

ENDBERICHT KLIMAFUNKTIONSKARTE
WISSENSCHAFTSSTADT DARMSTADT

Gesamtstädtische Klimaanalyse mit
Planungsempfehlungen und Integration der
zukünftigen baulichen sowie klimatischen
Veränderungen.

Klimafunktionskarte Wissenschaftsstadt Darmstadt

-Endbericht-

Auftraggeber: Wissenschaftsstadt Darmstadt
Dezernat III - Umweltamt
Luisenplatz 5a in 64283 Darmstadt

Wissenschaftsstadt
Darmstadt



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

INKEK Institut
für Klima- und
Energiekonzepte

Bearbeiter: 
Prof. Dr. Lutz Katzschner


Dipl.-Ing. Sebastian Kupski

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

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

Lohfelden im Oktober 2016

Inhalt

1.	HINTERGRUND	4
2.	EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG	5
2.1	ZIELE VON STADTKLIMAANALYSEN	6
2.2	STADTKLIMATISCHER BEWERTUNGSINDEX	9
3.	METHODIK	11
3.1	EINFÜHRUNG (KLIMAFUNKTIONSKARTE)	11
3.2	METHODIK ZUR ERSTELLUNG VON KLIMAFUNKTIONSKARTEN	11
4.	DATENGRUNDLAGE	14
4.1	METEOROLOGISCHE VERHÄLTNISSE IM RAUM DARMSTADT	14
5.	ÜBERSICHT DER THEMENKARTEN	17
5.1	GEBÄUDEVOLUMEN	20
5.2	SOLARE EINSTRALUNG	22
5.3	KALTLUFTMODELLIERUNG MIT KLAM_21	25
5.4	BODENRAUIGKEIT	27
5.5	HANGNEIGUNG	29
6.	MESSUNGEN	31
6.1	STATIONÄRE MESSDATEN	32
6.2	MOBILE MESSKAMPAGNE	33
6.3	AUSWERTUNG UND INTERPRETATION	34
7.	KLIMAFUNKTIONSKARTE	35
7.1	KLIMATOPE	35
7.2	LEGENDE	40
7.3	KLIMAFUNKTIONSKARTE	41
8.	PLANUNGSHINWEISKARTE	42
8.1	BESCHREIBUNG DER RÄUMLICHEN PLANUNGSHINWEISE	42
8.2	LEGENDE	44
8.3	PLANUNGSHINWEISKARTE	45
9.	ZUKUNFT	47
9.1	SZENARIO ‚BAULICHE ENTWICKLUNG‘	48
9.1.1	<i>Interpretation der räumlichen Veränderungen</i>	49
9.2	SZENARIO ‚KLIMAWANDEL‘	50
9.2.1	<i>Interpretation der räumlichen Veränderungen</i>	51
10.	MIKROKLIMATISCHE BETRACHTUNG URBANER RÄUME (QUALITATIV UND QUANTITATIV)	53
10.1	QUALITATIVE BETRACHTUNG INNERSTÄDTISCHER GRÜNFLÄCHEN	53
10.2	QUANTITATIVE BETRACHTUNG INNERSTÄDTISCHER GRÜNFLÄCHEN	62
10.2.1	<i>Erhebungsmethodik</i>	62
10.2.2	<i>Aufbau der Analyse</i>	62
10.2.3	<i>Auswertung/ Mikroklimakarten</i>	64
11.	SCHLUSSBETRACHTUNG	69
11.1	ZUSAMMENFASSUNG	69
12.	LITERATUR	71
13.	ANLAGE	73

Abbildungsverzeichnis

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.....	9
Abbildung 2: Prinzipielle Vorgehensweise zur Erstellung einer Stadtklimakarte nach Lohmeyer 2008.....	12
Abbildung 3: Windrose Stadt Darmstadt 2010-2015 (HLNUG-Messstation).....	15
Abbildung 4: Jahresgang der Lufttemperatur für das Jahr 2015 Stadt Darmstadt (HLNUG-Messstation).....	16
Abbildung 5: Schematische Darstellung der angewandten Methode.....	17
Abbildung 6: Blockmodell Darmstadt (Ausschnitt, Blick auf Altstadt und Gründerzeitring aus südlicher Richtung).	20
Abbildung 7: Themenkarte „Gebäudevolumen“ (ohne Maßstab, Original in Anhang I).	21
Abbildung 8: Solare Einstrahlung (aktuelle Einstrahlleistung in W/m ²) am 21. Juni, Ausschnitt Innenstadtbereich, ohne Maßstab (1 Meter Auflösung).....	23
Abbildung 9: Themenkarte „Solare Einstrahlung“ (ohne Maßstab, Original in Anhang I).	24
Abbildung 10: Kaltfluthöhe berechnet mit dem Kaltluftmodell des Deutschen Wetterdienstes KLAM_21 (ohne Maßstab, Original in Anhang I).....	26
Abbildung 11: Vertikales Windprofil über dem offenen Land, Vorstadt/Stadtrand und Innenstadtbereich (nach Robel et al., 1978).....	27
Abbildung 12: Themenkarte „Bodenrauigkeit“ (ohne Maßstab, Original in Anhang I).....	28
Abbildung 13: Themenkarte „Hangneigung“ (ohne Maßstab, Original in Anhang I).	30
Abbildung 14: Lage der temporären Messorte und der HLNUG im Darmstädter Stadtgebiet.....	31
Abbildung 15: Mobile umweltmeteorologischer Messwagen.	33
Abbildung 16: Tagesgang unterschiedlicher Messorte in Darmstadt 10.07. bis 11.07.2016.	34
Abbildung 17: Legende der Klimafunktionskarte Darmstadt.	40
Abbildung 18: Klimafunktionskarte der Stadt Darmstadt (Original DinA0 in Anhang II).....	41
Abbildung 19: Legende der Planungshinweiskarte Darmstadt.	44
Abbildung 20: Planungshinweiskarte der Stadt Darmstadt (Original Din A0 in Anhang II).	45
Abbildung 21: Abgestimmte Planungshinweise der Planungshinweiskarte.	46
Abbildung 22: Klimaanalyse der Stadt Darmstadt - Szenario ‚Bauliche Entwicklung‘ (ohne Maßstab, Original in Anhang III).	48
Abbildung 23: Klimaanalyse der Darmstadt - Szenario ‚Klimawandel‘ (ohne Maßstab, Original in Anhang III).	50
Abbildung 24: Klimaszenarien und prognostizierter globaler Temperaturverlauf (IPCC 2007).....	51
Abbildung 25: Ausschnitt der KFK mit Verortung der Grünflächen (1-8).....	53
Abbildung 26: Orthofoto mit Markierung Wilhelminenplatz.	54
Abbildung 27: Orthofoto mit Markierung Johannesplatz.....	55
Abbildung 28: Orthofoto mit Markierung Mathildenplatz.	56
Abbildung 29: Orthofoto mit Markierung Woogsplatz mit Kapellplatz.....	57
Abbildung 30: Orthofoto mit Markierung August-Buxbaum-Anlage.	58
Abbildung 31: Orthofoto mit Markierung Ingelheimer Garten.....	59
Abbildung 32: Orthofoto mit Markierung Grünzug Havelstraße bis Berliner Allee.	60
Abbildung 33: Orthofoto mit Markierung Erich-Ollenhauer-Promenade.	61
Abbildung 34: Mikroklimakarte Darmstadt Marktplatz, Windfeld (Original in Anlage IV).....	65
Abbildung 35: Mikroklimakarte Darmstadt Marktplatz, PET 13 Uhr (Original in Anlage IV).....	67
Abbildung 36: Mikroklimakarte Darmstadt Marktplatz, PET 10-18 Uhr (Original in Anlage IV).	68

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bereiche von Hitzestress in Abhängigkeit des Bewertungsindex PET (Katzschner et al. 2010).	10
Tabelle 2: Steuerungsinstrumente für die Planung auf unterschiedlichen Maßstabsebenen und entsprechende Fachbeiträge.	13
Tabelle 3: Schwellenwerte der Lufttemperatur zur Charakterisierung des Klimas.....	16

1. HINTERGRUND

Die Bundesregierung hat in ihrer nationalen Nachhaltigkeitsstrategie das Ziel festgelegt, die Inanspruchnahme weiterer Flächen durch Siedlung und Verkehr bis zum Jahr 2020 auf 30 Hektar pro Tag zu reduzieren. Tatsächlich werden jedoch in Deutschland derzeit noch täglich etwa 69 Hektar für neue Siedlungs- und Verkehrsflächen in Anspruch genommen. Dies hat vor allem negative Auswirkungen auf die Belange von Klimaschutz und Klimaanpassung, sodass ein effektives Flächenmanagement in den Kommunen immer dringender wird.

Um eine umfassende Datengrundlage für planerische Entscheidungen zu erhalten, wurde das Institut für Klima- und Energiekonzepte (INKEK, Schillerstrasse 50, 34253 Lohfelden) beauftragt, eine Klimaanalyse für die Stadt Darmstadt zu erarbeiten. Ziel ist es, ein Konzept zu entwickeln, welches das lokale und regionale Klima, die Auswirkungen des prognostizierten Klimawandels, sowie die bauliche Entwicklung behandelt. Daraus werden Planungshinweise und Anpassungsmaßnahmen abgeleitet.

Die rechtliche Grundlage der Notwendigkeit stadtklimatischer Erhebungen im Planungsprozess, auch vor dem Hintergrund des projizierten globalen Klimawandels, stellt neben dem Raumordnungsrecht insbesondere das Baugesetzbuch (BauGB) dar. Gemäß BauGB § 1 Absatz 5 Satz 2 sollen Bauleitpläne u. a. dazu beitragen, eine menschenwürdige Umwelt zu sichern, sowie den Klimaschutz und die **Klimaanpassung**, insbesondere auch in der **Stadtentwicklung**, zu fördern. Gemäß BauGB § 1 Absatz 6 Ziffer 7 sind bei der Aufstellung von Bauleitplänen u. a. insbesondere die Schutzgüter „Luft“ und „Klima“ zu berücksichtigen. Entsprechend sollen Fachinformationen in Stadtklimakarten umgesetzt werden und durch daraus abgeleitete Planungshinweiskarten ergänzt werden.

2. Einleitung und Aufgabenstellung

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

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

Klimafunktionskarte

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

Planungshinweiskarte

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

Geeignete Wetterlage:

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

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

„In der vorliegenden Richtlinie wird beschrieben, wie stadtklimatische Sachverhalte in Karten dargestellt, bewertet und über daraus abgeleitete Hinweiskarten für die Planung nutzbar gemacht werden können.

Diese Karten stellen eine wichtige Grundlage für die Flächennutzungs- und Bauleitplanung auf kommunaler und regionaler Ebene dar und gewinnen im Zuge des Klimawandels und der Umweltgerechtigkeit zunehmend an Bedeutung.

Hinsichtlich der dargelegten Aspekte zur Human-Biometeorologie wird auf die Richtlinien VDI 3785 Blatt 1 (Umweltmeteorologie – Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima) und VDI 3787 Blatt 2 (Umweltmeteorologie – Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung – Teil I: Klima) verwiesen, die wichtige, im Rahmen von Bewertungen der Wärmebelastung zu berücksichtigenden Faktoren ausführlich beschreiben und zudem die Grundlage dieser Richtlinie darstellen.“

2.1 Ziele von Stadtklimaanalysen

Das Signal, welches von Klimaveränderungen ausgeht, wird sich in Ballungsräumen und innerstädtischen Gebieten verstärkt auswirken. Die Zunahme an austauscharmen Strahlungswetterlagen vermehrt den Hitzestress vor allem innerhalb windschwacher Stadträume. Zu beachten sind somit der Wärmeinseleffekt und die Belüftung, wie sich diese auf die Lufthygiene und den thermischen Komfort auswirken. Die Hitzewellen im Juni und August 2003 sowie im Juli 2006 und jüngst im Juli/August 2015 (siehe Abbildung 4) sind dafür eindrucksvolle Beispiele.

Damit Leistungsfähigkeit, Wohlbefinden und Gesundheit von Menschen in Städten auch zukünftig gesichert sind, muss die Stadtplanung schon heute städtebauliche Planungen so optimieren, damit thermische Belastungen auch unter extremen Hitzebedingungen sowohl im Freien als auch in den Innenräumen auf ein erträgliches Maß reduziert werden. Praxistaugliche Planungsleitfäden wurden auf den unterschiedlichen Ebenen in Bundesländern (MUNLV des Landes NRW 2010) 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 ist.

Richtlinien werden vor dem Hintergrund einer stadtplanerischen Anwendung erstellt, um mit einheitlicher Untersuchungsmethodik zur Ergebnisdarstellung und zur Bewertung des Stadtklimas zu kommen. Bei der Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene im Bereich der Stadtplanung ist es von größter Bedeutung, nicht nur 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 gesehen, 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 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, Frischluftversorgung 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 Einzelgebäuden. Die Berücksichtigung des Klimas in der Stadtplanung erfordert eine detaillierte Kenntnis der Wechselwirkungsprozesse zwischen den städtischen Faktoren und der Atmosphäre. Die Ergebnisse werden in Abhängigkeit von der Stadtplanungsebene als Karten in unterschiedlicher, räumlicher Auflösung dargestellt. Festlegungen von Untersuchungsmethoden und die Bewertung der Ergebnisse für den thermischen und lufthygienischen Wirkungskomplex sind abhängig von der Planungsebene und den verfügbaren Daten. Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) hat sich zur Aufgabe gestellt, Richtlinien zu normieren und Verfahren zur Erstellung von Klimakarten einheitlich zu regeln, um sie vergleichbar zu machen. Hierzu existieren einschlägige VDI Richtlinien:

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

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

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

- Abbau von Wärmeinseln (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 Baugesetzbuch (BauGB) § 1a 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 die Planung der regionalen Grünzüge impliziert.

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

2.2 Stadtklimatischer Bewertungsindex

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

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

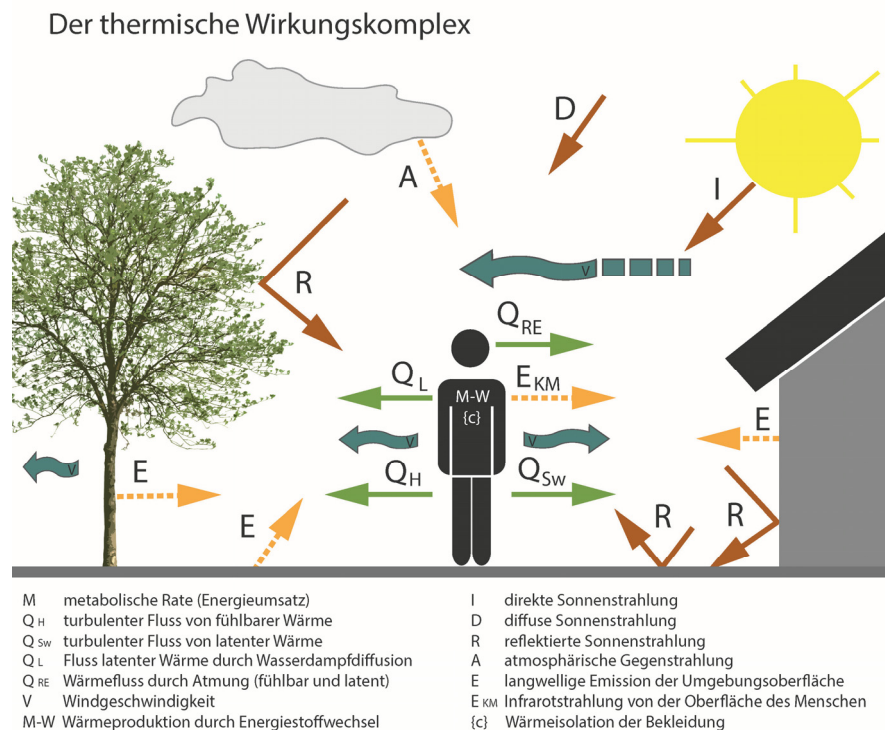


Abbildung 1: Schema "Thermischer Wirkungskomplex". Dargestellt sind die unterschiedlichen Parameter, die sich auf den Wärmehaushalt des Menschen auswirken. Durch planerische Eingriffe können diese Bedingungen beeinflusst werden.

Um Fehlinterpretationen vorzubeugen, werden die PET-Werte (angegeben in °C) in Abhängigkeit des Stressniveaus auf den 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 stellt ein klimaökologisches Gutachten dar, welches für eine bestimmte geografische Verortung angefertigt wird. In den VDI Richtlinien (insbesondere VDI RL 3787 Blatt 1) wird die Vorgehensweise zur Generierung einer Klimafunktionskarte festgelegt. Hauptsächlich werden diese Gutachten für Ballungsräume und größere Städte erstellt. Die Anwendung der VDI Richtlinien macht eine Vergleichbarkeit zwischen Städten möglich. Grundlage ist stets die Analyse der Ist-Situation, also eine möglichst präzise Abbildung der realen Klimafunktionen im Untersuchungsraum. Diese Analyse der Ist-Situation kann messtechnisch erfasst und validiert werden. Die Analyse des planungsrechtlichen bzw. zukünftig erreichbaren Zustandes erfolgt in einem späteren Schritt (Kapitel 9). 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 diesen Geoinformationen ist das Wissen um klimarelevante Parameter von Bedeutung. Besonders die Belüftung eines verdichteten Stadtgebietes, wo eine positive Wirkung nachweisbar ist, hängt von der Lage in Bezug auf das regionale Windzirkulationssystem ab. Aber auch lokale und kleinräumige Windzirkulationen entwickeln sich durch physikalische Prozesse und können im Rahmen einer Klimafunktionskarte berechnet werden. Weitere Klimaparameter lassen sich durch die geografische Lage des Untersuchungsraumes ableiten.

3.2 Methodik zur Erstellung von Klimafunktionskarten

Bei der Verknüpfung 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).

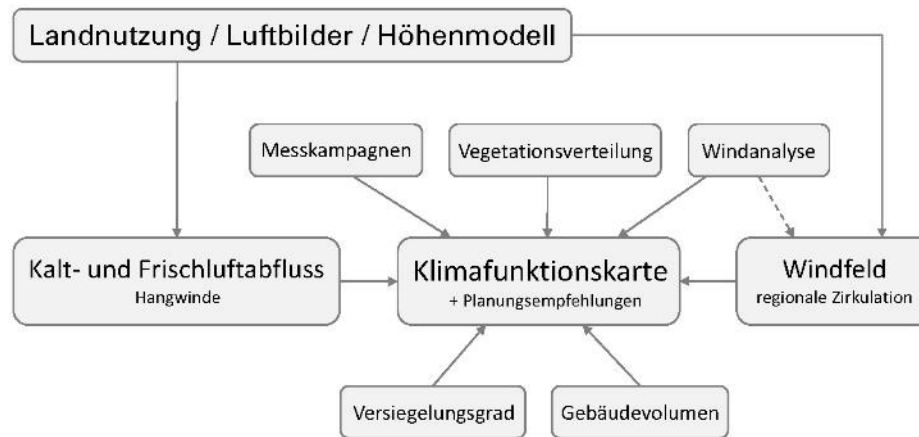


Abbildung 2: Prinzipielle Vorgehensweise zur Erstellung einer Stadtklimakarte nach Lohmeyer 2008.

