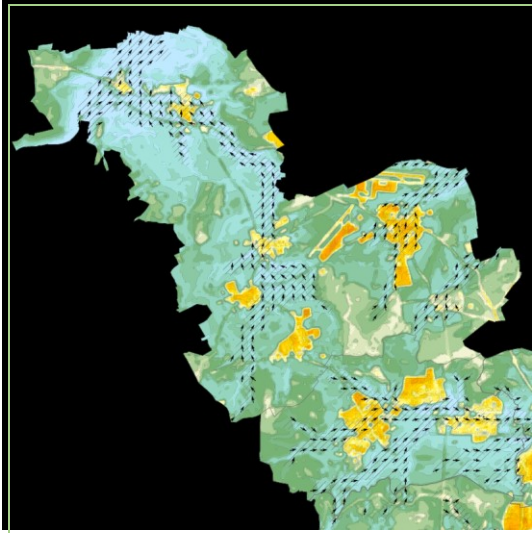
Freiraumstruktur:

Die Ortsteile der Gemeinde Calden sind umgeben von großflächigen Naturräumen. Die bebaute Lage der Ortsteile weist eine typische Freiraumstruktur ländlicher Regionen auf.

Bioklimatische Einflüsse:

Durch die beschriebenen Faktoren wie lockere Bebauung, geringe Versiegelung und ein hohes Maß an naturnahen Flächen ist die Hitzebelastung in der Gemeinde als gering einzustufen.

In dieser Betrachtung nimmt die Tagsituation, an der ähnlich hohe Belastungen wie in den stark verdichteten Bereichen der Nachbarkommunen erreicht werden, eine untergeordnete Rolle ein. Die nächtliche Abkühlung hat einen höheren Stellenwert und wird durch die klimaaktiven Flächen in direkter Angrenzung der bebauten Areale sichergestellt. Die nächtliche Erholung an sommerlichen Hitzetagen kann damit gewährleistet werden.



Klimaanpassung

Lokal

Durch die räumliche Lage umgeben von klimaaktiven Flächen kommt es schon zeitnah nach Sonnenuntergang zu einer deutlichen Abkühlung, die mit geringen Unterschieden in allen Bereichen des Gemeindegebiets wirkt. Lokale Hotspots mit thermischer Belastung sind höchstens in den Tagstunden zu finden.

Einfluss Kasseler Becken

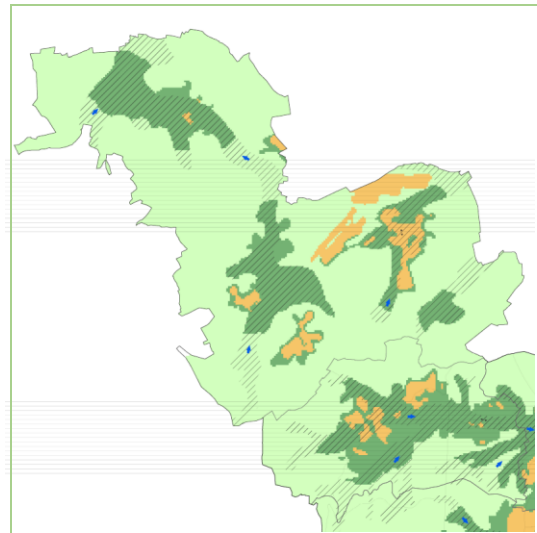
Das großflächige Kaltluftentstehungspotenzial kann ein hohes Volumen produzieren und fördern. Die Lage außerhalb des Kasseler Beckens, und eine von Kassel abgewandte Ausrichtung der Flächen, bewirken eine klimatische Zuordnung ohne Einfluss auf die Belastungsgebiete im Kasseler Becken.

Lokal:

- Abmilderung von Hitzeintrag während der Tagstunden an sensiblen Orten (Kindertagesstätten, Schulen, Spielplätzen, Pflegeeinrichtungen, etc.)

Einfluss Kasseler Becken:

- Keine Maßnahmen zu beachten.



Kommunale Maßnahmen Klimaanpassung und Klimaschutz

Durchgeführte Maßnahmen:

- E-Fahrzeuge Bauhof (Nr. 2)
- Radwegeausbau (Nr. 4)
- Energetische Sanierung Rathaus und Kindergarten (Nr. 8 & 9)
- Klimaschutzmanager in Planung (Nr. 10)

(Auszug aktuell wirksamer/konkret geplanter Maßnahmen. Eine ausführliche Gesamtaufstellung aller Maßnahmen sowie die Zuweisung der Nummerierungen befindet sich im Anhang.)

Anmerkung

Besonders bei Mobilitätsprojekten wie dem Radverkehr, erzeugt interkommunale Zusammenarbeit sinnvolle Synergien, die zur Kostenreduktion und besserer Ausnutzung führen können.

Gemeinde Fuldabrück

Südlich im Kasseler Becken

Fläche in km²: 16,58

Prozentualer Flächenanteil ZRK 5%

Einwohnerzahl: 8.781

**Analyse / Charakterisierung****Bebauungsstruktur:**

Die Gemeinde Fuldabrück ist südlich im Kasseler Becken gelegen und besteht aus den Ortsteilen Bergshausen, Dennhausen/Dittershausen und Dörnhagen. Die nördlich gelegenen Gewerbegebietsflächen Bergshausens grenzen direkt an die Kasseler und Lohfeldener Gewerbeflächen und bilden den Industriepark Kassel. Dieser Bereich ist geprägt von großen Gewerbehallen und Nebengebäuden, wogegen die restliche Bebauungsstruktur eher ländlichen Charakter mit lockerer Bebauung und alten Dorfkernen aufweist.

Versiegelung:

Sehr hohe Versiegelung im Bereich des Industrieparks Kassel und entlang der Gewerbeflächen an der B83.

Des Weiteren sind großzügige, locker bebaute Siedlungsräume mit leicht erhöhtem Versiegelungsgrad im alten Dorfkern zu finden.

Nutzung:

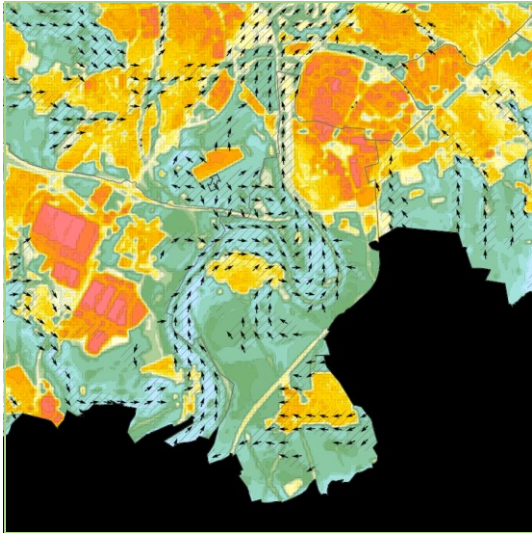
Fuldabrück beherbergt die unterschiedlichsten Nutzungstypen von Industrie und Gewerbe bis zu Einzelhandel und Mischnutzung in den aktiven Dorfkernen. Die Randbereiche der Siedlungsflächen sind vor allem von Wohnnutzung geprägt.

Freiraumstruktur:

Prägend für die Gemeinde ist die Fulda mit Freiräumen im Uferbereich, die wertvolle klimaökologische Funktionen erfüllen. Des Weiteren ist der Ortsteil Bergshausen am Hang gelegen und wird von zwei Autobahnen und der Fulda eingeschlossen. Die Ortsteile Dennhausen/Dittershausen und Dörnhagen weisen typische Freiräume mit ländlichem Charakter auf.

Bioklimatische Einflüsse:

Während die Siedlungsflächen durch geringe Bebauungsdichte und großzügiger Vegetationsausstattung ausgewogene klimatische Verhältnisse bieten, bilden sich auf den Industrie- und Gewerbeflächen Wärmeinseln mit hohem Hitzestresspotenzial aus. Das Zentrum Bergshausens, mit eher höherer Dichte, profitiert von dem Kaltluftvolumenstrom entlang der Fulda, so dass Wärmeinseln am Tag rasch abgebaut werden. Die weiteren Ortsteile profitieren von den umgebenden Freiflächen und der Fuldaaue.



Klimaanpassung

Lokal

Die Hitzebelastung im nördlichen Bereich der Gemeinde (Industrie- und Gewerbeflächen) ist sehr ausgeprägt und sollte abgemildert werden. Allerdings gelangt die Kaltluft der Fulda nicht bis in die höher angesiedelten Defizitbereiche. Eine Erhöhung des Vegetationsvolumens (horizontal und vertikal) würde abmildernd wirken.

Einfluss Kasseler Becken

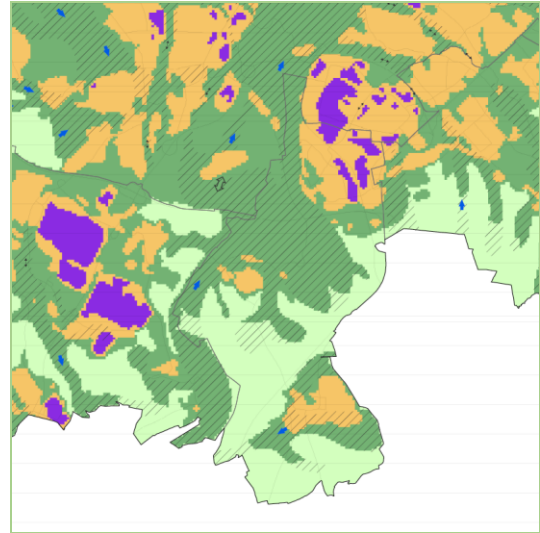
Mit dem Verlauf der Fulda hat Fuldaabrück großen Einfluss auf den Kaltlufteintrag ins Kasseler Becken. Die Durchlässigkeit im Bereich der Bergshäuser Brücke ist ein Engpass und muss erhalten bleiben.

Lokal:

- Nutzung der Kaltluft der Fulda in Bereichen, wo eine Wirksamkeit vorhanden ist (passive Kühlung im Sommer).
- Stadtklimatische Sanierung der Industrie- und Gewerbeflächen durch mehr Vegetation und Ausrichtung im Bereich der Kaltluftpotenziale.

Einfluss Kasseler Becken:

- Kaltlufttransport entlang der Fulda aufrechterhalten!
- Reduzierung der Luftschadstoffemissionen zur Steigerung der Luftgüte im Kasseler Becken.



Kommunale Maßnahmen Klimaanpassung und Klimaschutz

Durchgeführte Maßnahmen:

- Klimaschutzteilkonzept (Nr. 3)
- BHKW Sporthalle / Rathaus & Kläranlage (Nr. 4 & 11)
- Ausbau Radweg (Nr. 5)
- E-Mobilität Ausbau (Nr. 7 & 15)
- Renaturierung Fuldaaue (Nr. 9)

(Auszug aktuell wirksamer/konkret geplanter Maßnahmen. Eine ausführliche Gesamtaufstellung aller Maßnahmen sowie die Zuweisung der Nummerierungen befindet sich im Anhang.)

Anmerkung

Besonders bei Mobilitätsprojekten erzeugt interkommunale Zusammenarbeit sinnvolle Synergien, die zur Kostenreduktion und besserer Ausnutzung führen können.

Gemeinde Fuldaatal

Nördlich im Kasseler Becken

Fläche in km²: 33,68

Prozentualer Flächenanteil ZRK 9%

Einwohnerzahl: 12.483

**Analyse / Charakterisierung****Bebauungsstruktur:**

Die Gemeinde Fuldaatal ist nördlich im Kasseler Becken gelegen und besteht aus den Ortsteilen Ihringshausen, Knickhagen, Rothwesten, Simmershausen, Wahnhausen, Wilhelmshausen. In direkter Nachbarschaft zur Stadt Kassel ist der südliche Bereich Fuldaatals mit dem Ortsteil Ihringshausen durch Gewerbeflächen geprägt. Die weiteren bebauten Siedlungsbereiche und die weiträumigen Freiräume sind ländlich geprägt. Die spiegelt sich in der teilweise sehr lockeren Bebauungsstruktur wider. Neben einer größeren Anlage der Bundespolizei befindet sich das 21 MWp Solarkraftwerk in Rothwesten.

Versiegelung:

Hohe Versiegelung ist im Bereich der beschriebenen Gewerbeflächen im südlichen Bereich der Gemeinde zu finden. Hier verlaufen auch ausgedehnte Gleise der DB. Die weiteren Siedlungsflächen werden als gering versiegelt eingestuft.

Nutzung:

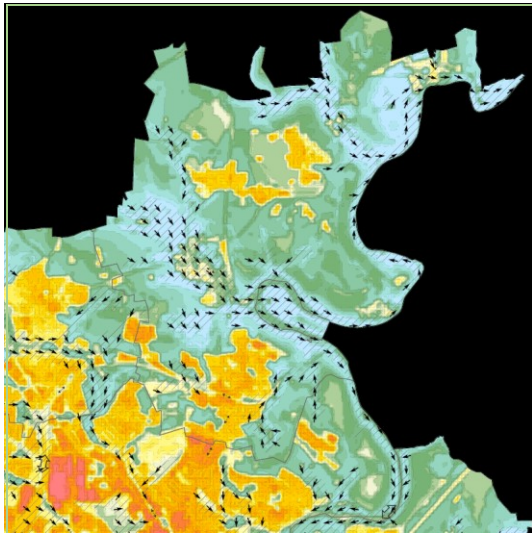
Intensive Nutzungen sind in den Gewerbegebieten zu finden. Manche Ortsteile sind durch Wohnnutzung und Mischnutzung im Dorfkern geprägt, wobei Knickhagen, Wilhelmshausen und Wahnhausen nahezu ausschließlich der Wohnnutzung dienen. Landwirtschaft in den Außenbereichen.

Freiraumstruktur:

Prägend für die Gemeinde ist der Fuldaverlauf mit Freiräumen im Uferbereich. Des Weiteren haben die ausgedehnten landwirtschaftlichen Freiflächen sehr hohe klimaökologische Potenziale. Die Freiräume in den Ortslagen sind mit vereinzelt großen Flächen vorhanden, die Freiräume der Gewerbestandorte weisen nur geringe Grünflächen auf.

Bioklimatische Einflüsse:

Im Vordergrund der Gemeinde stehen die sehr großzügigen naturnahen Flächen, die hohe klimaökologische Wertigkeit haben und Ausgleichsfunktionen übernehmen. Stadtklimatische Belastungsbereiche sind in Ihringshausen zu erwarten. Entscheidend sind die dichter bebauten Wohnflächen in direkter Nachbarschaft zu den Gewerbeflächen mit deutlichen Überwärmungspotenzial.



Klimaanpassung

Lokal

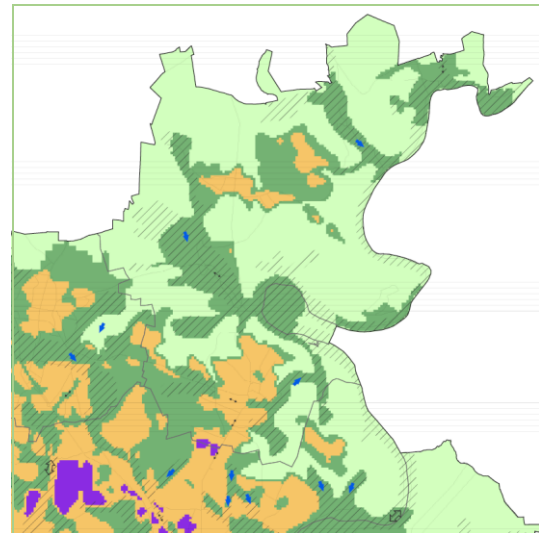
Die Hitzebelastung in Fulda tritt vor allem im Ortsteil Ihringshausen auf. Der hohe Versiegelungsgrad und die dichte, großflächige Bebauung sorgen für ein deutliches Überwärmungspotenzial, dem entgegengewirkt werden sollte. Die Ventilationsflächen entlang der Bahngleise wirkt auch für die direkte Nachbarschaft kühlend. Die weiteren Ortsteile profitieren von den großzügigen klimaaktiven Flächen, hier herrscht allenfalls der Bedarf die Sonneneinstrahlung durch geeignete Verschattungsoptionen bei besonders sensiblen Nutzungen abzumildern.

Einfluss Kasseler Becken

Durch die orografische Lage der Gemeinde besteht kein direkter Einfluss auf die stadtklimatischen Verhältnisse in den Überwärmungsgebieten der Stadt Kassel.

Lokal:

- Stadtklimatische Sanierung der Gewerbeflächen durch Vegetation (horizontal und vertikal angeordnet) und Vernetzung von Freiräumen.
- Aufrechterhaltung der Belüftungssachse entlang der Bahngleise. Vernetzung der Freiräume/ Beachtung der Gebäudeanordnung auf diesen Flächen.