Klimatische Rahmenbedingungen sind sehr heterogen, was durch die geografische Lage, der absoluten 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 Binnenseen 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 anschließende Generalisierungen das Produkt in Form der Klimafunktionskarte aggregiert.

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

Das klimatische Wechselspiel beinhaltet neben der Belüftungssituation die thermischen Eigenschaften der Erdoberfläche. Da diese Komponente die Basis darstellt und dementsprechend flächendeckend kartiert sein muss, wurde als Grundlage die aktuelle Realnutzungskartierung verwendet, um eine Kategorisierung vornehmen zu können. Dieser detaillierte Eingangsdatensatz wird mit weiteren Themenkarten ergänzt, wobei der Oberflächenversiegelungsgrad Aufschluss über die Wärmespeicherkapazität gibt und Freiflächen mit niedriger Oberflächenrauigkeit Kaltluftentstehungsflächen darstellen. In diesem Zusammenhang ist die Albedo (Rückstrahlung) der Oberfläche eine

zentrale Größe, da unterschiedliche Reflexions- und Absorptionsverhalten maßgeblich den Wärmehaushalt der städtischen Grenzschicht bestimmen (Oke 2006). In diesem Themenfeld ist der Effekt der Wärmeinsel Stadt besonders gut erkennbar, denn durch die Erwärmung der künstlichen Baumaterialien, gekoppelt mit der hohen Wärmespeicherleistung und der langsamen Abkühlrate, werden gerade in den Nachtstunden höhere Lufttemperaturen als im unbebauten Umland verursacht (Hupfer, 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.“

(*) Der Landschaftsplan der Stadt Darmstadt (2004) wurde als eigenständiges Planwerk nach dem hessischen Naturschutzgesetz erstellt und bildet mit seiner Bestandserfassung, Bewertung und den daraus resultierenden Handlungs- und Maßnahmenempfehlungen eine wesentliche Grundlage für den Flächennutzungsplan der Stadt Darmstadt (2006), in den er per Sekundärintegration aufgenommen wurde.

4. Datengrundlage

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

- thermischen Verhältnisse (Wärmeinsel Stadt)
und die
- Belüftungssituation im Sinne der horizontalen und vertikalen Durchmischung

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

4.1 Meteorologische Verhältnisse im Raum Darmstadt

Aus naturräumlicher Sicht gehört der Ballungsraum Rhein-Main zum „Rhein-Main-Tiefland“. Der Begriff „Tiefland“ verdeutlicht die einer Kessel- oder Beckenlage ähnliche Struktur. Bis auf die Öffnung nach Süden hin, wird der Ballungsraum im Norden durch den Taunus, im Osten durch den Spessart und weiter in südlicher Richtung durch den Odenwald begrenzt. Nach Westen erstreckt sich der Ballungsraum bis zum Rhein bzw. der Landesgrenze zwischen Rheinland-Pfalz und Hessen.

Die Stadt Darmstadt befindet sich im südlichen Teil des Ballungsraums, im Naturraum Rhein-Main-Tiefland. Im Süd-Südwesten schließen das nördliche Oberrheintiefland und das hessisch-fränkische Bergland an.

Der Ballungsraum Rhein-Main wird – wie das ganze Bundesland Hessen – zum warmgemäßigten Regenklima der mittleren Breiten gezählt. Mit überwiegend westlichen Winde werden das ganze Jahr über relativ feuchte Luftmassen vom Atlantik herangeführt, die zu Niederschlägen führen. Der ozeanische Einfluss, der von Nord-West nach Süd-Ost abnimmt, sorgt für milde Winter und nicht zu heiße Sommer (aus Luftreinhalteplan für den Ballungsraum Rhein-Main; Teilplan Darmstadt, Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2015).

Wind:

Die Windrose für die Region Darmstadt (Abbildung 3) zeigt dominant südwestliche Anströmungen aus dem Rheintal. Ein sekundäres Maximum aus Ost. Beide Richtungen sind für die Luftleitbahnen von Bedeutung. Die Ostkomponente führt zudem frische Luft der benachbarten Höhen ins Stadtgebiet.

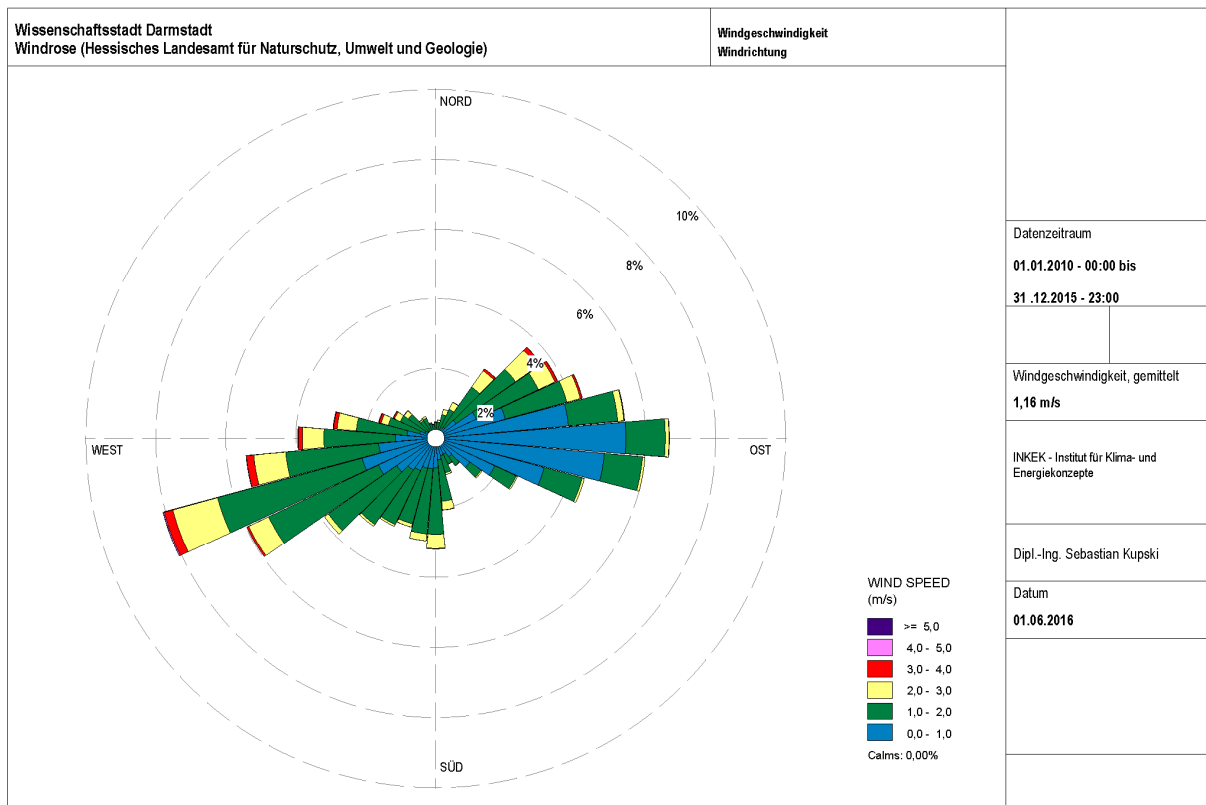


Abbildung 3: Windrose Stadt Darmstadt 2010-2015 (HLNUG-Messtation).

Lufttemperatur:

Aus dem Jahrgang der Lufttemperatur (Abbildung 4) ist ersichtlich, dass thermisch belastende Wetterlagen von Mai bis September hin auftreten können.

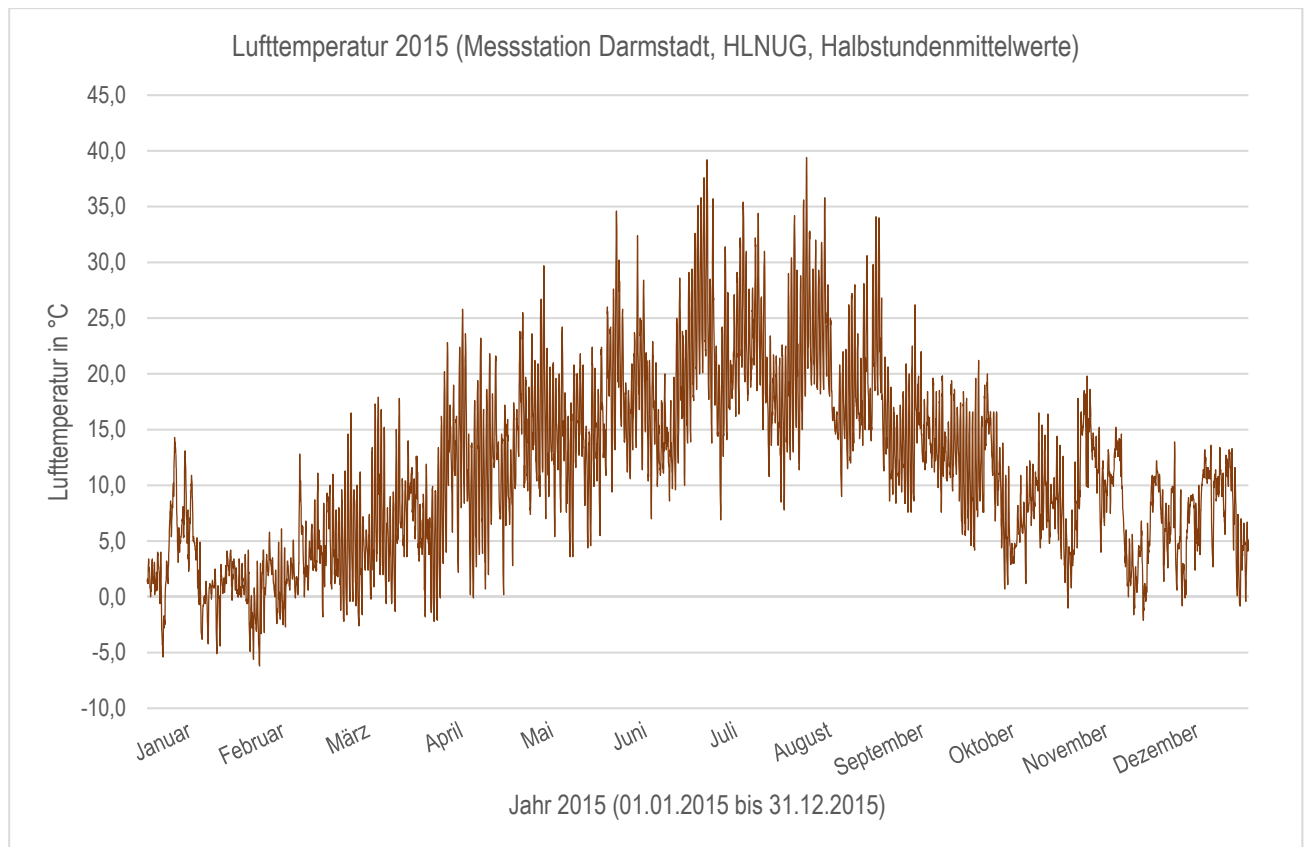


Abbildung 4: Jahrgang der Lufttemperatur für das Jahr 2015 Stadt Darmstadt (HLNUG-Messstation).

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

In Situationen, wie aus Tabelle 3 zu ersehen ist, liegt bei allen heißen Tagen eine thermophysiologische Belastung vor, speziell bei nicht ausreichender nächtlicher Abkühlung.

Definitionen:

Tabelle 3: 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 $\geq 13,5\text{g}/\text{m}^3$	Schwüler Tag

5. Übersicht der Themenkarten

Relieftypisierung

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

Strukturtypisierung

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

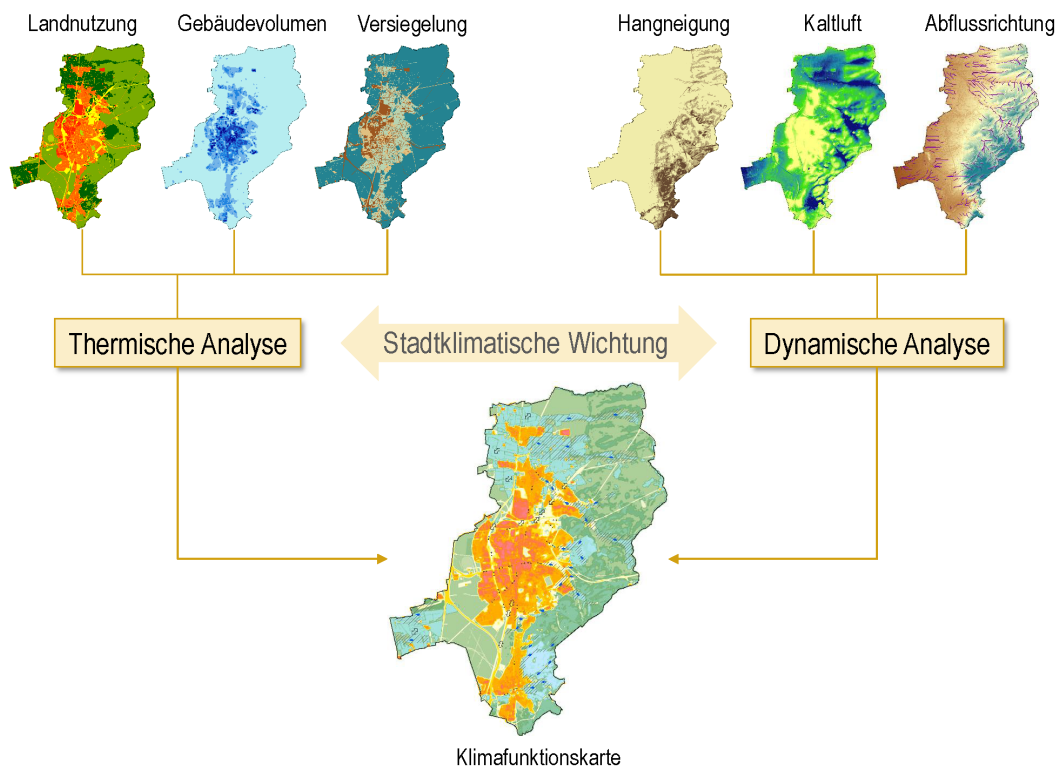


Abbildung 5: Schematische Darstellung der angewandten Methode.

Gebäudevolumen

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

Abflussbahnen und Abflussrichtungen

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

Nutzungstypisierung

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

Gebüdemasse

- Herausarbeitung der gebäudeabhängigen, thermischen Belastung durch die Wärmespeicherkapazität und Reflexion.
- Auf Grundlage der Gebäudekartierung Ableitung des physikalischen Verhaltens (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 für die thermische Analyse.

Funktionsanalyse

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

Dynamische Analyse

- Verknüpfung der dynamisch (und lufthygienisch) relevanten Erhebungsebenen untereinander (und damit Bestimmung z. B. der spezifischen Aktivität von Kalt-/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 Potentiale, Defizite und Funktionen dar und symbolisieren damit eine idealtypische Wiedergabe der real existierenden flächenbezogenen, klimaökologischen Situation, als Ausgangsbasis für die klimaökologische Bewertung.

Bewertung von Einzelaspekten/-kriterien

- Auf Basis der Funktionsanalyse bzw. der Klimafunktionskarte sowie unter der Annahme von planerischen Fragestellungen der Bauleitplanung erfolgt eine Bewertung sowohl der klimaökologischen Potentiale als auch der Defizitbereiche.
- Hierzu werden insgesamt fünf einzelne Bewertungskriterien auf Seite 18 herangezogen, separat betrachtet und bewertet. Diese dienen als Ausgangsbasis für die zusammenfassende Gesamtbewertung.

5.1 Gebäudevolumen

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

Eingangsdaten: Blockmodell

Bearbeitung: Nachdem das Blockmodell (Gebäude mit berechneten Gebäudehöhen, siehe Abbildung 6) angefertigt wurde, konnte das mittlere Gebäudevolumen der Stadt Darmstadt berechnet werden.

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

Um im stadtklimatischen Maßstab diese Informationen weiterverarbeiten zu können, wurden die Ergebnisse auf eine 25 Meter Auflösung aggregiert (s. Themenkarte „Gebäudevolumen“, Abb. 7). Diese Informationen fließen hauptsächlich in die Betrachtung der Wärmespeicherung ein, teilweise werden Parameter von der dynamischen Berechnung der Bodenrauigkeit genutzt.

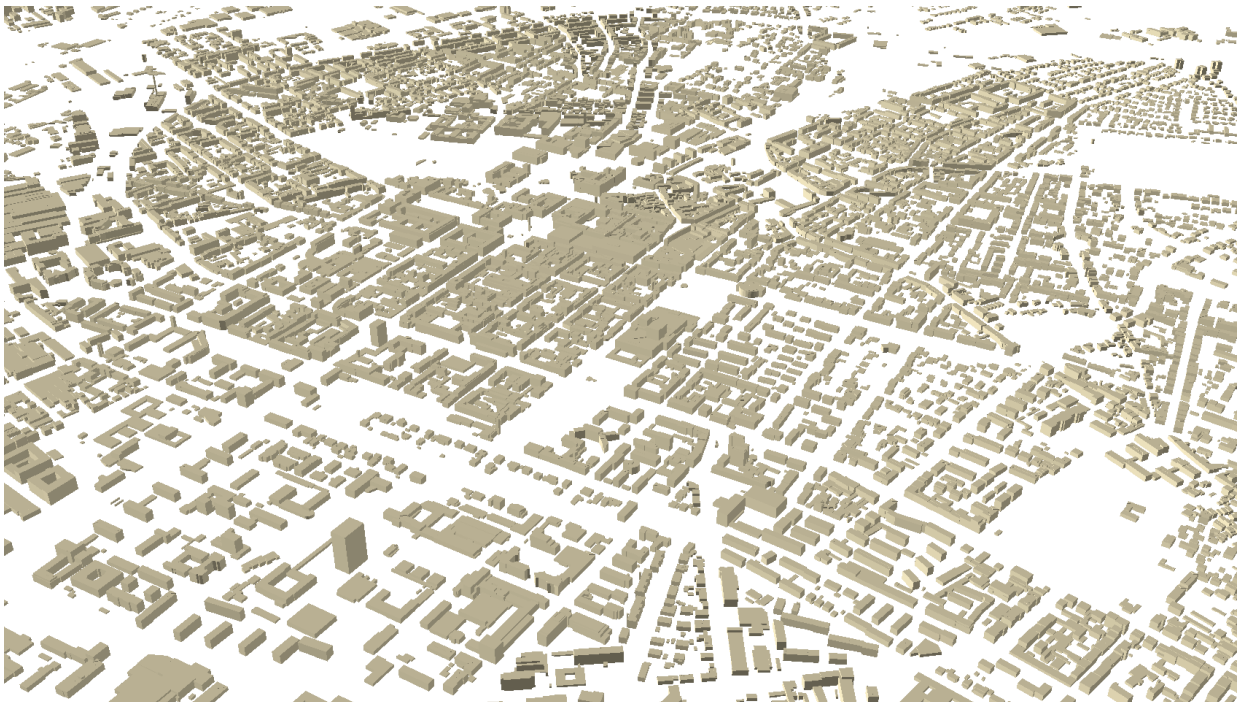


Abbildung 6: Blockmodell Darmstadt (Ausschnitt, Blick auf Innenstadt und Gründerzeitring aus südlicher Richtung).

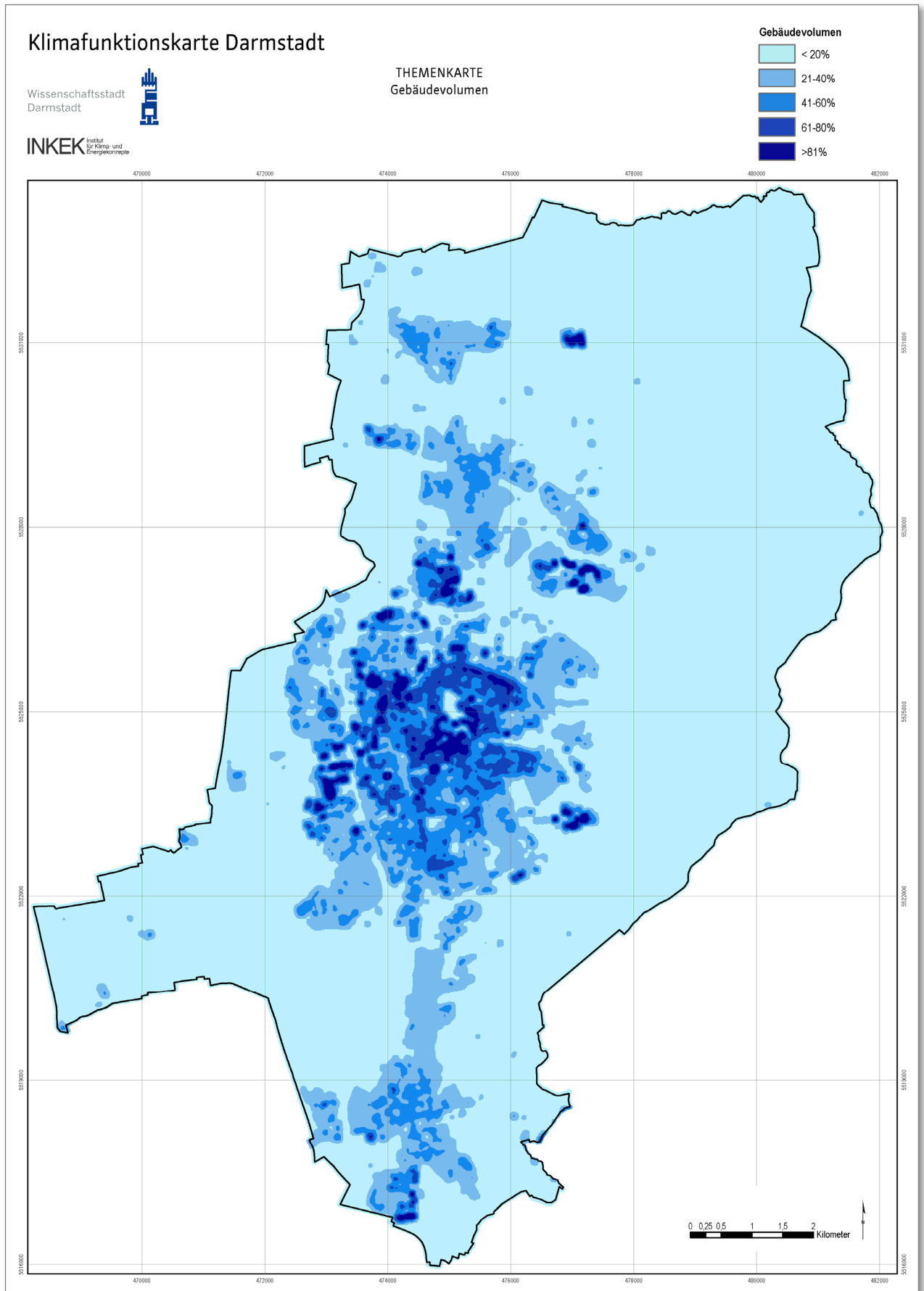


Abbildung 7: Themenkarte „Gebäudevolumen“ (ohne Maßstab, Original in Anhang I).

5.2 Solare Einstrahlung

Die solare Einstrahlung (Kurz- und Langwellig) hat vielschichtige Auswirkungen auf die stadtklimatischen Wechselwirkungen. Sie sorgt für die Aufwärmung der Oberflächen, was in Abhängigkeit der jeweiligen Nutzung zu unterschiedlichen Resultaten führt. Thermisch induzierte Windzirkulationen können sich daraus entwickeln. Das Abkühlverhalten hängt von der Besonnungszeit und dem Sonneneinfallswinkel, sowie der Lage (Exposition) ab. Auf den Menschen im Freiraum hat die solare Einstrahlung direkten Einfluss und somit auf die Human-Biometeorologie. Sie beeinflusst den Freiraum sehr stark (Sonnen- /Schattenplätze) (siehe Kapitel 2.2).

Eingangsdaten: Blockmodell und DGM

Bearbeitung: Nachdem das Blockmodell auf das digitale Geländemodell projiziert wurde, konnte für einen charakteristischen Tag (21. Juni), für einen bestimmten Zeitpunkt (13:00 Uhr MESZ) die solare Einstrahlung berechnet werden. Zu diesem Zeitpunkt ist, aufgrund der Lage zur Sonne, mit der potentiell höchsten Einstrahlung zu rechnen. Hierbei treten besonders die südorientierten Hänge hervor, die eine sehr hohe Einstrahlung (in W/m^2) erhalten. Vor allem die dicht bebauten Bereiche weisen teilweise geringe Strahlungswerte auf, was von der gegenseitigen Beschattung der Bauwerke verursacht wird. Beispielfhaft wurde der Darmstädter City-Bereich in einer feineren Skala, aus Gründen der Rechenzeit allerdings ohne Vegetation, berechnet, was die Bedeutung der Strahlung innerhalb der Stadt verdeutlichen soll (Abb. 8). Die generalisierten Ergebnisse auf 20 Meter Rasterweite fließen in die Berechnung des städtischen Wärmehaushaltes ein (s. Abb. 9).

Weitere Bearbeitungsschritte: Da die Nutzungsinformationen der Flächen relevant sind, muss diese Themenkarte weiterverarbeitet werden. In den nächsten Rechenprozessen ist die Landnutzung in Albedoklassen (Reflexionsvermögen der Oberflächen zur einfallenden Strahlung) unterteilt, die versiegelten Flächen werden analysiert und mit der solaren Einstrahlung im Modell berechnet, wodurch der Einfluss auf das Stadtklima in einem entscheidenden Baustein weiter verfeinert wird.

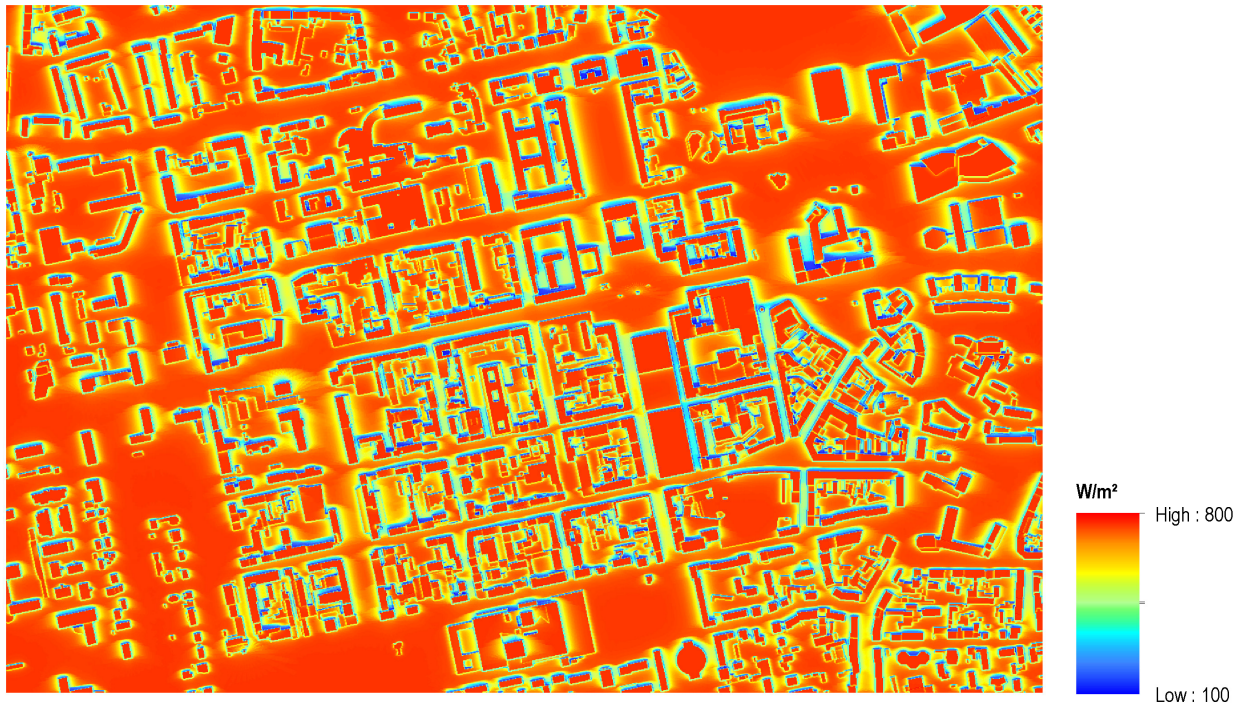


Abbildung 8: Solare Einstrahlung (aktuelle Einstrahlleistung in W/m^2) am 21. Juni, Ausschnitt Innenstadtbereich, ohne Maßstab (1 Meter Auflösung).

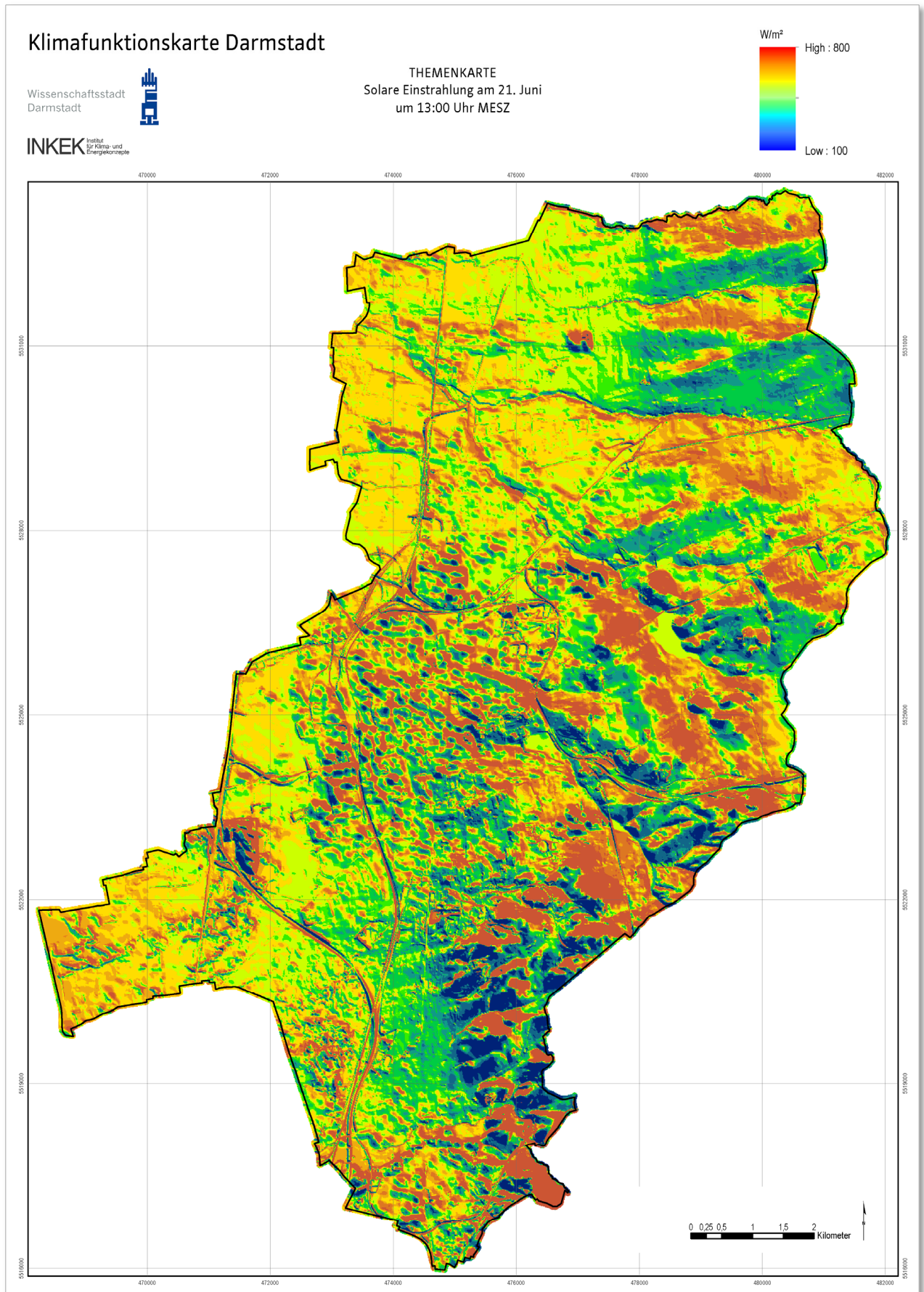


Abbildung 9: Themenkarte „Solare Einstrahlung“ (ohne Maßstab, Original in Anhang I).

5.3 Kaltluftmodellierung mit KLAM_21

KLAM 21 ist ein 2-dimensionales, mathematisch-physikalisches Simulationsmodell des Deutschen Wetterdienstes (DWD, ver. 2.012) zur Berechnung von Kaltluftflüssen und -ansammlungen in orographisch gegliedertem Gelände. Als Ergebnis erhält man die flächenhafte Verteilung der Kaltlufthöhe und ihrer mittleren Fließgeschwindigkeit oder der Volumenströme zu beliebig abgreifbaren Simulationszeitpunkten.

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

Innerhalb des untersuchten Gebietes weisen vor allem die westlichen und südwestlichen Bereiche eine hohe Kaltluftaktivität auf. Hier sammelt sich die Kaltluft, die von den angrenzenden Hängen abfließt, um im weiteren Verlauf in Richtung der verdichteten Stadträume von Darmstadt-Ost, Kranichstein und Eberstadt abzufließen.

Die großzügigen landwirtschaftlich genutzten Flächen in Wixhausen, Arheiligen und Darmstadt-West besitzen eine hohe Klimaaktivität und produzieren viel Kaltluft, die allerdings nur im geringen Maße die überwärmten innerstädtischen Gebiete entlasten können. Das Potential die Bereiche Darmstadt-Nord, Mitte und Bessungen mit Kaltluft zu versorgen haben die Hangbereiche im Osten. Geeignete Korridore und Schneisen müssen vorhanden sein.

In Abbildung 10 sind die Ergebnisse 60 Minuten nach Sonnenuntergang abgebildet.

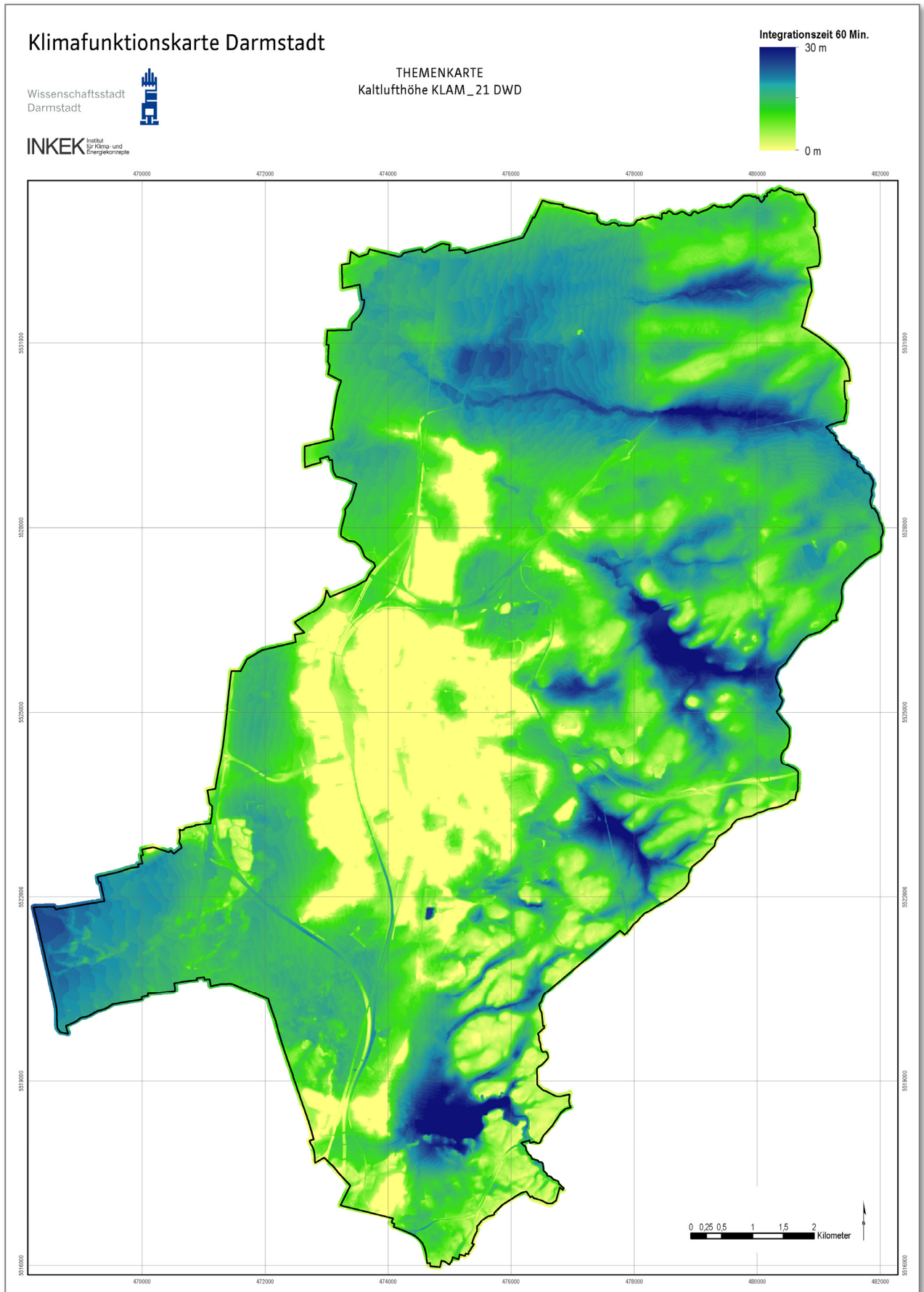


Abbildung 10: Kaltfluthöhe berechnet mit dem Kaltluftmodell des Deutschen Wetterdienstes KLAM_21 (ohne Maßstab, Original in Anhang I).