Kommunale Maßnahmen Klimaanpassung und Klimaschutz

Durchgeführte Maßnahmen:

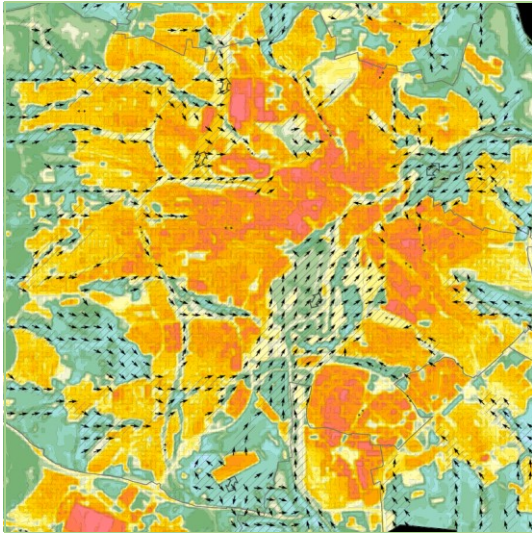
- Klimaschutzteilkonzepte (Nr. 1 & 2)
- Integriertes Klimaschutzkonzept (Nr. 3)
- Umweltschutzwoche (Nr. 5)
- Regenrückhaltung Rathausplatz (Nr. 6)
- Energetische Sanierung kommunaler Gebäude (Nr. 8)
- Renaturierung Gewässer (Nr. 11 & 12)
- Einstellung Klimaschutzmanager in Planung (Nr. 15)

(Auszug aktuell wirksamer/konkret geplanter Maßnahmen. Eine ausführliche Gesamtaufstellung aller Maßnahmen sowie die Zuweisung der Nummerierungen befindet sich im Anhang.)

Anmerkung

Besonders bei der Öffentlichkeitsarbeit (regelmäßige Umweltschutzwoche), kann sich interkommunale Zusammenarbeit anbieten, um eine Kostenreduktion bei höherem Bekanntheitsgrad zu erzielen.

Bei systematischer Gebäudesanierung ist ein anschließendes Monitoring sinnvoll, um Erfolge besser aufzeigen und kommunizieren zu können.

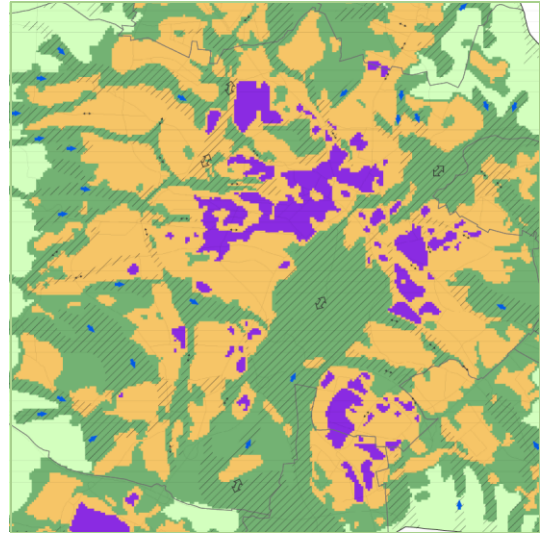


Klimaanpassung

Die am stärksten belastete Stadtteile Mitte und Vorderer Westen müssen dringend stadtklimatisch aufgewertet werden. Die Vernetzung von horizontalen Grünflächen ist zielführend, wenn die Möglichkeit kleinräumiger Zirkulation genutzt werden kann. Ohne Belüftungseinfluss muss verschattet werden. Bioklimatisch zu bevorzugen ist dabei Vegetationsschatten. Vernetzung großräumiger Luftleit- und Kaltluftbahnen, um die klimaökologischen Potenziale möglichst weit in die Stadt transportieren zu können. Im gleichen Zug müssen die verbleibenden klimaaktiven Flächen geschützt werden.

- Nutzung der Kaltluft aus Westen und Osten zur passiven Kühlung im Sommer.
- Schutz, Vernetzung und Ausbau bestehender Belüftungskorridore.
- Keine weitere Nachverdichtung im Bereich von überströmbaren Siedlungsgebieten.
- Stadtklimatische Sanierung der Industrie- und Gewerbeflächen durch mehr Vegetation und Ausrichtung im Bereich der Kaltluftpotenziale.

Detailliertere Maßnahmen und deren Verordnung sind dem Klimaschutzteilkonzept „Anpassung an den Klimawandel“ für die Stadt Kassel zu entnehmen.



Kommunale Maßnahmen Klimaanpassung und Klimaschutz

Durchgeführte Maßnahmen:

- Integriertes Klimaschutzkonzept (Nr. 1)
- Klimaschutzteilkonzepte (Nr. 2 / 7 & 9)
- Quartierskonzepte (Nr. 3 & 4)
- Forschungsprojekt KliWiPraKo (Nr. 8)
- ExWoSt-Forschungsvorhaben "Klimaresilienter Stadtumbau (Nr. 10)
- Klimaschutz- und Sanierungsmanager (Nr. 11 & 12)
- Ausbau E-Mobilität (Nr. 14 & 15)
- Umweltsensitive Verkehrssteuerung (Nr. 16)

(Auszug aktuell wirksamer/ konkret geplanter Maßnahmen. Eine ausführliche Gesamtaufstellung aller Maßnahmen sowie die Zuweisung der Nummerierungen befindet sich im Anhang.)

Anmerkung

Bei nahezu allen Öffentlichkeits- und Mobilitätsmaßnahmen kann eine interkommunale Zusammenarbeit mit allen Umlandkommunen deutliche Synergien erzeugen. In der Funktion als Zentrum ist besonders der Radverkehr und die Vernetzung der E-Mobilität und deren Infrastruktur entscheidend und darf nicht an der Verwaltungsgrenze enden, um eine hohe Wirksamkeit erzielen zu können.

Gemeinde Kaufungen

Östlich im Kasseler Becken

Fläche in km²: 26,15

Prozentualer Flächenanteil ZRK 7%

Einwohnerzahl: 12.519

**Analyse / Charakterisierung****Bebauungsstruktur:**

Die Gemeinde im Osten des Kasseler Beckens besteht aus Ober- und Niederkaufungen sowie dem Gewerbe- und Industriegebiet mit Wohngebiet Papierfabrik. Die Bebauung Ober- und Niederkaufungen ist dörflich mit jeweils dichten Ortskernen und Wohnbebauung in den Randlagen, sowie Siedlungserweiterungen. Das Industrie- und Gewerbegebiet Papierfabrik ist geprägt von teilweise großen Hallen und dichter Bebauung und schließt mit dem Wohngebiet direkt an Kassel an.

Versiegelung:

Der Versiegelungsgrad ist aufgrund der heterogenen Bebauungsverhältnisse sehr unterschiedlich ausgeprägt. Er erstreckt sich von sehr gering in den locker bebauten Wohngebieten, über hoch in den Ortskernen, bis hin zu sehr hoch im Industrie- und Gewerbegebiet Papierfabrik.

Nutzung:

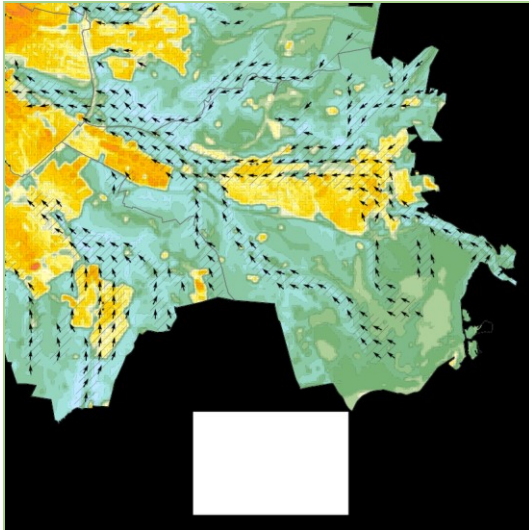
Kaufungen zeichnet sich durch sehr heterogene Strukturen aus. Reine Wohnnutzung in den Randbereichen, Wohn- und Mischnutzung in den aktiven Ortskernen bis hin zu großflächiger industrieller und gewerblicher Nutzung. Erholungsfunktion übernimmt das Naherholungsgebiet Steinertsee zwischen den Ortsteilen Ober- und Niederkaufungen. Land- und Forstwirtschaft in den Außenbereichen.

Freiraumstruktur:

Die Gemeinde Kaufungen ist im Lossetal gelegen und ist umgeben von landwirtschaftlichen Flächen und Waldgebieten.