5.4 Bodenrauigkeit

Die Erdoberfläche besitzt unterschiedliche Bodenrauigkeiten, die unterschiedlichen aerodynamischen Einfluss auf die bodennahen Luftschichten haben. Wasser- oder Eisflächen haben durch ihre fehlende vertikale Komponente eine äußerst geringe Rauigkeit, wogegen Hügel, Bäume, Häuser und Städte durch ihre vertikale Ausdehnung eine entsprechend höhere Rauigkeit besitzen. Auswirkungen sind bis in große Höhen messbar (vgl. Abb. 11).

Je höher die Bodenrauigkeit ist, ausgedrückt in Rauigkeitslänge (z_m) bzw. Rauigkeitsklasse (z_0), desto höher sind die Barrierewirkungen der Fläche.

Eingangsdaten: Landnutzung

Durch die Klassifizierung der unterschiedlichen Kategorien der Landnutzung konnten entsprechende Ableitungen getroffen werden, die flächendeckend in den weiteren Prozess integriert werden konnten (Abb. 12).

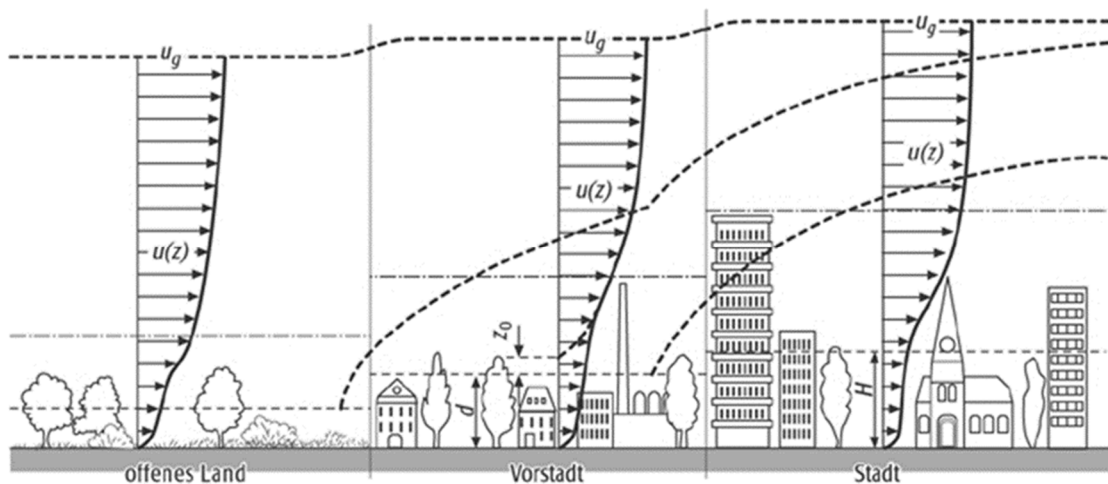


Abbildung 11: Vertikales Windprofil über dem offenen Land, Vorstadt/Stadtrand und Innenstadtbereich (nach Robel et al., 1978).

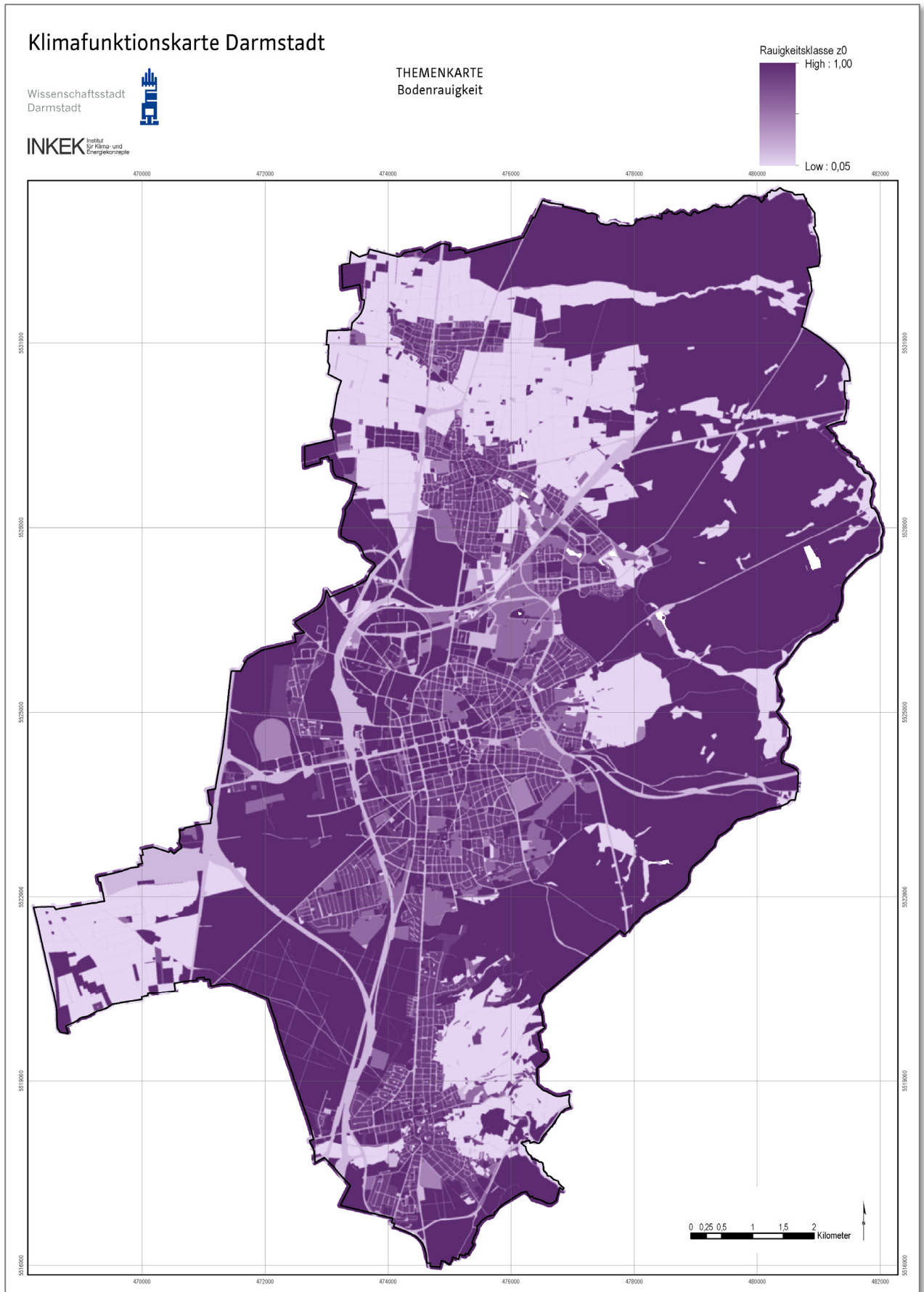


Abbildung 12: Themenkarte „Bodenrauigkeit“ (ohne Maßstab, Original in Anhang I).

5.5 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 zu integrieren.

Eingangsdaten: DGM

Auf Basis des DGM konnte das gesamte Gebiet auf die Geländeneigung hin untersucht werden. Dargestellt sind bestimmte Kategorien der Hangneigung, wobei kleinräumige Vorkommen unterhalb des stadtklimatischen Maßstabes durch die Generalisierung/Aggregation in diesem Modellschritt nicht berücksichtigt wurden. Deutlich treten allerdings die großräumigen Hänge mit entsprechend hohem Gefälle in den Randbereichen (im Süden und Westen) der Stadt Darmstadt hervor (s. Abbildung 13). Kleinräumige Hindernisse und Barrieren wie z. B. Lärmschutzwände wurden in der Berechnung der Dynamik separat betrachtet.

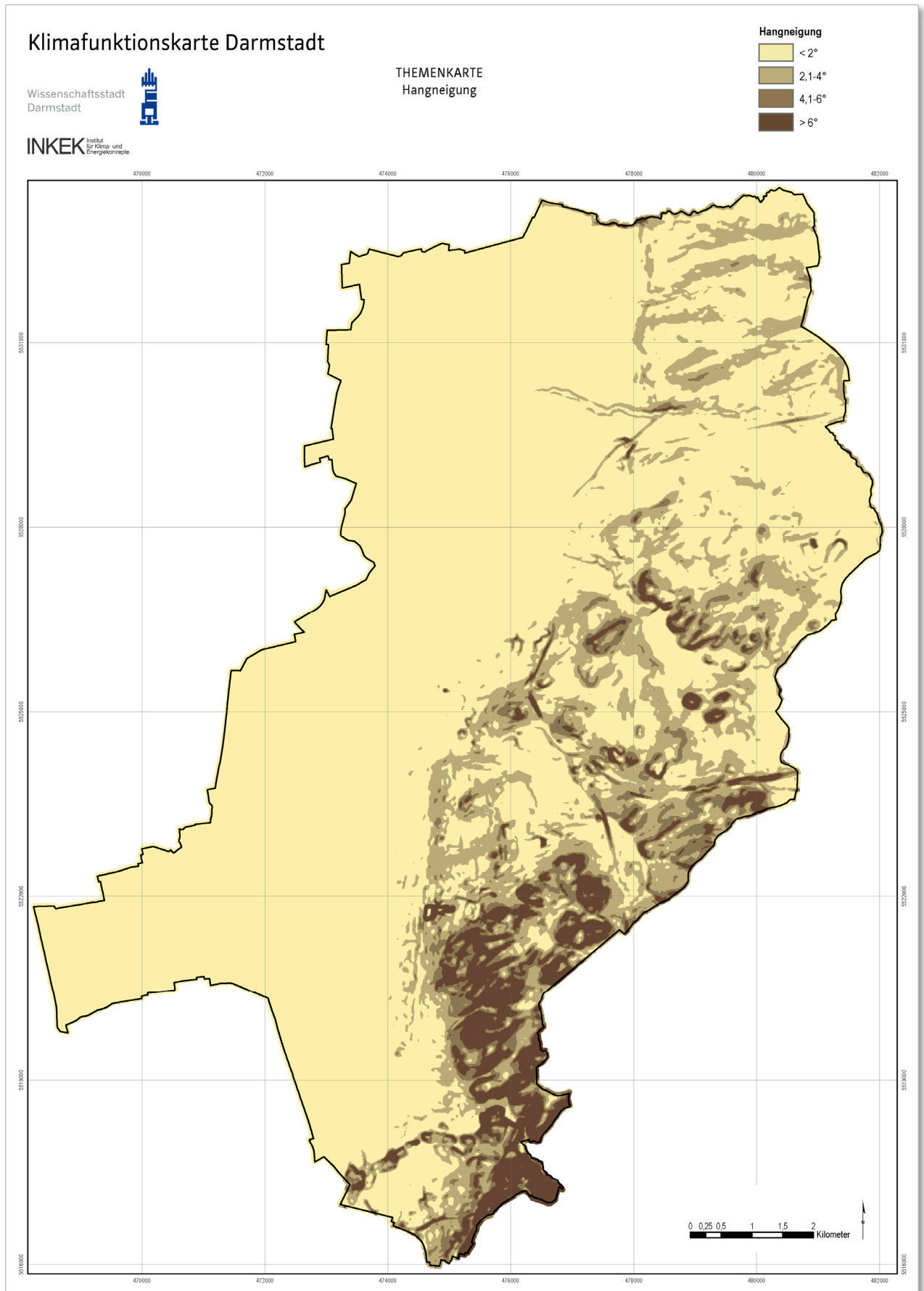


Abbildung 13: Themenkarte „Hangneigung“ (ohne Maßstab, Original in Anhang I).

6. Messungen

Neben der klimatischen Modellierung im Rahmen der Klimaanalyse der Stadt Darmstadt wurden umfangreiche Messdaten erhoben, um die Modellergebnisse zu validieren und um ggf. die Klimakarten zu kalibrieren.

Für die Auswertung konnte auf zwei unterschiedliche Messkampagnen zurückgegriffen werden. Zum einen konnten Daten von kontinuierlichen Messpunkten während des Sommers 2016 verwendet werden. Diese konnten zum anderen mit einer räumlich hoch aufgelösten temporären Messkampagne ergänzt werden.

Eine Übersicht der Messorte im Darmstädter Stadtgebiet sind auf Abbildung 14 verortet. Messroute Innenstadt sind temporäre Messungen während einer sehr heißen Wetterphase vom 10.07.2016 – 11.07.2016. Die Messungen HLNUG und „eigene Messungen“ sind kontinuierliche Messungen während des gesamten Sommers bzw. die HLNUG Messstation dauerhaft.

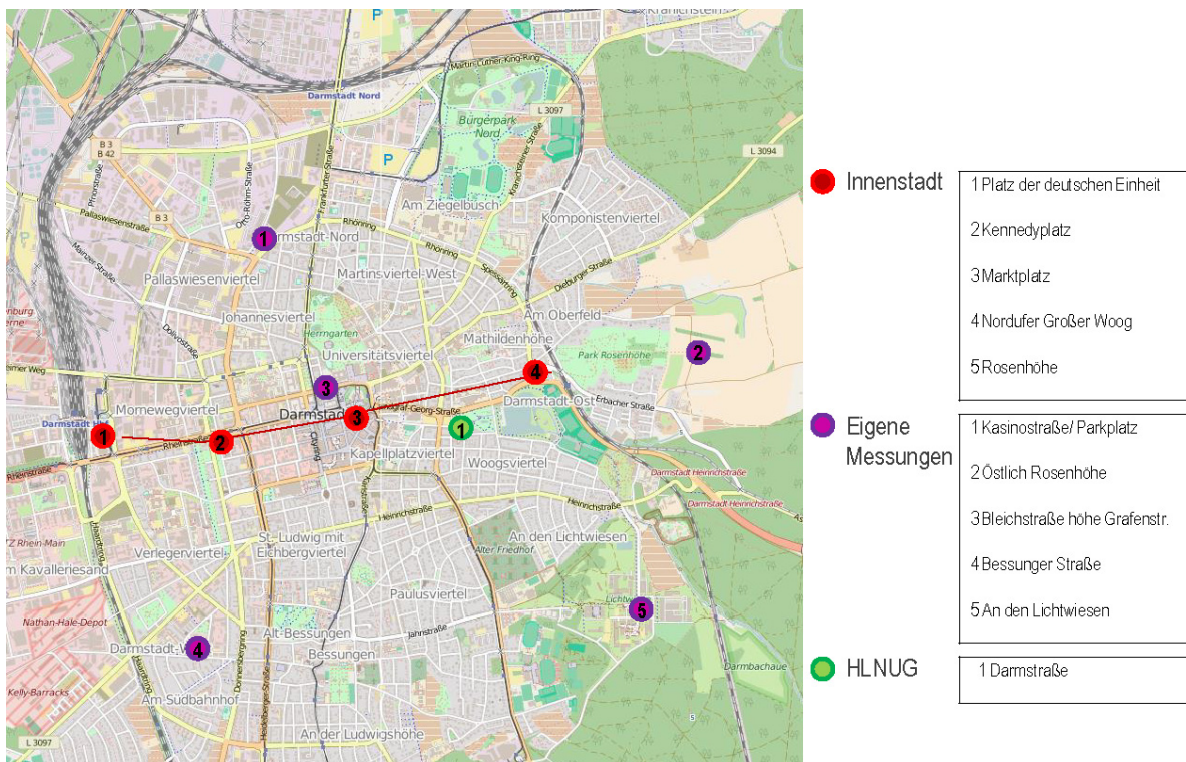


Abbildung 14: Lage der temporären Messorte und der HLNUG im Darmstädter Stadtgebiet.

6.1 Stationäre Messdaten

6.1.1 Messpunkt Müllheizkraftwerk

Im Stadtteil Darmstadt Nord wurde ein Datenlogger auf dem Parkplatz eines Lebensmittelmarktes installiert. An dieser Stelle wurden kontinuierlich die Werte der Lufttemperatur im Intervall von 30 Minuten gespeichert.

Der Messpunkt war ca. 1,6 Meter über Grund und befand sich vor Strahlung geschützt unter einem Baum. Diese Tatsache bedeutet, dass diese Werte nicht den gängigen Richtlinien entsprechen, allerdings wurden alle Messpunkte nach ähnlichen Bedingungen gewählt und sind somit vergleichbar.



6.1.2 Messpunkt Bleichstraße Höhe Grafenstraße

In der Innenstadt im stark versiegelten Bereich der Stadt Darmstadt wurde ein Datenlogger installiert. An dieser Stelle wurden kontinuierlich die Werte der Lufttemperatur im Intervall von 30 Minuten gespeichert.

Der Messpunkt war ca. 1,6 Meter über Grund und befand sich strahlengeschützt an einem Verkehrsschild. Diese Tatsache bedeutet, dass diese Werte nicht den gängigen Richtlinien entsprechen, allerdings wurden alle Messpunkte nach ähnlichen Bedingungen gewählt und sind somit vergleichbar.



6.1.3 Messpunkt Östlich Rosenhöhe

Im Osten der Stadt, östlich der Parkanlage Rosenhöhe wurde ein Datenlogger in einer kleinen Hecke zwischen landwirtschaftlich bewirtschafteten Feldern installiert. An dieser Stelle wurden kontinuierlich die Werte der Lufttemperatur im Intervall von 30 Minuten gespeichert.

Der Messpunkt war ca. 1,6 Meter über Grund und befand sich strahlengeschützt in einer Hecke. Diese Tatsache bedeutet, dass diese Werte nicht den gängigen Richtlinien entsprechen, allerdings wurden alle Messpunkte nach ähnlichen Bedingungen gewählt und sind somit vergleichbar.



6.1.4 Messnetz HLNUG (Hessische Landesanstalt für Naturschutz, Umwelt und Geologie)

Östlich der Darmstädter Innenstadt, in der Darmstraße, werden meteorologische Daten im Rahmen des Hessischen Immissionsmessnetzes erhoben. Diese Messungen umfassen neben den umfangreichen Luftqualitätsdaten auch die meteorologische Komponente der Lufttemperatur, Windrichtung und -geschwindigkeit sowie der rel. Feuchte. Der Umgebungstyp der Messstation ist städtisch geprägt.

6.2 Mobile Messkampagne

Die mobile Messkampagne umfasste die Route durch die Innenstadt, von Westen nach Osten. An 4 Messorten wurden Messungen von ca. 10 Minuten Dauer durchgeführt.

Diese Innenstadtroute ist besonders relevant, da sie hauptsächlich zur Kalibrierung der Klimatope der Klimafunktionskarte im sehr heterogenen Gefüge der städtischen Mikroklimata herangezogen wird.

Zum Einsatz kam ein stadtklimatischer Messwagen mit hochauflösenden Messkomponenten, der in vielen nationalen und internationalen Forschungsprojekten kalibriert und methodisch validiert wurde. In einer Höhe von ca. 1,1 m wurden folgende meteorologischen Parameter aufgezeichnet:

- Lufttemperatur
- relative Luftfeuchtigkeit
- Windrichtung
- Windgeschwindigkeit
- Globalstrahlung
- Globetemperatur (zur Berechnung des stadtklimatischen Indizes PET)

Zusätzlich (manuell): Oberflächentemperatur



Abbildung 15: Mobile umweltmeteorologischer Messwagen.

6.3 Auswertung und Interpretation

Die Abbildung 16 des Vergleichs der Dauermessstationen (schwarz) während einer heißen Periode zeigt das typische Verhalten unterschiedlicher Mikrokimate. Die Stadtstationen des HLNUG hat in der Nacht relativ geringe Werte, was durch die Lage zur Grünfläche und den nächtlichen Kaltluftabfluss erklärt werden kann. Erwartungsgemäß treten die geringsten Werte im Osten der Stadt auf (Rosenhöhe), dieser Bereich wird von den angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen mit Kaltluft versorgt, die dann zeitversetzt und mit abgeschwächter Intensität auch im Stadtgebiet wirkt.

Die beiden Stationen im verdichteten und versiegelten Bereich (Bleichstraße und Müllheizkraftwerk) weisen die geringste Abkühlung in der Nacht und die höchsten Temperaturspitzen am Tag auf.

Analog zu den Ergebnissen der kontinuierlichen Messstationen verhalten sich die Orte der temporären Messkampagne. Der Kaltlufteinfluss konnte belegt werden, genauso wie das typische Phänomen der städtischen Wärmeinsel.

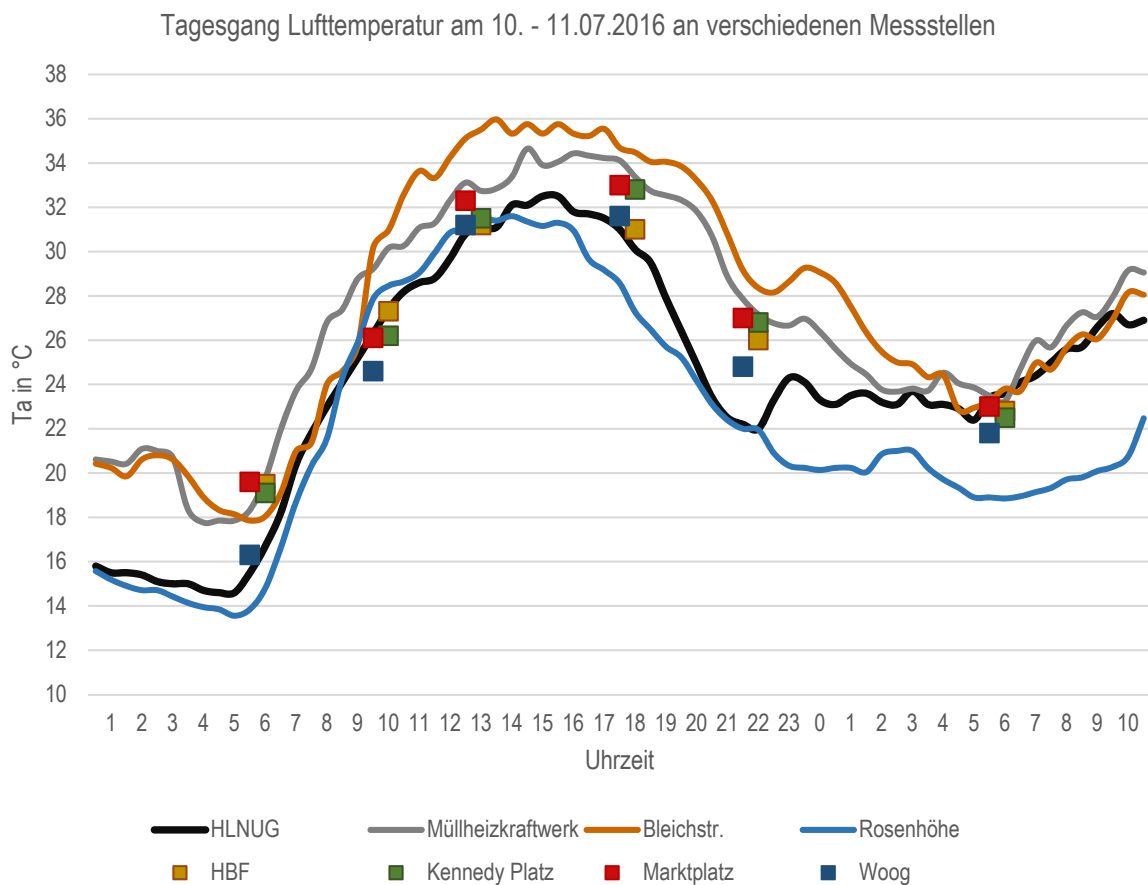


Abbildung 16: Tagesgang unterschiedlicher Messorte in Darmstadt 10.07. bis 11.07.2016.

7. Klimafunktionskarte

Eine Klimaanalysekarte stellt die räumlichen Klimaeigenschaften einer Bezugsfläche dar, die sich aufgrund der Flächennutzung und Topografie einstellen. Dargestellt werden 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 6 Klimatope unterteilt, welche farblich zugeordnet sind. Zusätzlich gibt es in dieser Legende, die auf dem Kartenwerk erscheint, eine kurze Beschreibung zur Einordnung der Funktionen. Die klimaökologische Wertigkeit ist an der linken Seite angedeutet und verläuft von sehr wertvoll (+) für die naturnahen Klimatope bis hin zu defizitär (-) für die Belastungsbereiche.

Eine wichtige Grundlage für die Charakterisierung der Klimatope ist der beschriebene thermische Index PET. 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 im Rahmen der KLIMES Projekte (Katzschner, 2011).

Klimatopbeschreibung nach VDI RL 3787 Blatt 1:

Gewässerklima (implizit vorhanden)

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

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

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

Freilandklima

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

Hinweise für die Planung: Aufforstungs- und Siedlungsmöglichkeiten entsprechend den lokalklimatischen Verhältnissen, 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 grüngerprägte 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

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 Entstehungsgebiet, 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 Luftleitbahnen darstellen. Luftleitbahnen können je nach Nutzung und Emissionseintrag lufthygienisch 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

Die Legende der Klimafunktionskarte (Abb. 17) beschreibt sowohl die thermische (Farbkodierung), als auch die dynamische (Schraffur und Symbolik) Komponente des Stadtklimas in Darmstadt.

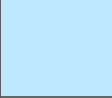


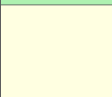





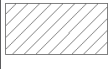
Kategorie	Name	Beschreibung
Klimablogische Wertigkeit	 Frisch- und Kaltluftentstehungsgebiet	Orientierung nach VDI Klimaeigenschaft: Freilandklima ; Hoch aktive, vor allem kaltluftproduzierende Flächen im Außenbereich; Größtenteils mit geringer Rauigkeit und entsprechender Hangneigung.
	 Frischlufentstehungsgebiet	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 viel Vegetation in den Freiräumen.
	 Moderate Überwärmung	Orientierung nach VDI Klimaeigenschaft: Stadtklima ; Dichte Bebauung mit wenig Vegetation in den Freiräumen.
	 Starke Überwärmung	Orientierung nach VDI Klimaeigenschaft: Innenstadtklima ; Stark verdichtete Innenstadtbereiche/City.
	Luftleitbahn funktionsfähig	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.
	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.
	Einzugsgebiet Luftleitbahn	Durch Ausrichtung, Oberflächenbeschaffenheit und Breite bevorzugte Fläche für den bodennahen Luftmassentransport.

Abbildung 17: Legende der Klimafunktionskarte Darmstadt.

7.3 Klimafunktionskarte

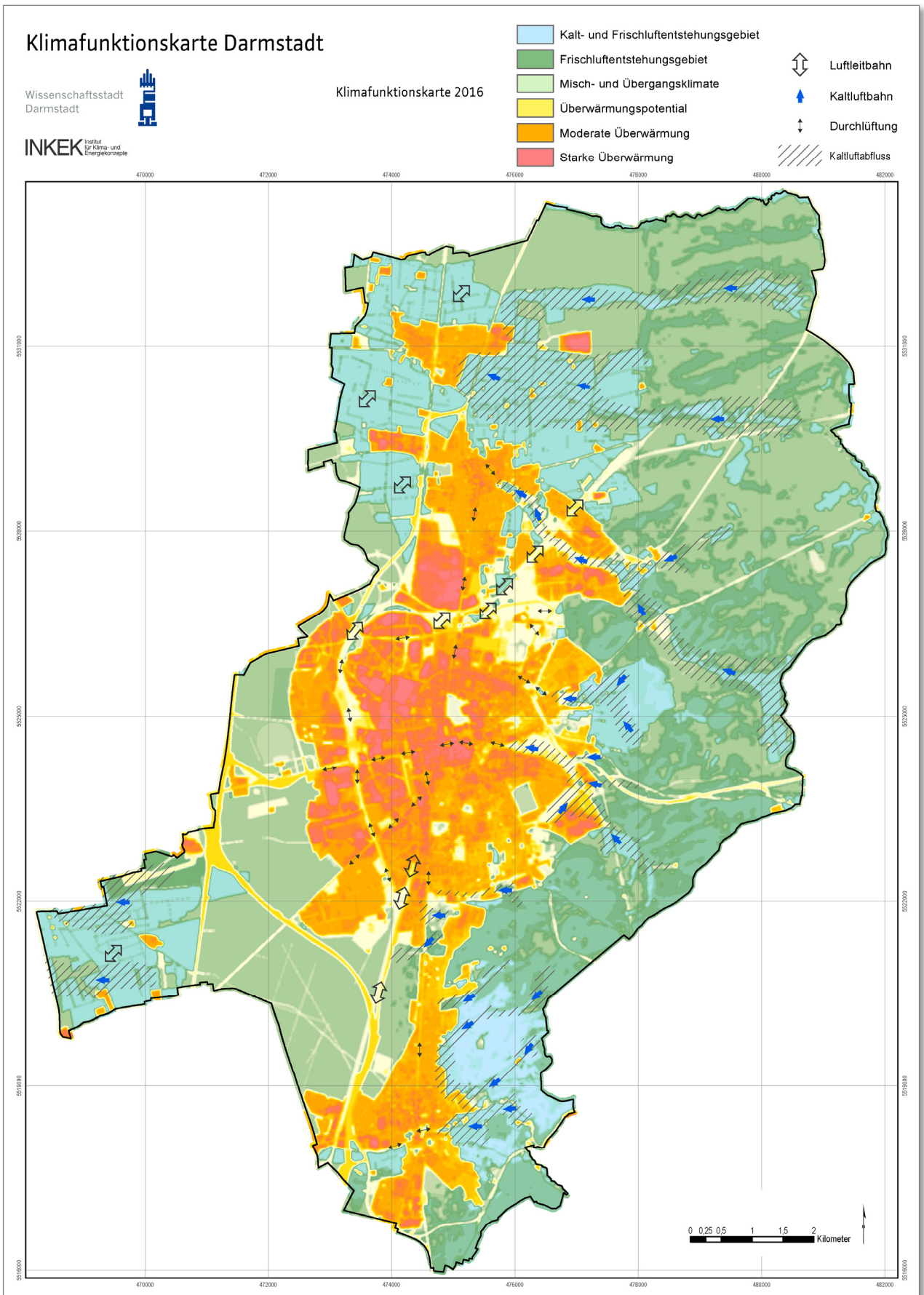


Abbildung 18: Klimafunktionskarte der Stadt Darmstadt (Original DinA0 in Anhang II).

8. Planungshinweiskarte

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 beinhalten Hinweise bezüglich der klimatischen Empfindlichkeit 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 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.

Bebaute Flächen 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 Ventilationsstreifen von Vorteil. Eine zusätzliche Versiegelung ist minimal zu halten und durch Schaffung von Vegetationsflächen sowie Dach- und Fassadenbegrünung auszugleichen.

Bebaute Flächen mit klimatisch-lufthygienischen 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

Die Legende der Planungshinweiskarte (siehe Abb. 19) unterteilt die zusammengefassten Klimatope der Klimafunktionskarte in Hinblick auf den Umgang der entsprechenden Flächen aus stadtklimatischer Sicht.

	Kategorie	Name	Beschreibung
schützen		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-Tal-Windsystems liegen; Schützen und sichern.
		Ausgleichsraum	Diese Freiflächen sind klimaökologisch wertvoll, aufgrund ihrer Nutzung, Lage und Ausrichtung. Regionaler Ausgleichsraum.
sanieren		Bebautes Gebiet mit klimarelevanter Funktion	Diese Gebiete führen weder zu intensiver thermischer Belastung noch zu Beeinträchtigungen des Luftaustauschs und weisen im Allgemeinen geringe klimatisch-lufthygienische Empfindlichkeiten gegenüber Nutzungsintensivierungen auf.
		Bebautes Gebiet mit klimatischen Nachteilen	Diese Gebiete sind unter stadtklimatischen Gesichtspunkten sanierungsbedürftig.

Abbildung 19: Legende der Planungshinweiskarte Darmstadt.

8.3 Planungshinweiskarte

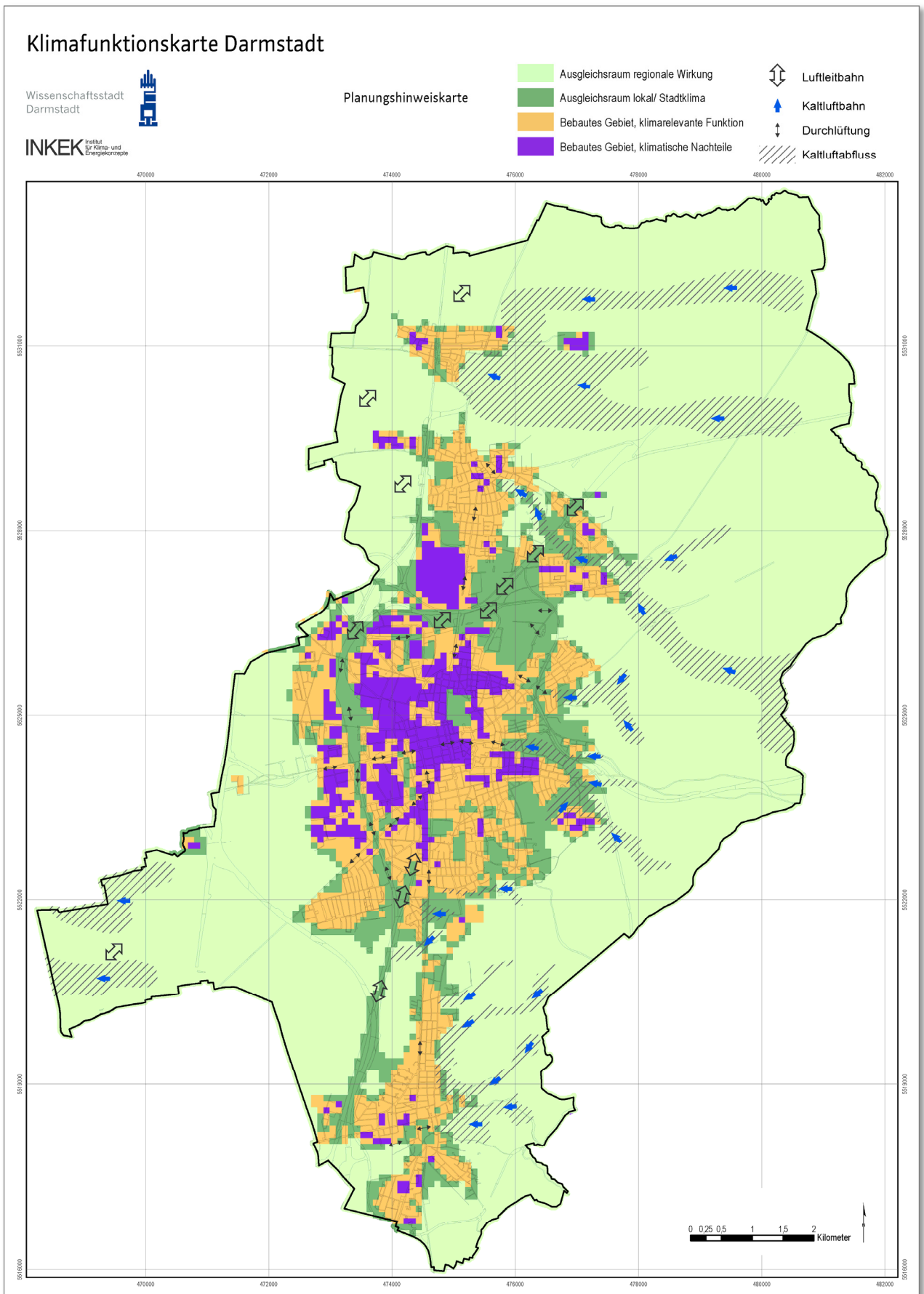


Abbildung 20: Planungshinweiskarte der Stadt Darmstadt (Original Din A0 in Anhang II).