Bioklimatische Einflüsse:

Kaufungen profitiert von der Lage im Lossetal. Die nächtliche Kaltluft besitzt eine sehr hohe Mächtigkeit, so dass Ober- und Niederkaufungen sehr gut versorgt werden. Zudem können diese Potenziale bis die Belastungsbereiche der Stadt Kassel hineinwirken. Die Industrie- und Gewerbeflächen der Papierfabrik wirken als Wärmeinsel und können aufgrund der Bebauungsstruktur nicht ganzheitlich versorgt werden.



Klimaanpassung

Lokal

Durch das hohe Kaltluftvolumen findet eine gute nächtliche Belüftung/ Abkühlung statt. Dieser Kaltluftstrom muss gesichert und geschützt werden, kann aber auch aus Sicht des Klimaschutzes verstärkt werden. Überwärmungsbereiche im verdichteten Gebiet müssen vor allem durch mehr Vegetation in den Tagstunden entlastet werden. Wärmeinsel im Gebiet der Papierfabrik sanieren und aufwerten.

Einfluss Kasseler Becken

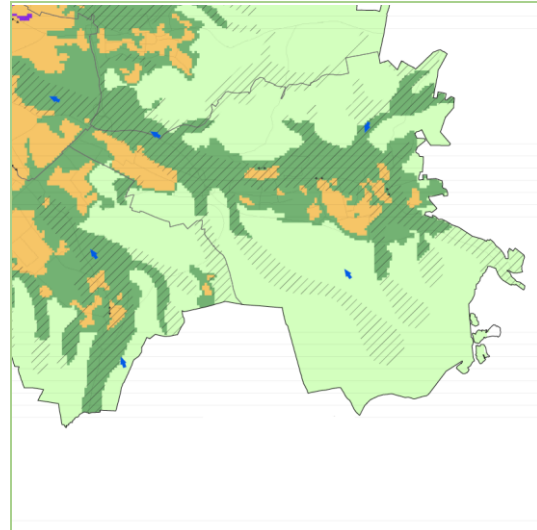
Durch das sehr hohe Kaltluftvolumen kann die Entlastung bis in die dicht bebauten Bereiche der Stadt Kassel positiv hineinwirken. Dieser Vorgang darf nicht verkleinert werden, Nutzungsänderungen, vor allem zwischen Niederkaufungen und Stadt Kassel sollten verhindert werden.

Lokal:

- Abmilderung von Hitzeeintrag während der Tagstunden an sensiblen Orten (Kindertagesstätten, Schulen, Spielplätzen, Pflegeeinrichtungen, etc.)
- Siedlungsrandbereiche offen und mit hoher Porosität erhalten, Bereiche mit Kaltluftabfluss sichern und schützen.

Einfluss Kasseler Becken:

- Kaltluftabfluss in Richtung Westen sichern und schützen.
- Klimaaktive Flächen im Außenbereich schützen.



Kommunale Maßnahmen Klimaanpassung und Klimaschutz

Durchgeführte Maßnahmen:

- Regenrückhaltung Neubau (Nr. 1)
- Klimaschwerpunkt Bibliothek (Nr. 2)
- Ausbau E-Mobilität (Nr. 4 & 5)
- Förderung / Darlehen Bauherren (Nr. 7)
- Energetische Sanierung kommunale Liegenschaften (Nr. 15)
- Integriertes Klimaschutzkonzept und Fortschreibung (Nr. 20 & 22)
- Klimaschutzmanager (Planung) (Nr. 23)
- Energieautarke Siedlung (Nr. 24)
- Renaturierung Losse / Hochwasserschutz (Nr. 30 - 33)

(Auszug aktuell wirksamer/konkret geplanter Maßnahmen. Eine ausführliche Gesamtaufstellung aller Maßnahmen sowie die Zuweisung der Nummerierungen befindet sich im Anhang.)

Anmerkung

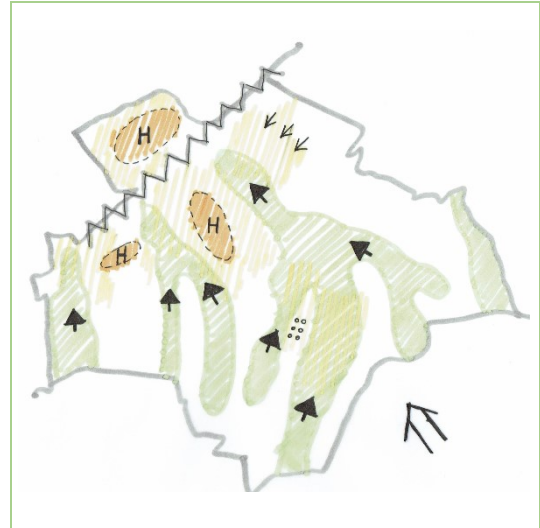
Bei systematischer Gebäudesanierung ist ein anschließendes Monitoring sinnvoll, um Erfolge besser aufzeigen und kommunizieren zu können.

Besonders bei Mobilitätsprojekten erzeugt interkommunale Zusammenarbeit sinnvolle Synergien, die zur Kostenreduktion und besserer Ausnutzung führen können.

Fläche in km²: 16,58

Prozentualer Flächenanteil ZRK 4%

Einwohnerzahl: 14.118



Nutzung:

Große Teile sind geprägt von reiner Wohnnutzung, besonders in den Randbereichen. In den Ortskernen findet eine Mischnutzung statt, die unterschiedlich stark ausgeprägt ist. Intensive gewerbliche Nutzung in den Industrie- und Gewerbegebieten. Landwirtschaft in den Außenbereichen.

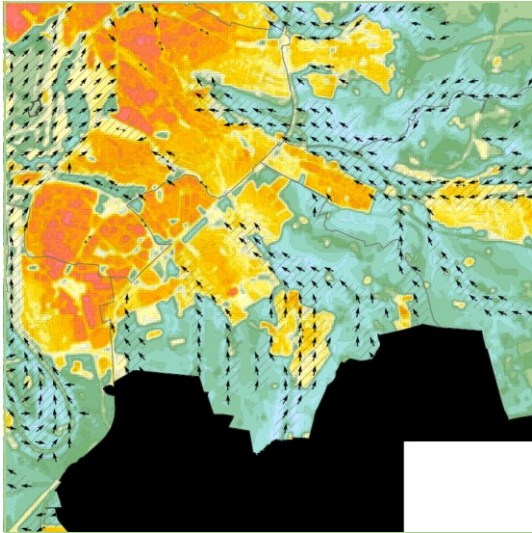
Durch die charakteristischen Züge einer Stadtrandgemeinde, ist eine mittlere Bebauungsdichte vorzufinden. Lohfelden besteht aus den Ortsteilen Crumbach, Ochshausen und Vollmarshausen. In den Bereichen der historischen Dorfkerne sind dichte Bauweisen vorzufinden. Insgesamt ist die Gemeinde Lohfelden geprägt von Ein- und Zweifamilienhäusern, aber auch Mehrfamilienhäusern. Großflächige Industrie- und Gewerbeflächen sind in direkter Nachbarschaft zu Kassel vorzufinden.

Die Gemeinde Lohfelden verfügt über vielfältige öffentliche und private Freiräume. Neben Grünanlagen wie der „Grünen Mitte“ bieten Bereiche wie Spielplätze und Parkanlagen Möglichkeiten zur Erholung.

Bioklimatische Einflüsse:

In den dicht bebauten Bereichen der Ortskerne ist eine hohe Versiegelung vorzufinden, die sich in den Randbereichen deutlich verringert. Die höchsten Versiegelungsgrade gibt es in den Industrie- und Gewerbegebieten. Starke Versiegelung befindet sich auf den Verkehrsflächen des Lohfeldener Rüssels.

Der Einfluss sommerlicher Hitzebelastung hängt stark vom jeweiligen Bereich ab, da das Gemeindegebiet sehr heterogen ist. Besonders in den Randbereichen ist eine Möglichkeit zur nächtlichen Abkühlung deutlich gegeben, wohingegen in den Kernbereichen stärkere Hot-Spots vorzufinden sind, an denen es vermehrt zu Hitzebelastungen kommt. Die Industrie- und Gewerbeflächen sind geprägt von Überwärmung.



Klimaanpassung

Lokal

Der Ortsteil Vollmarshausen profitiert vom mächtigen Kaltluftabfluss aus der Söhre entlang des Wahlebachs. Die klimaaktiven Flächen entlang der Wahlebachaue zwischen Vollmarshausen und Ochshausen versorgen den Ortsteil Ochshausen. Lokale Kaltluftabflüsse versorgen den Ortsteil Crumbach. Überwärmungsgebiete im Zentrum Lohfeldens und in den versiegelten Bereichen müssen stadtklimatisch aufgewertet werden.

Einfluss Kasseler Becken

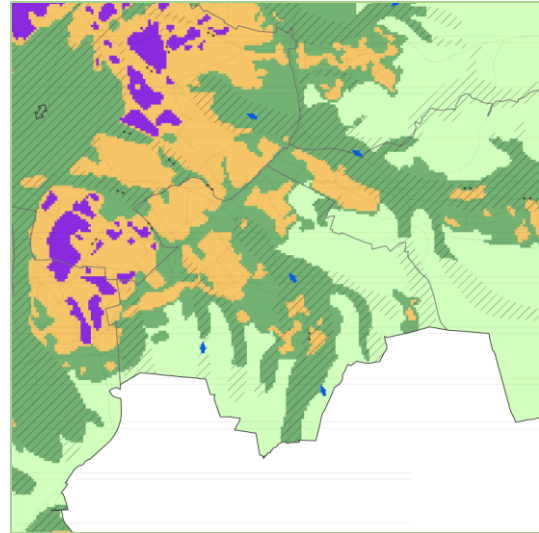
Der Kaltluftabfluss aus den Höhen der Söhre ist in Richtung Kasseler Belastungsflächen gerichtet. Allerdings hindern Barrieren eine großflächige Wirksamkeit.

Lokal:

- Mehr Vegetation in den Belastungsgebieten und Abmilderung von Hitzeeintrag während der Tagstunden an sensiblen Orten.
- Siedlungsrandbereiche offen und mit hoher Porosität erhalten, Bereiche mit Kaltluftabfluss sichern und schützen.

Einfluss Kasseler Becken:

- Kaltluftabfluss in Richtung Westen sichern und fördern (Vernetzung).
- Klimaaktive Flächen im Außenbereich schützen.



Kommunale Maßnahmen

Klimaanpassung und Klimaschutz

Durchgeführte Maßnahmen:

- Klimaschutzmanager - temporär (Nr. 1)
- Integriertes Klimaschutzkonzept / Energiekonzept (Nr. 2 & 20)
- Ausweisung Baugebiet Passivhausstandard (Nr. 4)
- Ausbau E-Mobilität (Nr. 6 & 24)
- Betrieb Biogasanlage mit LK Kassel - BHKW (Nr. 7)
- Umrüstung Brunnenpumpen Wasserversorgung (Nr. 15)
- Regenrückhaltebecken Herchenbach (Nr. 16)
- Energiemanagementsystem Gemeindewerke (Nr. 18)
- Generalentwässerungsplanung (Nr. 21)

(Auszug aktuell wirksamer/konkret geplanter Maßnahmen. Eine ausführliche Gesamtaufstellung aller Maßnahmen sowie die Zuweisung der Nummerierungen befindet sich im Anhang.)

Anmerkung

Besonders bei der Öffentlichkeitsarbeit, bietet sich interkommunale Zusammenarbeit an, um eine Kostenreduktion bei höherem Bekanntheitsgrad zu erzielen. Auch ist dabei auf eine Verstetigung zu achten, um das Thema dauerhaft zu verankern.

Gemeinde Niestetal

Östlich im Kasseler Becken

Fläche in km²: 22,15

Prozentualer Flächenanteil ZRK 6%

Einwohnerzahl: 11.096

**Analyse / Charakterisierung****Bebauungsstruktur:**

Die Gemeinde Niestetal im Osten des Kasseler Beckens besteht aus den Ortsteilen Heiligenrode und Sandershausen. Beide Ortsteile sind dörflich geprägt mit ausgedehnten Kerngebieten, die dichtere Bebauung aufweisen. Zudem hat Heiligenrode mehrere Gewerbeflächen, die entsprechende Hallenstrukturen besitzen. Sandershausens Gewerbeflächen grenzen direkt an die Kasseler Gewerbeflächen im Bereich der Dresdener Straße an. Große Strukturen sind östlich der BAB7 auf den Flächen des SMA Solarwerks zu finden.

Versiegelung:

In den dicht bebauten Bereichen der Ortskerne ist eine hohe Versiegelung vorzufinden, die sich in den Randbereichen deutlich verringert. Inner- und außerörtliche Industrie- und Gewerbeflächen sind stark versiegelt.

Nutzung:

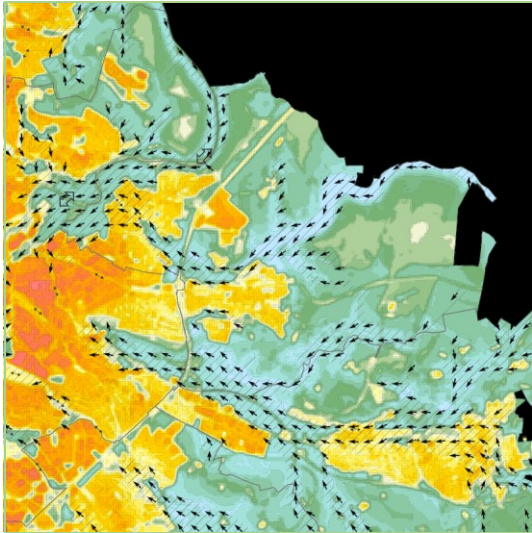
Große Teile sind geprägt von reiner Wohnnutzung, besonders in den Randbereichen. In den Ortskernen findet eine Mischnutzung statt, die unterschiedlich stark ausgeprägt ist. Intensive gewerbliche Nutzungen in den benannten Gebieten. Landwirtschaft in den Außenbereichen.

Freiraumstruktur:

Großer und prägender Freiraum entlang der Nieste. Im Siedlungsbereich finden sich dörfliche Freiraumstrukturen mit teilweise großflächigen Grünflächen im bebauten Bereich. Vor allem nördlich und östlich ausgedehnte Wald- und landwirtschaftliche Nutzflächen.

Bioklimatische Einflüsse:

Der Einfluss sommerlicher Hitzebelastung hängt stark vom jeweiligen Bereich ab, da das Gemeindegebiet sehr heterogen ist. Besonders in den Randbereichen und im Einflussgebiet der Nieste ist eine Möglichkeit zur nächtlichen Abkühlung deutlich gegeben, wohin gegen in den Kernbereichen deutlichere Hot-Spots vorzufinden sind, an denen es vermehrt zu Hitzebelastungen kommt. Bioklimatische Vorteile im Kerngebiet Sandershausens durch den Kaltluftabfluss.



Klimaanpassung

Lokal

Der Ortsteil Sandershausen profitiert vom mächtigen Kaltluftabfluss entlang der Nieste. Die klimaaktiven Flächen entlang der Bachaue sollten geschützt werden. Potenziale für Sandershausen diese Kaltluft zu nutzen, sollten geprüft werden. Gewerbe- und Kernbereiche müssen durch mehr Vegetation (horizontal oder vertikal) stadtklimatisch aufgewertet werden. Ortsränder, vor allem in Heiligenrode, porös halten.

Einfluss Kasseler Becken

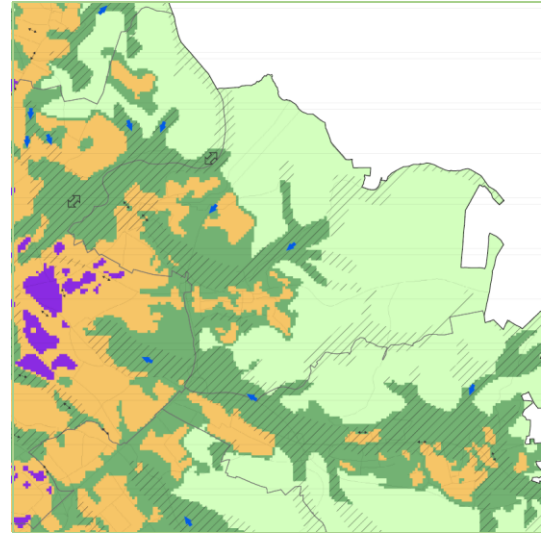
Der Kaltluftabfluss entlang der Nieste mündet in der übergeordneten Belüftungsbahn der Fulda. Klimaaktive Flächen mit geringer Rauigkeit im südlichen Lossetal erhalten, zur Kaltluftzufuhr Kassel/Bettenhausen.