Kategorie	Name	Planungshinweise
	Ausgleichsraum mit hoher Bedeutung	<p>Hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen.</p> <p>Diese Flächen stellen ein hohes Ausgleichspotenzial der städtischen Klimatope dar. Weitere Bebauung und zur Versiegelung beitragende Nutzungen führen zu klimatischen Beeinträchtigungen der verdichteten Bereiche. Dasselbe gilt für Maßnahmen, die den Luftaustausch behindern (Bodenrauigkeit, Querbebauung).</p> <p><i>Schützen und Funktionsfähigkeit aufrechterhalten, nach Möglichkeiten weitere Vernetzungen anstreben. Im Bereich Wixhausen, Arheiligen und Eberstadt können diese Bereiche bei klimabewusster Planung entwickelt werden.</i></p>
	Ausgleichsraum	<p>Empfindlich gegenüber Nutzungsänderungen.</p> <p>Für eine möglichst geringe klimatische Beeinträchtigung sind die Erhaltung von Grünflächen und Grünzügen zu empfehlen. Vor allem die östlichen Flächen sind Wertvoll für die Kaltluftversorgung der Stadt Darmstadt.</p> <p>Klimabewusste Entwicklungen sind unter Beachtung des „Bodenverbrauchs“/ Klimaschutz durchführbar. In Bereichen der Luftleitbahnen wird ein klimatisches Gutachten empfohlen (Ausrichtung beachten!).</p>
	Bebautes Gebiet mit klimarelevanter Funktion	<p>Geringe Klimatisch-lufthygienische Empfindlichkeiten gegenüber Nutzungsintensivierung. Bestehende <i>Belüftungsmöglichkeiten erhalten</i> (beachte Schraffur und Pfeilsymbolik) und sicher stellen, dass zusätzliche Emissionen keine nachteilige Wirkung auf Siedlungsräume nach sich ziehen.</p> <p>Durch <i>Dach- und Fassadenbegrünung</i> und Beibehaltung von <i>Grünflächen</i> kann einer thermischen Belastung vorgebeugt werden. Allgemein Vegetationsanteil beachten; Vernetzungspotentiale der Ausgleichsräume durch vertiefende Stadtklimabetrachtung prüfen.</p>
	Bebautes Gebiet mit klimatischen Nachteilen	<p>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.</p> <p>Human-Biometeorologische Empfehlung: Schaffung/ Erhalt lokaler Gunsträume (Freiräume mit Vegetation).</p>
	Luftleitbahn funktionsfähig	Anströmung/ Hauptwindrichtung. Bei Neuplanung: Ausrichtung der Gebäudestruktur und Höhen-Weitenverhältnis beachten.
	Kaltluftbahn/ Kaltluftabflussrichtung	Abfluss der Kaltluft in verdichtete Bereiche; Geringe Bodenrauigkeit ist vorzusehen!
	Durchlüftung/ Durchlüftungsbahn	Zirkulation/ Durchlüftung; Höhen-Weitenverhältnis beibehalten.
	Einzugsgebiet Luftleitbahn	Bereiche die für die Belüftung sehr wichtig sind mit direkten Bezug zum bebauten Gebiet. Funktion unbedingt erhalten/ erweitern und in Richtung Stadt ausbauen.

Abbildung 21: Abgestimmte Planungshinweise der Planungshinweiskarte.

9. Zukunft

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

Um diesen Trend, der wahrscheinlich eintretenden Veränderungen zu veranschaulichen, wurden aufbauend auf die Klimaanalyse zwei Szenarien entwickelt. Im ersten Szenario („Bauliche Entwicklung“) wurde eine Grundlage der Analyseschritte, die Gebäudeinformationen der Stadt Darmstadt als Eingangsdatensatz verändert in die Berechnung integriert. In diesem Szenario wurde für die Kernstadt eine Erhöhung der Bauwerke um pauschal 6 Meter angenommen. Hierdurch sollen die rein baulich verursachten Veränderungen, verursacht auf den Verdichtungsdruck innerhalb der Klimatope dargestellt werden. Darauf aufbauend sollte zudem ein mögliches Bild erzeugt werden, welche Auswirkung der prognostizierte Klimawandel auf das Stadtklima in Darmstadt haben wird. Um dies zu berechnen wurde ausgehend von der Datengrundlage des Szenarios „Bauliche Entwicklung“ das Szenario Klimawandel mit den mittleren klimatologischen Eingangswerten der Zukunft (2041-2070) berechnet.

Aufgrund der unterschiedlichen Dateninhalte und der Unsicherheiten der Nachverdichtung, Klimaprojektionen, etc. wurde nicht die gleiche Auflösung (KFK 10 m Rastergröße) generiert. Für die beiden Szenarien wurde eine Rastergröße von 30 m erzeugt. Eine direkte Gegenüberstellung soll vermieden werden, das Ablesen der möglichen Trends und Entwicklungen ist jedoch gesichert.

9.1 Szenario ‚Bauliche Entwicklung‘

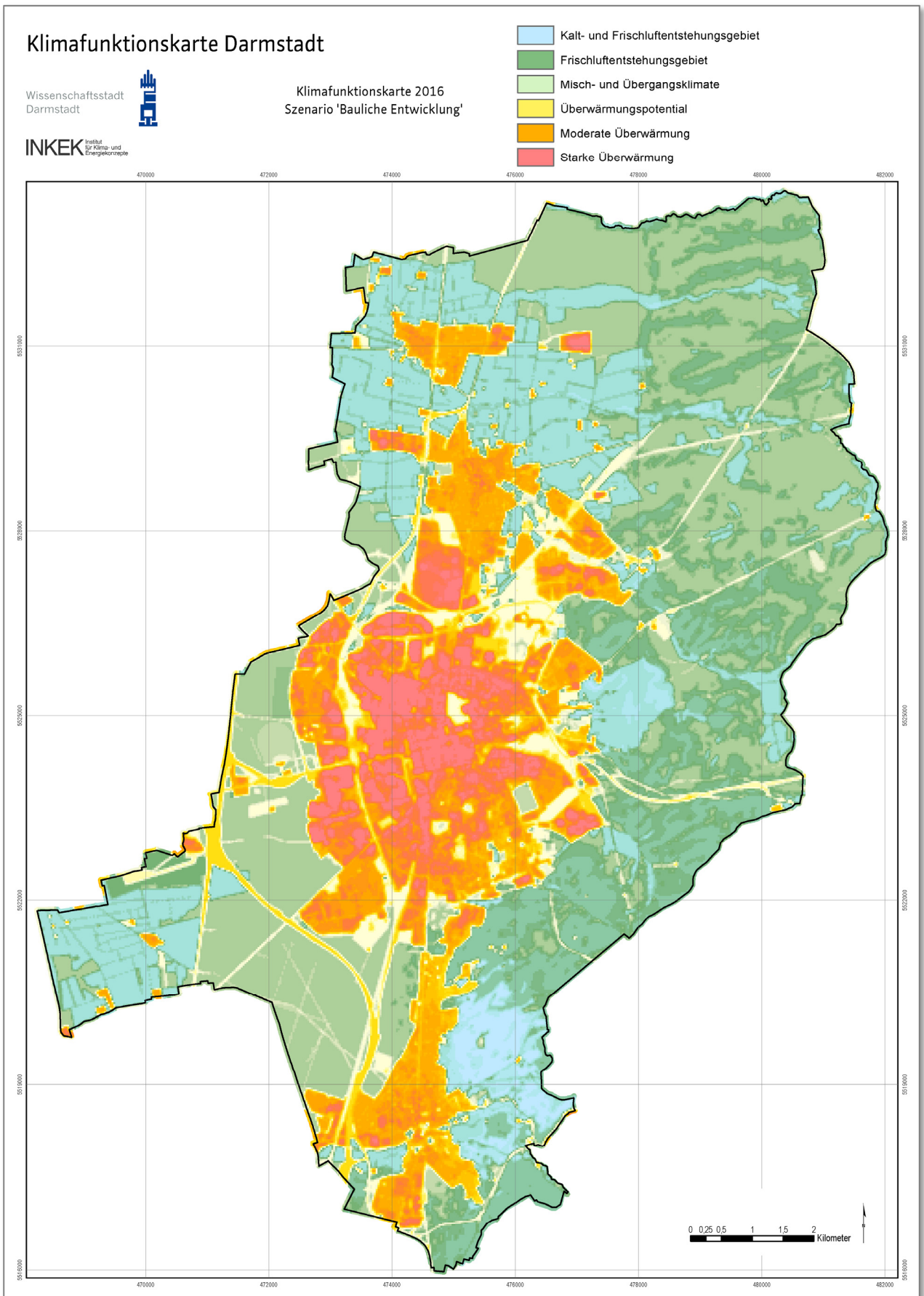


Abbildung 22: Klimaanalyse der Stadt Darmstadt - Szenario ‚Bauliche Entwicklung‘ (ohne Maßstab, Original in Anhang III).

9.1.1 Interpretation der räumlichen Veränderungen

Veränderte Eingangsdaten: Veränderung Gebäudedaten

Um den Innenentwicklungsdruck darzustellen sollte in dem Szenario von einem erhöhten Bauvolumen ausgegangen werden. Hierbei wurde pauschal angenommen, dass jedes Gebäude der Kernstadt um 2 Stockwerke (6 Meter) erhöht wird. Diese Veränderung verursacht zum einen eine höhere Wärmespeicherung durch die zusätzlichen künstlichen Materialien und eine Verschlechterung der Belüftungsverhältnisse durch die höhere Bodenrauhigkeit.

Nun tritt die städtische Überwärmung (Klimatop ‚starke Überwärmung‘) nahezu flächendeckend im Innenstadtgebiet auf, aber auch weiter in Richtung Wohnquartiere. Nur Bereiche mit direktem Bezug zum Umland und ausreichender Grünversorgung verändern sich moderat. Dies zeigt die Reduzierung der Belüftung im Innenbereich (Wegfall von Durchlüftungsbahnen, Einengung von Schneisen) und der thermischen Überwärmung.

Es ist darauf zu achten, genau zu analysieren in welchen Bereichen eine solche Erhöhung ohne große klimatischen Verschlechterung durchführbar ist und wo solche Planungen unproblematisch sind. Hinweise liefert die KFK.

9.2 Szenario ‚Klimawandel‘

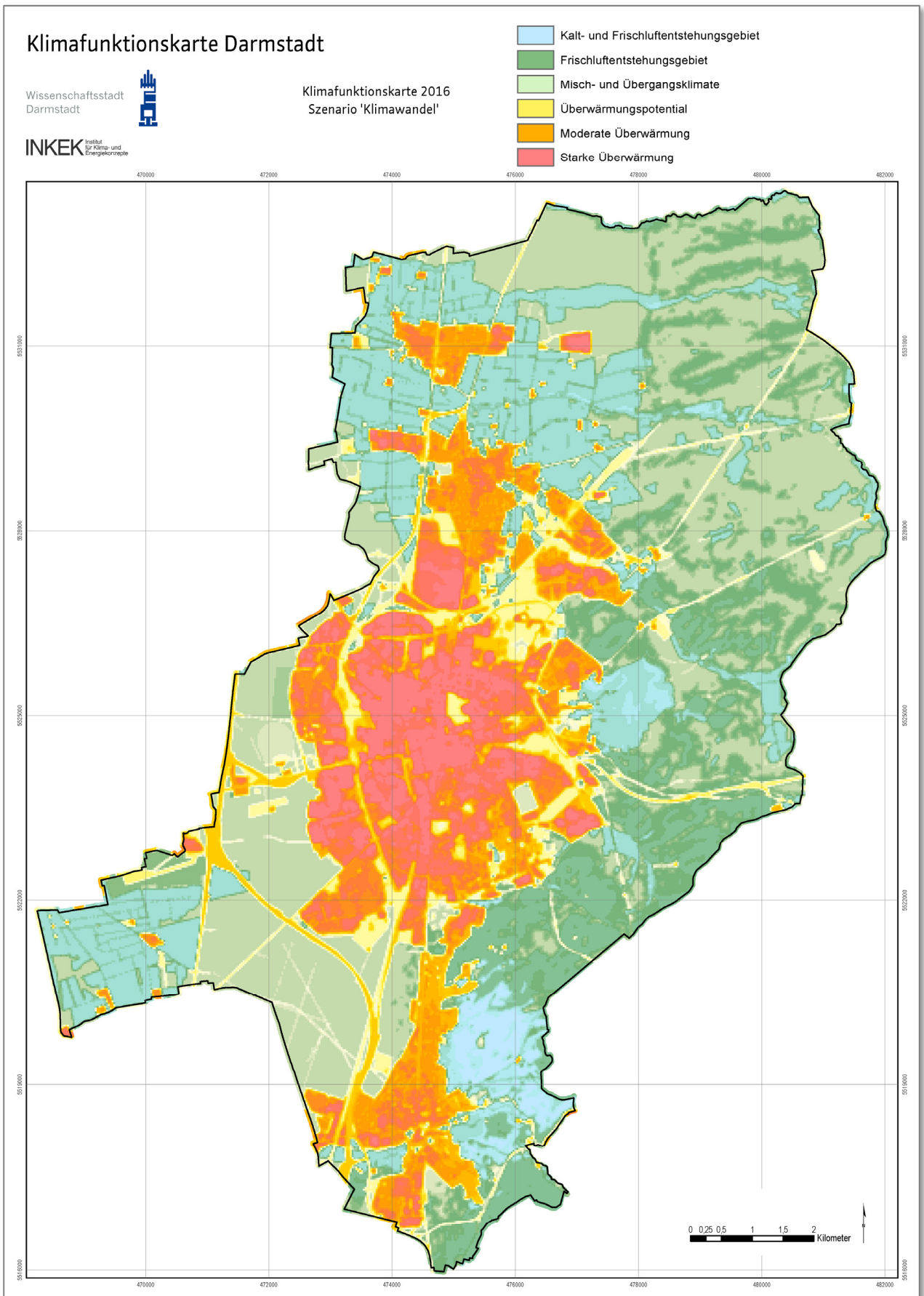


Abbildung 23: Klimaanalyse der Stadt Darmstadt - Szenario ‚Klimawandel‘ (ohne Maßstab, Original in Anhang III).

9.2.1 Interpretation der räumlichen Veränderungen

Veränderte Eingangsdaten: Veränderung der klimatischen Voraussetzungen.
Auswirkungen des prognostizierten Klimawandels (2041-2070).

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

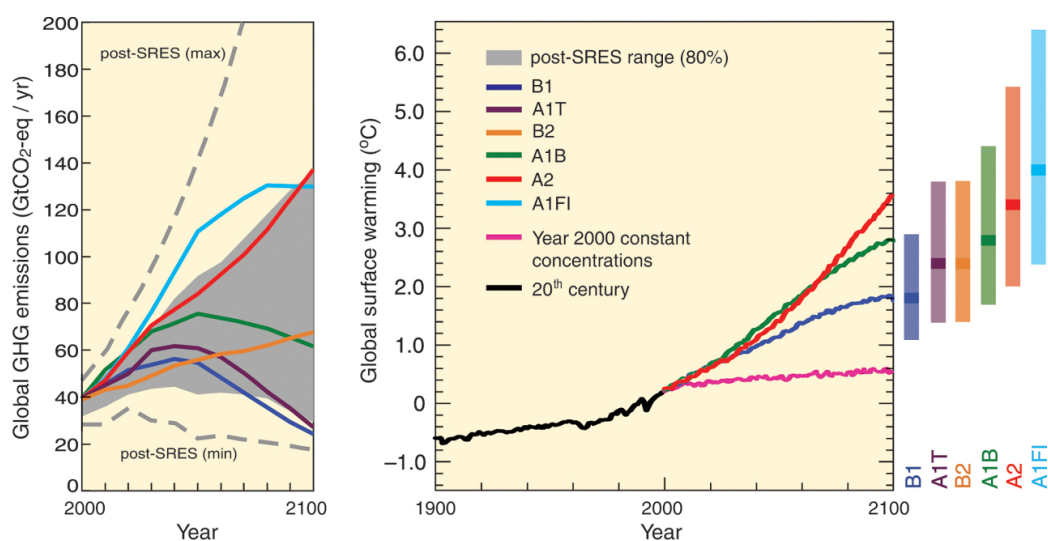


Abbildung 24: Klimaszenarien und prognostizierter globaler Temperaturverlauf (IPCC 2007).

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

Durch das veränderte Klimasignal treten unterschiedliche Veränderungen hervor. 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). In Darmstadt sind dies vor allem die dicht bebauten, städtischen Gebiete und die großflächigen Gewerbe- und Industrieflächen. In diesen Bereichen ist in Zukunft nahezu flächendeckend mit 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 Kaltluftentstehungsgebieten, vor allem auf den östlichen 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 Darmstadts haben wird.

Fast vollständig werden sich die verdichteten Bereiche in der höchsten Belastungsstufe befinden. Überall dort, wo viel künstliches Material verbaut wurde sind nun diese Belastungsspitzen festzustellen. Sogar in den Kernbereichen der Gemeinden Wixhausen, Arheiligen und Eberstadt werden nach diesem Szenario solche Werte erreichen.

10. Mikroklimatische Betrachtung urbaner Räume (qualitativ und quantitativ)

10.1 Qualitative Betrachtung innerstädtischer Grünflächen

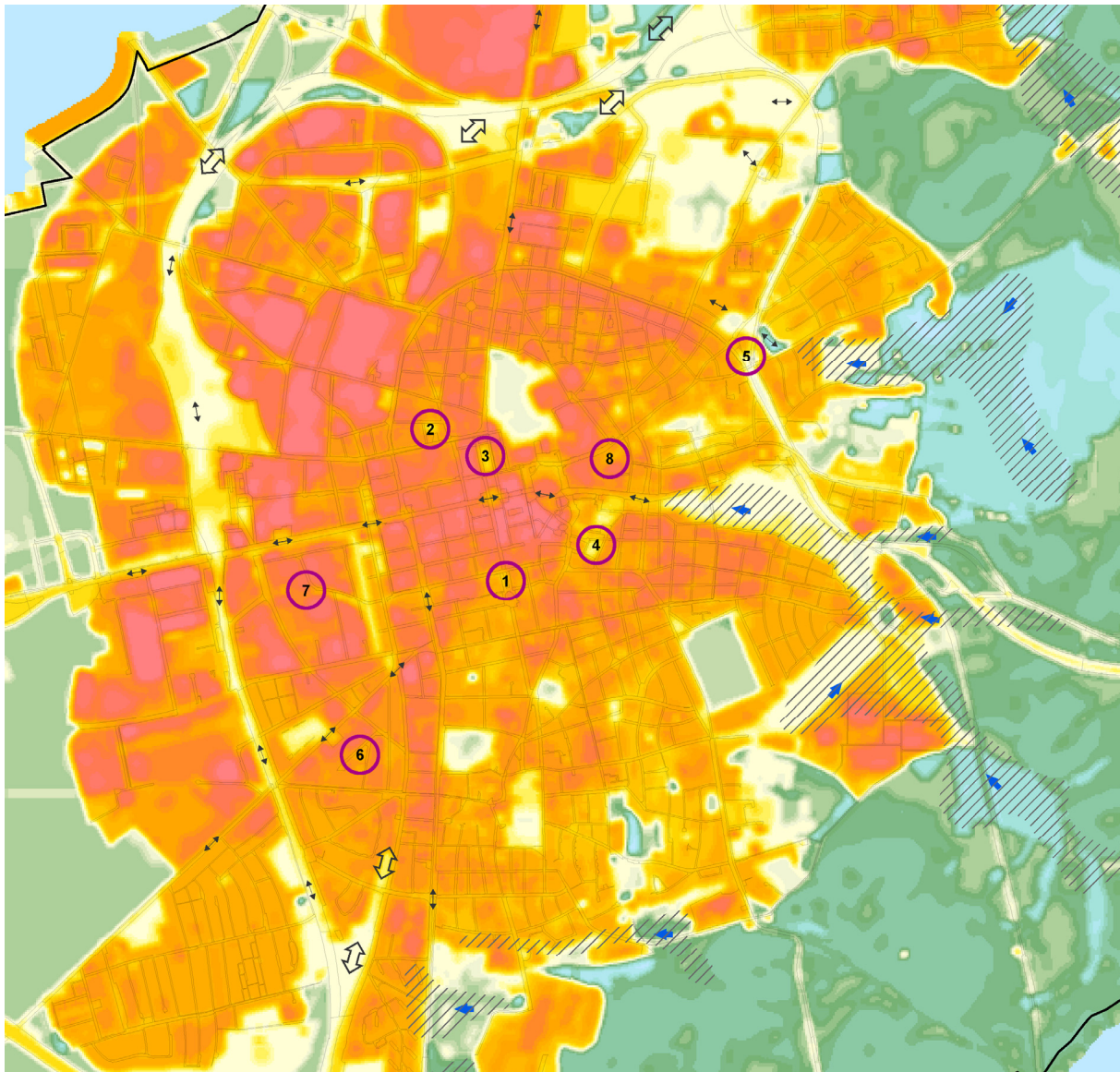


Abbildung 25: Ausschnitt der KFK mit Verortung der Grünflächen (1-8).