Lokal:

- Mehr Vegetation in den Belastungsgebieten und Abmilderung von Hitzeeintrag während der Tagstunden an sensiblen Orten.
- Siedlungsrandbereiche offen und mit hoher Porosität erhalten, Bereiche mit Kaltlufteinfluss nutzen.

Einfluss Kasseler Becken:

- Kaltluftabfluss im Lossetal in Richtung Westen sichern.
- Klimaaktive Flächen im Außenbereich schützen.



Kommunale Maßnahmen

Klimaanpassung und Klimaschutz

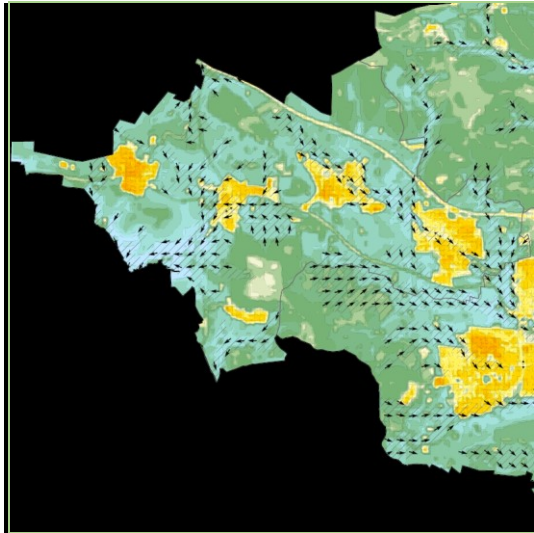
Durchgeführte Maßnahmen:

- Kommunale Förderprogramme für Bürger (Nr. 1 / 2 / 3 / 16-19)
- Klimaschutz- und Quartierskonzepte (Nr. 6 / 8 / 9)
- Klimaschutz- und Quartiersmanager (temporär) (Nr. 7 & 11-13)
- Hochwasserschutz Nieste (Nr. 14)
- Beratung Bauherren Stadtumbau (Nr. 15)

(Auszug aktuell wirksamer/konkret geplanter Maßnahmen. Eine ausführliche Gesamtaufstellung aller Maßnahmen sowie die Zuweisung der Nummerierungen befindet sich im Anhang.)

Anmerkung

Besonders bei der Öffentlichkeitsarbeit, bietet sich interkommunale Zusammenarbeit an, um eine Kostenreduktion bei höherem Bekanntheitsgrad zu erzielen. Auch ist dabei auf eine Verstetigung zu achten, um das Thema dauerhaft zu verankern.



Klimaanpassung

Lokal

Durch die räumliche Lage, umgeben von klimaaktiven Flächen, kommt es schon zeitnah nach Sonnenuntergang zu einer deutlichen Abkühlung, die mit geringen Unterschieden in allen Bereichen des Gemeindegebiets wirkt. Lokale Hotspots mit thermischer Belastung sind höchstens in den Tagstunden zu finden und können durch Verschattung (Bevorzugt wird Vegetationsschatten) verbessert werden.

Einfluss Kasseler Becken

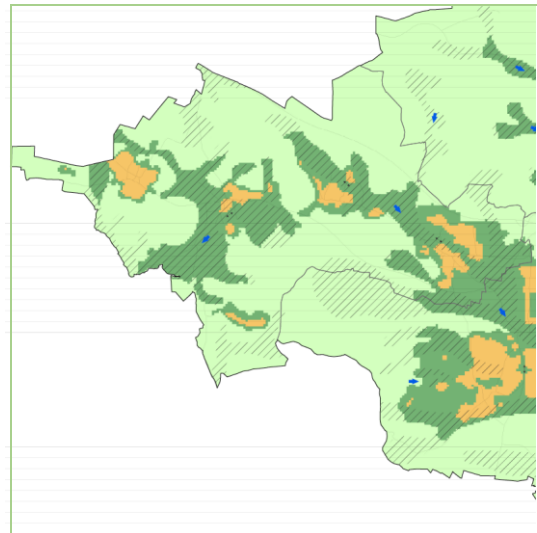
Das großflächige Kaltluftentstehungspotenzial kann ein hohes Volumen produzieren und fördern. Die Lage teilweise außerhalb des Kasseler Beckens und eine von Kassel abgewandte Ausrichtung der Flächen, bewirken eine klimatische Zuordnung ohne Einfluss auf die Belastungsgebiete im Kasseler Becken. Jedoch besteht ein direkter Bezug zur Stadt Baunatal, die Kaltluftbahn entlang der Bauna muss geschützt werden.

Lokal:

- Abmilderung von Hitzeintrag während der Tagstunden an sensiblen Orten (Kindertagesstätten, Schulen, Spielplätzen, Pflegeeinrichtungen, etc.).

Einfluss Baunatal:

- Sicherung und Erhalt der Kaltluftversorgung entlang der Bauna.

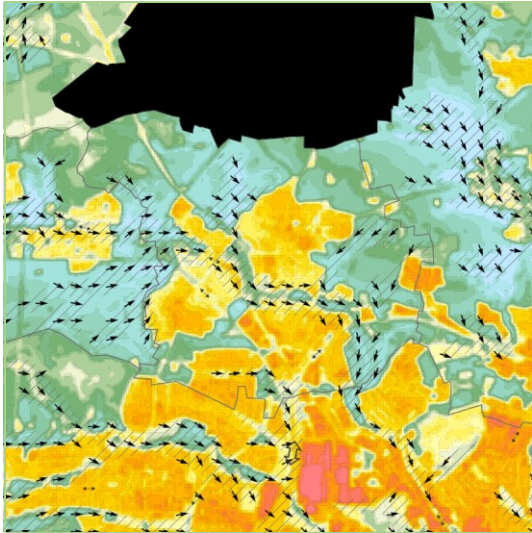


Kommunale Maßnahmen Klimaanpassung und Klimaschutz

Durchgeführte Maßnahmen:

- Renaturierung Bauna (Nr. 2)
- Energetische Gebäudesanierung (Nr. 4 / 5 / 11)
- Regenrückhaltebecken / Regenüberlaufbecken (Nr. 6 & 7)

(Auszug aktuell wirksamer/konkret geplanter Maßnahmen. Eine ausführliche Gesamtaufstellung aller Maßnahmen sowie die Zuweisung der Nummerierungen befindet sich im Anhang.)



Klimaanpassung

Lokal

Der Kaltlufttransport entlang der Ahne ist entscheidend. Sowohl der Transport als auch die klimaaktiven Flächen entlang des Bachs müssen geschützt werden. In bebauten Bereichen mit Kaltluftabfluss sollte durch eine Vernetzung der grünen Strukturen der positive Effekt erweitert werden. Lokale Hotspots mit thermischer Belastung bilden sich aus, besonders deutlich in den Gewerbegebieten und im Stadtzentrum. Vegetation zur Abmilderung der Hitze wirkt zielführend.

Einfluss Kasseler Becken

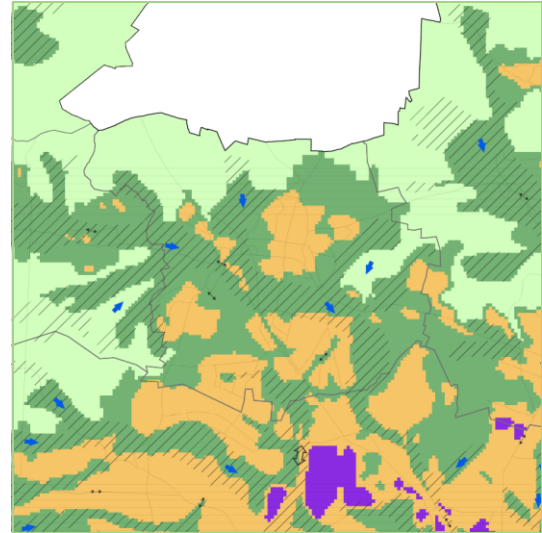
Über die Ahne besteht ein Kaltlufteintrag zentral in das Kasseler Becken bis in die Belastungsbereiche.

Lokal:

- Thermische Hotspots müssen abgemildert werden. Sanierung des Stadtklimas, Förderung des Vegetationsvolumens.
- Die Kaltluftbahn entlang der Ahne muss geschützt werden, um Siedlungsräume zu entlasten.

Einfluss Kasseler Becken:

- Kaltluftabfluss Ahne schützen und keine Nutzungsänderung von Flächen südlich der Bahngleise, entlang der Ahne in der Nähe Kassels.