Aufgrund der horizontalen Rasterauflösung der generierten Kartenwerke, sowie des stadtklimatischen Betrachtungsmaßstabs in der mesoklimatischen Ebene kann es dazu führen, dass Grünflächen (Parkanlagen, Stadtgärten, Friedhöfe, etc.) mit einer geringen Fläche nicht oder nur sehr gering beachtet werden. Trotz der lokalen Potentiale, die von Innerstädtischen Grünflächen ausgehen, ist die Wirkung im Rahmen der KFK kaum zu identifizieren, im Rahmen der PHK mit einer deutlich größeren Detailtiefe werden sie überhaupt nicht mehr betrachtet.

Um dennoch die planerische Relevanz und die stadtklimatische Wirkung darzustellen, werden im Folgenden acht innerstädtische Grünflächen, die im Rahmen der PHK nicht betrachtet werden, aufgeführt mit einer kurzen qualitativen Einschätzung deren Wirkung.

Nr. 1. Wilhelminenplatz

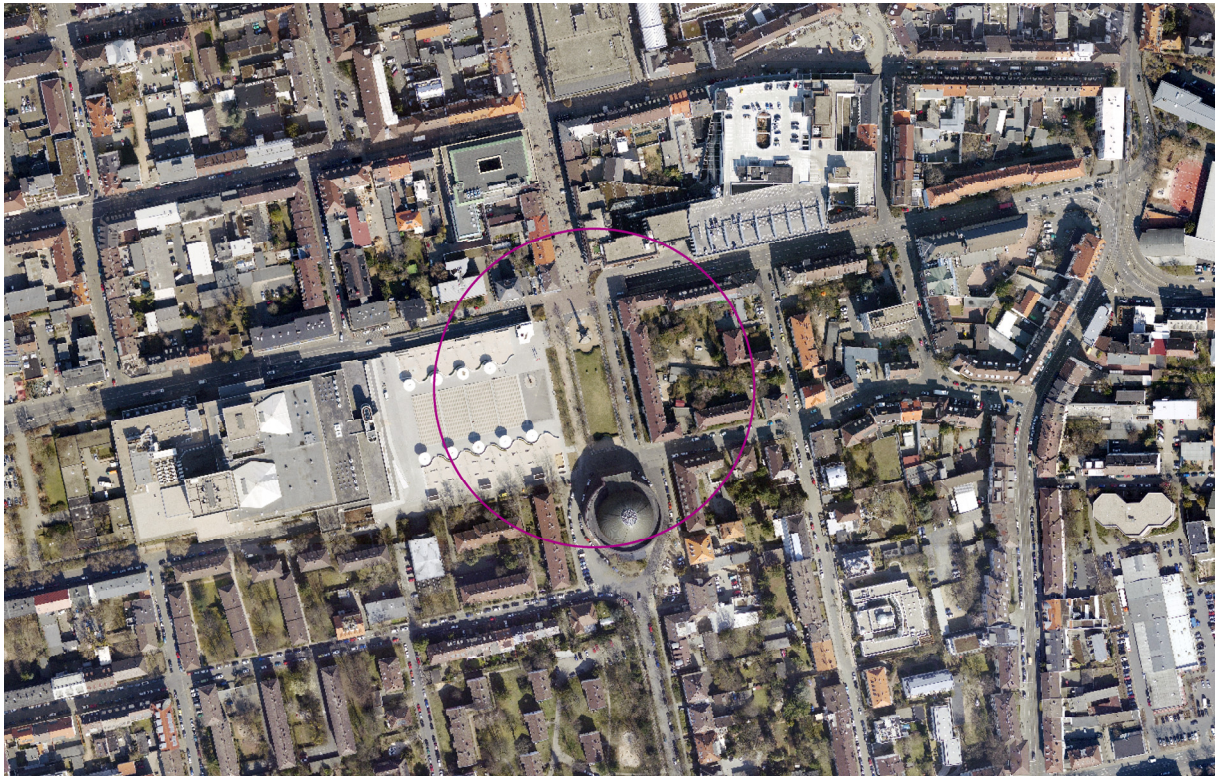


Abbildung 26: Orthofoto mit Markierung Wilhelminenplatz.

Der Wilhelminenplatz kann bei ausreichender Bewässerung aufgrund der teilweise beschatteten Rasenfläche zur Abkühlung während der Nachtstunden beitragen. Der offene Platz im Westen kann überströmt werden und ist deswegen bei schwachwindigen Wetterlagen klimatisch relevant. Die Wirkung ist vor allem für die südwestliche Wohnsiedlung wichtig, die auch eine verstärkende Wirkung mit den dort vorkommenden Vegetationsflächen ermöglicht. Nach Osten wird die Wirkung durch den geschlossenen Riegel räumlich begrenzt, nördlich profitieren die angrenzenden Bereiche der Fußgängerzone.

Der Wilhelminenplatz befindet sich am nördlichen Ende eines durchgrünter Quartiers, die Potentiale einer Vernetzung sind positiv zu betrachten.

Nr. 2. Johannesplatz



Abbildung 27: Orthofoto mit Markierung Johannesplatz.

Vor allem während der Tageslichtstunden an Tagen mit Wärmebelastung stellt der Johannespark im nördlichen, begrünten Bereich eine human-biometeorologische Gunstfläche dar. Es ist davon auszugehen, dass in diesem Bereich die thermischen Belastungsspitzen deutlich abgemildert werden.

Die Wirkung in der Nacht ist durch die geschlossene Randbebauung nur lokal, Potentiale bestehen bei einer weiteren Grünvernetzung nach Osten in Richtung Herrngarten.

Die Fläche zeichnet sich insgesamt durch ein stark geprägtes Eigenklima mit hohen Amplituden aus.

Nr. 3. Mathildenplatz

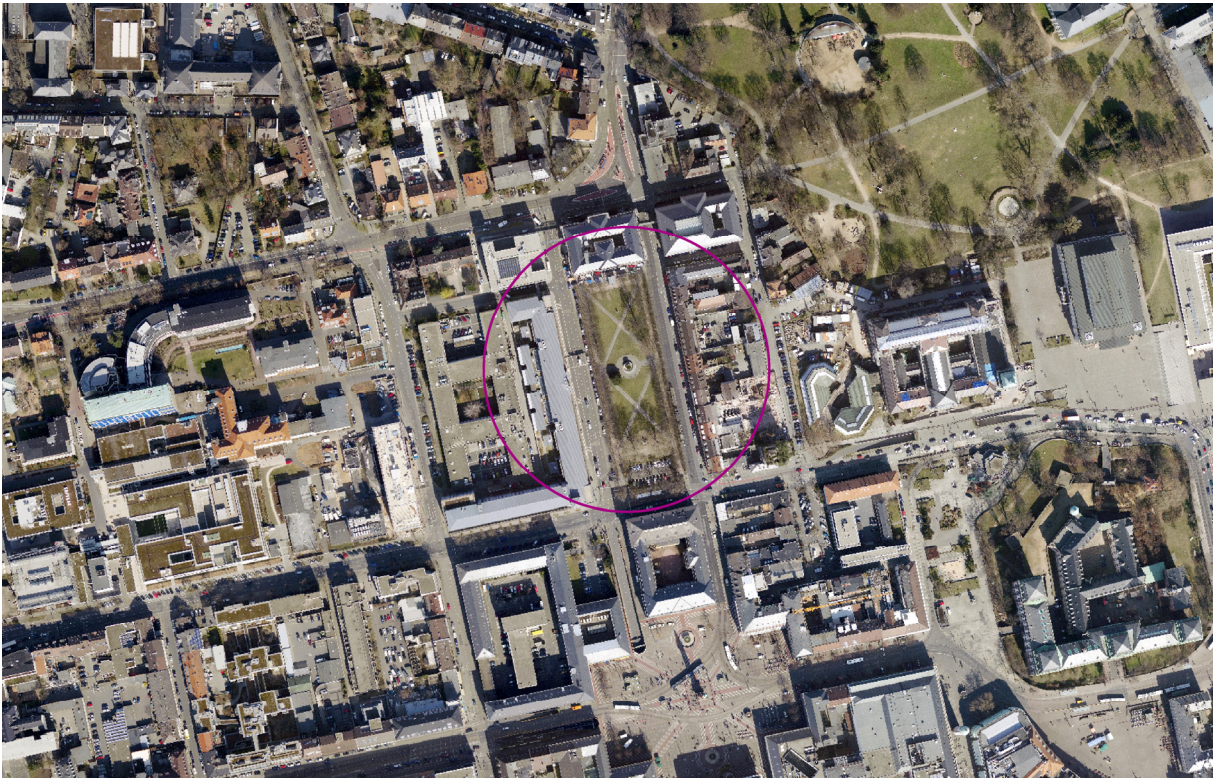


Abbildung 28: Orthofoto mit Markierung Mathildenplatz.

Positives Mikroklima an den Tagstunden aufgrund der Verschattung der Bäume; nachts sorgt die offene Grünfläche für Abkühlung und begünstigt die lokale Kaltluft bei ausreichender Wasserzufuhr.

Lokal hohe Wertigkeit, jedoch eingeschränkte Wirkung in die Nachbarschaft durch die geschlossenen Bauriegel. Eine Vernetzung mit dem großen Vegetationsvolumen des Herrngartens hinein in die Bereiche der Fußgängerzone könnte hier für Entlastung sorgen.

Die Fläche ist aufgrund ihrer räumlichen Lage zur Wärmeinsel Innenstadt und ihrer mikroklimatischen Besonderheit schützenswert. Sie hat eine hohe thermische Aufenthaltsqualität.

Nr. 4. Woogsplatz mit Kapellplatz



Abbildung 29: Orthofoto mit Markierung Woogsplatz mit Kapellplatz

Sowohl in den Tagstunden, als auch in den Nachtstunden mikroklimatisch Wertvolle Grünfläche, deren Potentiale durch das Netz an Vegetationsvolumen nach Norden hin eine größere Wirkung ermöglicht. Vor allem da dieser Bereich noch von der nächtlichen Kaltluft der östlichen Hänge profitiert, bildet diese Struktur eine innenstadtnahe kühle Zone.

Weitere Stärkung der Wertigkeit durch Öffnungen der östlichen Gebäudebarrieren. Nachverdichtung und Erhöhung der Bauwerke können negativ wirken. Die Verbindung zu dem nordöstlich angrenzenden Frischluftzufuhrraum sollte hergestellt werden.

Nr. 5. August-Buxbaum-Anlage



Abbildung 30: Orthofoto mit Markierung August-Buxbaum-Anlage.

Schnittstelle der Kategorien der PHK; dieser Bereich wird klimatisch der Kategorie „Ausgleichsraum mit hoher Bedeutung“ zugeordnet. Wichtig ist hier die Verbindung zu der östlich angrenzenden Frischluftzufuhr räumlich zu unterstützen.

Lokal positive Eigenschaften durch Vegetation und gut vernetzt durch begrünte Bahntrasse. Um die Belüftung und Kühlung der weiter westlichen Bereiche zu sichern sollte die August-Buxbaum-Anlage geschützt werden.

Nr. 6. Ingelheimer Garten



Abbildung 31: Orthofoto mit Markierung Ingelheimer Garten.

Wichtig als Ausgleich für die großflächig versiegelten Strukturen in der direkten Nachbarschaft. Wobei die klimaökologische Wertigkeit als relativ gering im Vergleich zu anderen Flächen dieser Art eingeschätzt wird. Aufgrund der geringen Größe und der Umgebungssituation ist die Wirksamkeit begrenzt.

Nr. 7. Grünzug Havelstraße bis Berliner Allee



Abbildung 32: Orthofoto mit Markierung Grünzug Havelstraße bis Berliner Allee.

Wichtiger Vernetzungsbestandteil der aufgrund der Ausrichtung, Höhen-Weiten-Verhältnis und der Ausstattung durchaus auch die Durchlüftung der Stadt ermöglicht. Lokaler Ausgleichsort und Wirksamkeit im Rahmen des Stadtgefüges.

Nr. 8. Erich-Ollenhauer-Promenade



Abbildung 33: Orthofoto mit Markierung Erich-Ollenhauer-Promenade.

Ein geringes Grünvolumen und relativ hoher Anteil künstlicher Baumaterialien führt zu einer geringen klimaökologischen Wertigkeit. Die Lage in der Stadt und im Verbund der Belüftungsstrukturen ist jedoch sehr vorteilhaft. Diese Struktur sollte nach Osten (Zufluss der Kaltluft) weiter ausgebaut werden.

10.2 Quantitative Betrachtung innerstädtischer Grünflächen

10.2.1 Erhebungsmethodik

Für die mikroskalige Analyse von Stadträumen wird das Modell ENVI-met (Bruse und Fler, 1998) verwendet. Mit Hilfe des Programms können Mikroklimakarten produziert werden, die unterschiedliche Parameter, wie beispielsweise Windgeschwindigkeit, mittlere Strahlungstemperatur oder thermische Indizes, flächendeckend im Untersuchungsgebiet abbilden. In einem Forschungsprojekt der Universitäten Freiburg, Kassel und Mainz (KLIMES) wurden ENVI-met Modellierungen mit Messungen validiert und über zeitgleich durchgeführte Befragungen der thermische Index einer subjektiven Bewertung der Menschen zugeordnet. Diese Zuordnung basiert auf einen sogenannten „Norm-Mensch“ (männlich, 35 Jahre, 1,75m, 75kg, leichter Sommeranzug und langsames Gehen) (Jendritzky et al. 1990), der stellvertretend den Berechnungen zugrunde liegt. Je nach Alter, Geschlecht und physiologischen Zustand gibt es eine bestimmte Varianz in der Wahrnehmung thermischer Zustände.

Für die Realisierung der Berechnungen wurde neben den meteorologischen Eingangsdaten das Untersuchungsgebiet digitalisiert, wobei Gebäudehöhen, realistische Bodenmaterialien und Baumstandorte in das Modell integriert wurden (s. Kap. 2.1).

Das Modell liefert als Ausgabe die Strahlungsbedingungen, die solare Sonneneinstrahlung, sowie Gebäudeabstrahlung, Windverhältnisse, Lufttemperatur und Luftfeuchte (Hitzestress) ausgedrückt als physiologisch äquivalente Temperatur (PET) (Höppe, 1999) und weitere meteorologische Parameter (vgl. Abb. 1, Kap. 2.2).

Die beschriebene Methode (nach VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2) kann sowohl für ein existierendes Stadtquartier als auch in einem frühen Stadium des Planungsentwurfs angewandt werden, um Problembereiche zu identifizieren und Strategien zur Verbesserung des Komforts wie Beschattung oder Windschutz einzuleiten.

10.2.2 Aufbau der Analyse

Es wurde ein Modelllauf von 48 Stunden auf Grundlage der örtlichen Gegebenheiten durchgeführt. Neben den Eingangsdaten in Form der Klimaanalyse der Stadt Darmstadt konnten Luftbilder sowie Plangrundlagen des Betrachtungsraums genutzt werden.

Eingangsdaten:

Dem Modell stehen materialspezifische Eingangsdaten zur Verfügung. Um eine möglichst realistische Simulation durchführen zu können, wurden die typischen Materialien für das Untersuchungsgebiet ausgewählt und im Modell nachgebildet.

Für den Bodentyp wurde ein standardisiertes Lehmbodenprofil gewählt. Typischerweise wurden für die Fahrwege Asphalt (Farbe dunkelgrau) und für die Gehwege und Plätze entsprechende Betonbeläge (Farbe hellgrau) gewählt.

Bestandsgebäude wurden in ihrer Materialität und Farbe kategorisiert und nachgebildet.

Für die Rasenflächen wurden typische Vegetationsformen gewählt. Bäume, Hecken und Büsche wurden mit einer durchschnittlichen LAD (leaf area density = Blattflächendichte), bezogen auf den spezifischen Kronendurchmesser, simuliert.

Initialisierungsdaten:

Für den Simulationslauf wurde ein durchschnittlicher mitteleuropäischer Sommertag mit der Lufttemperatur und den Winddaten der Messkampagne Sommer 2016, Darmstadt gewählt. Anströmrichtung ist aus Osten (90°) um in den Morgenstunden den Kaltluftabfluss zu berücksichtigen. Um eine maximale solare Einstrahlung zu simulieren, wurde ein wolkenloser Sommertag (21. Juni), mit einer Lufttemperatur von 16,85° C um 6 Uhr, gewählt (Daten ebenfalls aus Messkampagne 2016).

10.2.3 Auswertung/ Mikroklimakarten

Wie bereits aufgeführt, werden die Stadträume primär hinsichtlich heißer, sommerlicher Tage bewertet. Während der Tageslichtstunden tritt die größte Hitzebelastung für Stadtbewohner im städtischen Freiraum auf. Im Sommer dominiert die Anzahl der Tageslichtstunden gegenüber den Nachtstunden. Für Frühjahr und Herbst gelten jeweils durchaus die entsprechenden Abstufungen und Verteilungen der PET-Karten der Sommersimulationen, allerdings auf einem niedrigeren Niveau. Durch den veränderten Sonneneinfallswinkel fallen die Schattenbereiche größer aus, sodass hitzestressgefährdete Bereiche quantitativ kleiner werden und die übrigen Abstufungen sich anteilig vergrößern. So können Räume, die im Sommer als belastet gelten, in anderen Jahreszeiten als angenehm empfunden werden.