Kommunale Maßnahmen Klimaanpassung und Klimaschutz

Durchgeführte Maßnahmen:

- Energetische Sanierung kommunale Gebäude (Nr. 1-5)
- Anbindung Straßenbahn (Nr. 8 & 9)
- Stärkung ÖPNV (Nr. 10 & 11)
- Stärkung Radverkehr (Nr. 12 & 15)

(Auszug aktuell wirksamer/konkret geplanter Maßnahmen. Eine ausführliche Gesamtaufstellung aller Maßnahmen sowie die Zuweisung der Nummerierungen befindet sich im Anhang.)

Anmerkung

Bei systematischer Gebäudesanierung ist ein anschließendes Monitoring sinnvoll, um Erfolge besser aufzeigen und kommunizieren zu können.

Besonders bei Mobilitätsprojekten (z.B. Radverkehr) erzeugt interkommunale Zusammenarbeit sinnvolle Synergien, die zur Kostenreduktion und besserer Ausnutzung führen können.

Landkreis Kassel

Fläche in km ² :	1.293,34
Einwohnerzahl:	236.633

Maßnahmen**Klimaanpassung und Klimaschutz**

Ebenfalls Mitglied im ZRK ist der Landkreis Kassel. Dabei umfasst er jedoch deutlich mehr Kommunen, als es Mitglieds-kommunen im ZRK gibt, die beiden Gebiete sind also nicht deckungsgleich. Übergreifend für den Landkreis Kassel ist die Energieagentur „Energie 2000 e.V.“ zuständig, die seit vielen Jahren diverse Projekte initiiert, begleitet und Beratungs-angebote bereithält. Sie ist rund um das Thema Energie Ansprechpartner für die Kommunen des Landkreises.

Daher werden ebenfalls übergeordnete Projekte benannt, die abgefragt wurden.

Projekte Energie 2000 e.V.:

- Energiesparmodell für Schulen / Kitas (Nr. 1 / 2)
- Klimaresiliente Stadt-Umland-Beziehungen (Nr. 3)
- Ausbau E-Mobilität (Nr. 4-6)
- Energetische Sanierung Schulen (Nr. 7-9)
- Klimaschutzkonzept & -management (Nr. 10)
- Beratungsangebot Stromsparcheck (Nr. 11)
- Energieberatung – Bürger (Nr. 13)
- Radverkehrskonzept (Nr. 17)

(Auszug aktuell wirksamer/konkret geplanter Maßnahmen. Eine ausführliche Gesamtaufstellung aller Maßnahmen sowie die Zuweisung der Nummerierungen befindet sich im Anhang.)

Interkommunalen Zusammenarbeit und Festlegung gemeinsamer Ziele

Die Themen Klimaschutz und Klimaanpassung sind für alle Kommunen Querschnittsthemen, die mit deutlichen Anstrengungen im finanziellen wie auch personellen Einsatz verbunden sind. Häufig gibt es keine direkten Zuständigkeiten. Eine Aufstockung durch spezielles Personal (z.B. Klimaschutz- / Quartiersmanager) ist häufig nur temporär gegeben und führt zu Lücken in einem Bereich, der sehr zeitintensiv ist und eine aufwendige Einarbeitung voraussetzt.

Aus Sicht der konzeptionellen Herangehensweise sind viele Kommunen bereits gut aufgestellt. Diese reichen von übergreifenden, integrierten Konzepten bis hin zu kleinteiligen Analysen, etwa für Quartiere oder eigene Liegenschaften. Festlegungen und Zielsetzungen wie eine Reduktion des CO₂-Ausstoßes mit unterschiedlichen Zeithorizonten ist dabei bereits in mehreren Kommunen politisch beschlossen worden. Auffällig ist dabei, dass der jeweilige Fortschritt meist nicht weiter verfolgt und dokumentiert wird, um eventuell eine Nachbesserung oder Neuausrichtung zu formulieren. Besonders im Zuge der Diskussionen um die Einhaltung nationaler Klimaziele wäre dies ein sinnvolles Instrument, um die Glaubwürdigkeit für Bürger zu erhalten. Hier wäre auch eine gemeinsame strategische Ausrichtung empfehlenswert, da sich viele Bilanzen damit deutlich besser abbilden lassen (z.B. gemeinsame Windparks, Verkehrskonzepte etc.). Ein kontinuierliches Monitoring ist empfehlenswert.

Da nicht alle Themen spezifisch für die jeweilige Kommune gelten, ist hier eine gemeinsame Strategie der ZRK-Kommunen anzuraten um mit einem geringeren finanziellen und zeitlichen Aufwand zu einer zielgerichteten Umsetzung zu gelangen.

Nachfolgend ist ein Ansatz beschrieben, der von den meisten Kommunen im Rahmen der Datenabfrage genannt wurde und daher für die Mehrzahl relevant ist. Dies dient als erste Orientierung, wie gemeinsame Strategien dem gesamten Gebiet des Zweckverbandes im Bereich Klimaschutz und -anpassung förderlich sein können.

Die Resonanz der kommunalen Ortstermine führt ein sehr spezifisches, bauliches Thema in den Mittelpunkt. Für alle Kommunen zählt die Bereithaltung einer ausreichenden Anzahl an KiTa-Plätzen zu den „Dauerbaustellen“. In den meisten Kommunen beschäftigt man sich mit Neubauprojekten oder auch Umnutzungs- oder Erweiterungsbauten für eine entsprechende Infrastruktur. Besonders der steigende Bedarf, auch für jüngere Kinder, lässt die erforderlichen Zahlen weiterhin zunehmen. Da besonders Kleinkinder zu einer sehr sensiblen Bevölkerungsgruppe gehören, muss auf den Einfluss der klimatischen Bedingungen ein hohes Augenmerk gelegt werden.

Die breite Übereinstimmung in vielen Kommunen, die zudem als kurzfristige Maßnahme zu betrachten ist, würde sich hier ein Pilotvorgehen anbieten, welches zu gemeinsamen Synergien im ZRK-Gebiet führen würde. Dabei werden folgende Punkte vorgeschlagen, die zu einem gemeinsamen Ziel für die Verbandskommunen genutzt werden können, um eine nachhaltige, zukunftsorientierte Ausrichtung im Bereich der KiTas anzustreben:

Erforderliche Klimaschutzmaßnahmen

- Einbindung in die kommunale Infrastruktur (ÖPNV-Anschluss, Nutzung von Fern/Nahwärme);
- Schaffung von guter fußläufiger Erreichbarkeit, ausreichend Fahrrad-/ Laufradplätze mit Überdachung, auch für Kinderwagen;
- Bauwerk in hoher energetischer Qualität unterhalb des gesetzlichen Mindeststandards (z.B. Passivhausbauweis);
- Berücksichtigung von Baustoffen mit geringem Energieeinsatz sowie nachwachsenden Rohstoffen;
- Akquise von Fördermitteln bereits während Planungsprozess;
- Vermeidung von technischem Einsatz wie Kühlkälteanlagen; Möglichkeit zur Nachtlüftung in Lüftungskonzept vorsehen;
- Gebäude mit ausreichend Speichermasse planen, für den sommerlichen Komfort;
- Vorbildfunktion für den Nutzer – Kommune als Vorreiter.

Erforderliche Klimaanpassungsmaßnahmen

- Standortsuche, hierbei kann die Klimafunktionskarte herangezogen werden. Möglichst Vermeidung von Überwärmungsgebieten;
- Klimaangepasste Fassadengestaltung durch Fassadenbegrünung;
- Klimaangepasste Dachgestaltung durch Dachbegrünung in Kombination mit Photovoltaik;
- Verschattung durch Bäume und außenliegende Verschattungssysteme berücksichtigen;
- Akquise von Fördermitteln bereits während Planungsprozess.

Anhand der genannten Punkte wäre es möglich eine konzeptionelle Ausrichtung für den Bereich der Kitas festzulegen, der langfristig zu einer deutlichen Steigerung der Nutzungsqualitäten, sowie einer Reduktion der Energiekosten führen würde. Auch der reduzierte Einsatz technischer Maßnahmen, würde zu einem geringeren Aufwand (Wartung/Personalkosten) verbunden mit einer Komfortsteigerung führen.

11. Schlussbetrachtung

Das umfassende Kartenmaterial bietet die Voraussetzung, auf klimatische Belastungssituationen planerisch zu reagieren und zukünftige Planungsprozesse im Sinne einer klimabewussten Ausrichtung zu begleiten. Neben den unterschiedlichen Themenkarten, die für sich bei entsprechenden Fragestellungen hilfreiche Informationen bieten (siehe Gebäudevolumen oder Kaltluftabfluss), kann die Analysekarte (Klimafunktionskarte) Fragestellungen zu klimatischen Wechselwirkungen im mesoklimatischen Maßstab beantworten. Somit sind generierte Informationen über die real vorhandenen Gegebenheiten in der Ist-Situation abrufbar. Diese werden zur Bewertung der Belüftungsverhältnisse und der thermischen Bedingungen zusammengeführt.

Daraus abgeleitet konnte die Planungshinweiskarte als bewertende und vereinfachte Karte für den Planungsprozess mit konkreten Hinweisen zum Erhalt, bzw. zur Verbesserung der klimatischen Bedingungen im Zweckverband Raum Kassel entwickelt werden.

Es wird empfohlen, die Koordination der Belange Klimaanpassung und Klimaschutz bei Planungsvorhaben stets beim Zweckverband Raum Kassel anzusiedeln. Hierzu ist eine Koordinierungsgruppe „Klima“ zielführend, um innerhalb des Verbands die Bemühungen abzustimmen und die wichtigen Wechselwirkungen und Überschneidungen zu beachten.

Informationsgewinn aus der Klimafunktionskarte:

Flächig dargestellte Potenzial- und Defizitbereiche können aufgrund der feinen Auflösung sehr gut räumlich verortet werden. Vor allem die stark verdichtete Innenstadt mit wenig Vegetation, hoher Versiegelung und dichten Gebäuden wird nahezu komplett in die höchste Belastungskategorie eingestuft. Ähnlich belastet sind die Verhältnisse in den Gewerbe- und Industriearealen. Wohnviertel in direkter Nähe zur Kasseler Innenstadt mit dichter (Blockrand-)Bebauung können ebenfalls sehr hohe Belastungsstufen erreichen. Weniger hohe Werte wurden in den Umlandgemeinden mit stärkerer Durchgrünung, weniger Baumassen und einer besseren Belüftung berechnet. Dennoch sind auch in den kleineren Kommunen Gebiete mit erhöhter thermischer Belastung vorzufinden. Dabei spielt die absolute Flächengröße eine untergeordnete Rolle, Überwärmungsgebiete, vor allem mit Wohnnutzung in der Nähe sollten stadtklimatisch saniert werden.

Abschließend sind die Potenziale der Hangflächen (Kaltluftversorgung) im Westen und Osten des ZRK zu nennen, sowie der Austausch entlang der Fulda, die als Kalt- und Frischluftleitbahn wirken kann. Diese klimaökologischen Wechselwirkungen sind charakteristisch und prägend für das Kasseler Becken und wirken interkommunal. Das bedeutet, Eingriffe in den Umlandgemeinden der Stadt Kassel bringen lokale Veränderungen mit sich und haben direkte Auswirkungen auf die klimatischen Bedingungen im Kasseler Stadtgebiet.

Planerische Empfehlungen aus der Planungshinweiskarte:

Die Planungshinweiskarte wurde nach der VDI Richtlinie 3787 Blatt 1 von der Klimafunktionskarte abgeleitet. Die fließenden Übergänge sind den scharfen Grenzen der Kategorien gewichen, eine Reduktion auf vier Kategorien soll die Planungspraxis mit diesem Instrument anwendungsfreundlicher machen.

Die Potenzialbereiche wurden auf ihre Wirksamkeit hin unterteilt. Ausgleichsräume mit hoher Bedeutung sind im direkten Wirkzusammenhang mit Belastungsbereichen zu finden, während Ausgleichsräume / Naturräume, die keinen unmittelbaren Bezug zur Bebauung haben, andere Planungshinweise enthalten. Allgemein gibt es Hinweise von „sichern und schützen“ -> sensible Bereiche mit direktem Bezug zu Defizitbereichen, die in ihrer Funktion geschützt werden sollten. Die Abstufung reicht dabei bis „klimabewusste Entwicklungen möglich“ -> dies sind Bereiche, die zwar in der Fläche eine hohe klimaökologische Wertigkeit haben und unter gewissen Gesichtspunkten Entwicklungsmöglichkeiten bieten.

Analog zu den Potenzialbereichen/ Ausgleichsräumen wurden die bebauten Gebiete mit klimatischen Defiziten in zwei Kategorien unterteilt. „Bebautes Gebiet mit klimatischer Funktion“ sind Flächen, die unter bestimmten Aspekten nutzungsintensiviert werden können, wobei stets der Zusammenhang zu benachbarten Arealen berücksichtigt werden muss und vertiefende Betrachtungen empfohlen werden. „Bebautes Gebiet mit klimatischen Nachteilen“ weist Bereiche mit der höchsten Belastungsstufe aus, die aus Sicht der Stadtklimatologie sanierungsbedürftig sind. Hier sind kleinräumige Aufwertungen (Freiräume mit Vegetation und Schatten) zu empfehlen und eine Vernetzung von Belüftungsstrukturen anzustreben.

Erkenntnisse aus den Szenarien:

Die beiden Szenarienkarten bilden mögliche Veränderungen der kurz- und mittelfristigen Zukunft ab. Wobei es prozessbedingt stets eine Unsicherheit gibt, ob die Annahmen tatsächlich im erwarteten Maße eintreffen werden. Daher wurden sämtliche Szenarienkarten in einer gröberen Auflösung im Vergleich zur Klimafunktionskarte angefertigt.

Szenario I zeigt die Veränderungen der Klimatopverteilungen durch die zukünftige bauliche Entwicklung, wie sie derzeit geplant ist. Um neben den Flächenveränderungen auch ein Szenario des prognostizierten Klimawandels und dessen Auswirkungen abbilden zu können wurde Szenario II „Klimawandel“ entwickelt um aufbauend auf Szenario I auch die klimatischen Zukunftstrends in der Region mit aufzunehmen.

12. 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.

DWD 2011:

Frankfurt am Main im Klimawandel - Eine Untersuchung zur städtischen Wärmebelastung.

http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimawirk/stadtpl/projekt_frankfurt/stadtpl_ffm_node.html, zugegriffen am 17.11.2016

DWD 2016:

Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21. Deutscher Wetterdienst, Klima- und Umweltberatung.

Früh B., P. Becker, T. Deutschländer, J.-D. Hessel, M. Koßmann, I. Mieskes, J. Namyslo, M. Roos, U. Sievers, T. Steigerwald, H. Turau, U. Wienert, 2011:

Estimation of climate change impacts on the urban heat load using an urban climate model and regional climate projections. Journal Applied Meteorology and Climatology, Vol. 50, No. 1, 167-184.

Häckel H. 1985:

Meteorologie. UTB – Ulmer, Stuttgart.

HMUELV 2011:

1. Fortschreibung, Luftreinhalteplan für den Ballungsraum Rhein-Main Teilplan Frankfurt am Main. Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 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.

Katzschner, L. 2004:

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

HMUELV 2011:

Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz 1. Fortschreibung Luftreinhalteplan für den Ballungsraum Kassel, Wiesbaden April 2011.

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.

Kirchhof, W., Kupski, S. 2019:

Stadtklimaanalysen zur Förderung von Klimaschutz und Klimaanpassung. Schwerpunktbeitrag UVP-report 32(4)|2018. UVP-Gesellschaft e.V., Paderborn, Juni 2019.

Kupski S. 2017:

Klimagerechte Materialien – Hitze Hotspot Stadt. Natürlich Technik: Mit neuen Materialien dem Klimawandel trotzen. In Garten + Landschaft 07/2017, Georg D.W. Callwey GmbH & Co. KG, München.

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 Balungsräume 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, Landeshauptstadt Stuttgart.

Stadt Frankfurt am Main 2009:

Klimaplanatlas der Stadt Frankfurt am Main. Universität Kassel.

TA Luft 2002:

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

Umweltbundesamt 2015:

Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel, Climate Change 24/2015, Dessau-Roßlau.

VDI 2008:

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

VDI 2015:

Richtlinie 3787 Blatt 1 Umweltmeteorologie – Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. 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.

13. Anlage

Anlage I (Din A3; Maßstab 1:100.000)

- Themenkarte „Gebäudevolumen“
- Themenkarte „KLAM_21 (Kaltluft)“
- Themenkarte „Hangneigung“
- Themenkarte „Dynamik“

Anlage II (Din A0; Maßstab 1:35.000)

- Klimafunktionskarte 2019 ZRK
- Planungshinweiskarte 2019 ZRK

Anlage III (Din A0, Maßstab 1:35.000)

- Szenario I „Bauliche Entwicklung“
- Szenario II „Klimawandel“

Anlage IV (Din A3 Tabelle)

- Ergebnistabellen, Anlage Kommunale Aktionsmappe