Windfeld

Simuliert wurde eine sommerliche Hochdruckwetterlage, die durch niedrige Windgeschwindigkeiten gekennzeichnet ist. Aus diesem Grund wurde eine Windgeschwindigkeit von 1 m/s als Initialisierungswert gesetzt. Die Anströmungsrichtung ist aus Osten (90°).

Bei der Ergebnisdarstellung (Abbildungen 34) zeigen sich die deutlichen Windfeldveränderungen im verdichteten Innenstadtbereich, zwischen den Gebäudekomplexen. Dieser Bereich ist charakterisiert von sehr heterogenen Windverhältnissen mit Lee-Bereichen (windgeschützt) und mit Kanten-/ Düseneffekten. Auf dem Marktplatz herrscht durch die geringe Bodenrauigkeit und die Offenheit in Richtung Osten eine kontinuierliche Windbewegung. Diese Zirkulation, genauso wie die lokalen Bereiche mit erhöhter Windgeschwindigkeit dürfen allerdings nicht zu hoch interpretiert werden, da im gesamten Gebiet eine maximale Windgeschwindigkeit von nur 1,6 m/s simuliert wurde, was in Realität ein nur sehr schwach wahrnehmbarer Wind ist.

Eine Belüftung findet vor allem in Schneisen mit ost-west Orientierung statt, andere Straßenverläufe sind geprägt von geringeren Windbewegungen.

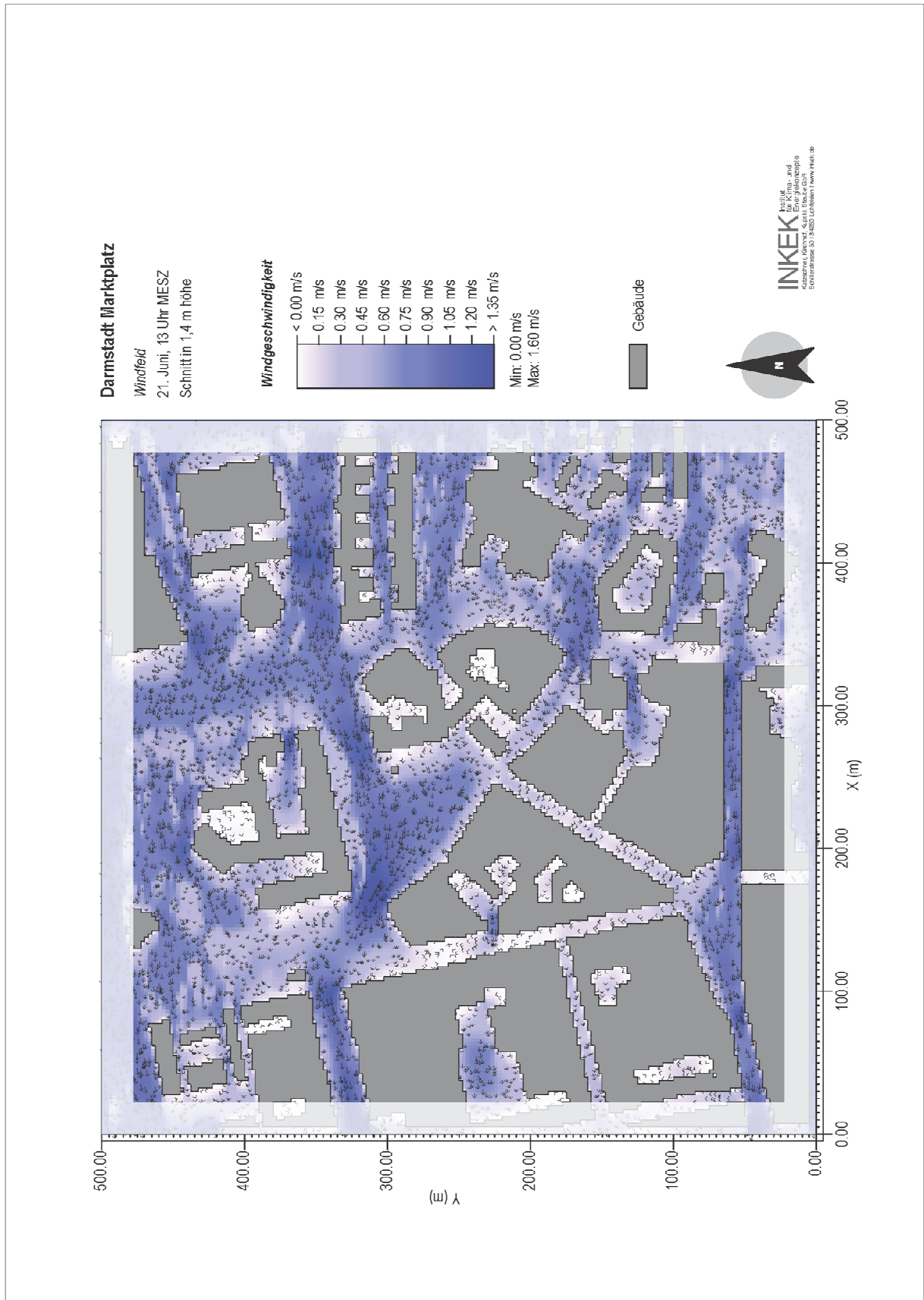


Abbildung 34: Mikroklimakarte Darmstadt Marktplatz, Windfeld (Original in Anlage IV).

PET – Stadtklimaindex

Der Bewertungsindex PET vereint die Parameter Wind, mittlere Strahlungstemperatur, Lufttemperatur, Dampfdruck (Feuchte) und dient zur Charakterisierung von Freiräumen auf Grundlage des subjektiven Wärmeempfindens des Menschen (Bioklima) wie in Kapitel 1 ausführlich erläutert.

Die Abbildung 35 zeigt die mikroklimatischen PET-Bedingungen zu einem bestimmten Zeitpunkt an dem potentiell mit der höchstmöglichen Belastung zu rechnen ist. Am 21. Juni um 13:00 Uhr MESZ können durch den Sonnenstand theoretisch die höchsten Strahlungswerte und damit verbunden die höchsten Temperaturen erreicht werden.

Da ein städtischer Bereich über einen längeren Zeitraum am Tag genutzt wird und somit auch über den Tag verteilt keine Belastungsbereiche entstehen sollten, wurde neben dem 13 Uhr Zeitpunkt ein Zeitfenster zwischen 10:00 und 18:00 Uhr gemittelt dargestellt (Abbildung 36).

Neben der Programmtypischen Darstellung der Legende wurde zur besseren Zuordnung und Einschätzung neben dem absoluten PET-Wert das thermische Empfinden (Kap. 2.2 Tabelle 1) einer Person in diesem Bereich eingetragen.

In der 13 Uhr Darstellung findet eine kontrastreiche Abgrenzung der einzelnen Teilräume statt. Hier dominiert der Sonnen- Schatteneffekt. Sobald eine Fläche beschattet ist (Gebäudeschatten oder durch Vegetation stellen sich sofort deutlich geringere Werte ein. Vereinzelt ist eine Reduzierung der thermischen Belastung durch den Wind erkennbar, dort wo in der Windfeldkarte die hohen Werte erreicht wurden (Kanten und Durchlässe) kommt es zu einer abmildernden Wirkung. Dennoch muss das allgemein hohe thermische Niveau beachtet werden. Nahezu alle unverschatteten Bereiche sind der höchsten Belastungsklasse zugeordnet, was zu extremen Hitzestress führt.

Um nicht nur diesen einen Zeitpunkt mit der höchsten Belastung zu untersuchen wurde die Mittelwertkarte (10-18 Uhr) angefertigt. Hier zeigt sich ein deutlich ausgewogeneres Bild, durch den Verlauf der Sonne werden die Flächen unterschiedlich lang beschienen, Übergangsbereiche entstehen, die Legendenspannweite ist abgemildert/ Spitzen treten nicht mehr auf. Dennoch sind einige Bereiche stark belastet, über den gesamten Tag, hier ist die Schaffung von Schatten sehr wichtig.

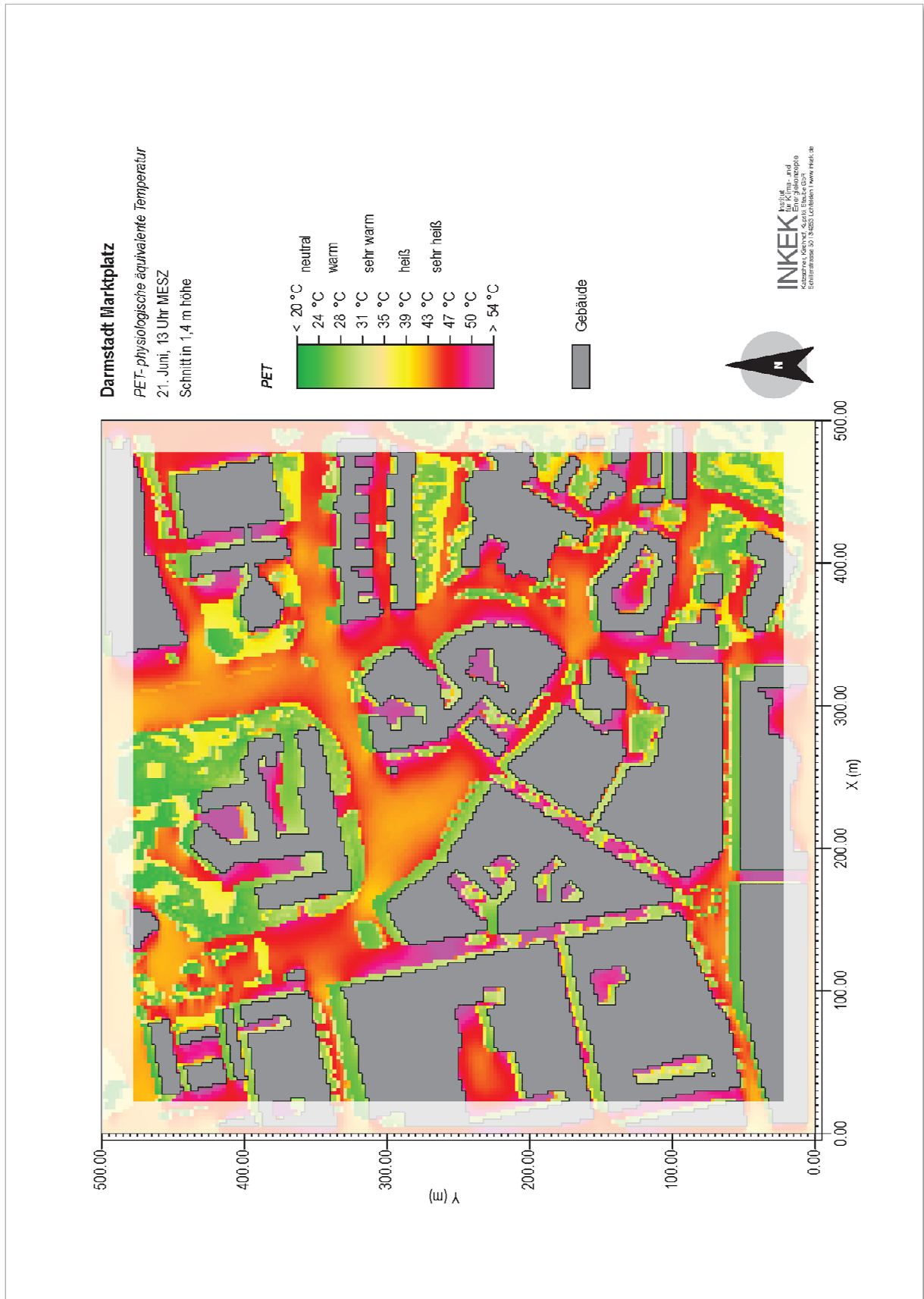


Abbildung 35: Mikroklimakarte Darmstadt Marktplatz, PET 13 Uhr (Original in Anlage IV).

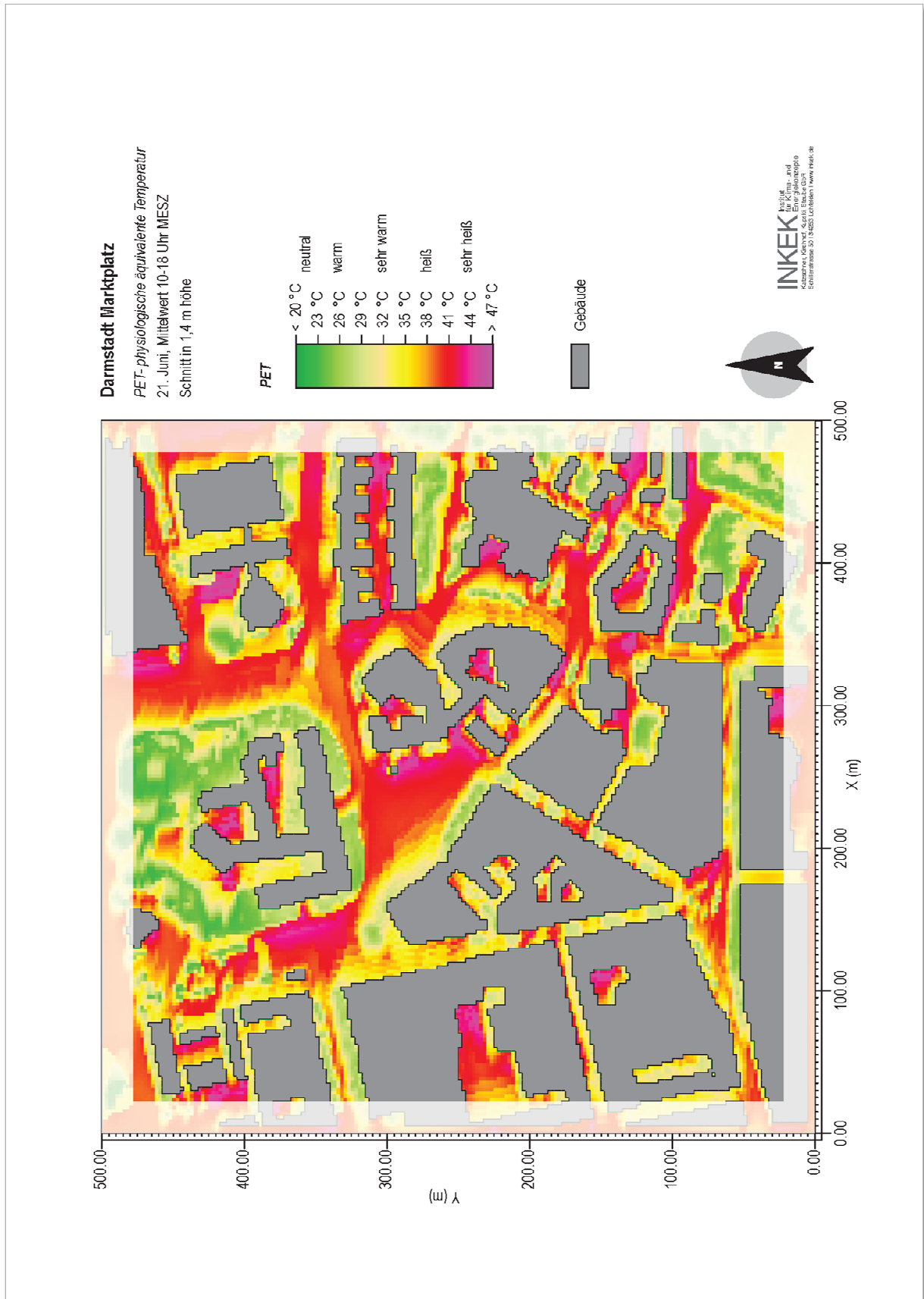


Abbildung 36: Mikroklimakarte Darmstadt Marktplatz, PET 10-18 Uhr (Original in Anlage IV).

11. Schlussbetrachtung

11.1 Zusammenfassung

Informationsgewinn aus der Klimafunktionskarte:

Die gesamtstädtische Analyse konnte in einer horizontalen Auflösung von 10 Meter durchgeführt werden. Vor allem die naturnahen östlichen und südlichen Randgebiete mit Baumbestand und landwirtschaftlichen Flächen haben einen positiven Einfluss auf das Darmstädter Stadtklima. Durch die Gunstklimatepe und die Hanglage können diese Flächen zur nachweisbaren Abkühlung und Belüftung der verdichteten Stadtgebiete führen. Wichtig ist in diesem Bereich geeignete Wirkverbindungen und Korridore zu erhalten um die positiven Wechselwirkungen zu erhalten/ auszubauen.

Die nördlichen und südlichen Kaltluftentstehungsgebiete versorgen die Stadtteile Wixhausen, Arheiligen und Eberstadt ausreichend, während Darmstadt und speziell die Innenstadt und großflächige Gewerbe-/Industriegebiete stark überwärmt sind. Das Klimatop mit der höchsten thermischen Belastung wurde für diese Bereiche teilweise großflächig ermittelt.

Kleinräumige Zirkulationssysteme, etwa entlang der Gleisanlagen sowie der Eschollbrücker Straße und der Rheinstraße sorgen für Durchlüftung und Durchmischung der Stadtluft.

Planerische Empfehlungen aus der Planungshinweiskarte:

Die umliegenden naturnahen Flächen mit einiger Entfernung zu den Belastungsklimatopen sind wichtiger Ausgleichsraum auf regionaler Ebene, hier wird vor allem Frisch- und Kaltluft produziert, diese Funktion sollte erhalten werden. Positive Wechselwirkungen im direkten Bezug zum verdichteten Stadtraum haben die Flächen „Ausgleichsraum lokal/ Stadtklima“ und sind demnach besonders schützenswert. Ebenso von Bedeutung sind die Luftleitbahnen und Belüftungskorridore/ Kaltluftabflussbahnen aus östlichen Richtungen, Änderungen der Flächennutzungen aus Sicht der Stadtklimatologie müssen hier vermieden werden.

Sanierungsbedarf haben vor allem die verdichteten Räume und Gewerbe-/Industriegebiete. Hier sollte zusätzliche Vegetation und eine Vernetzung der Grünflächen angestrebt werden.

Erkenntnisse aus den Szenarien

Neben der geplanten baulichen Entwicklung wurden die Änderungen durch den Klimawandel betrachtet. Das Szenario ‚Bauliche Entwicklung‘ zeigt die Auswirkungen einer Verdichtung der Innenstadtbereiche deutlich- eine weitere Ausdehnung des schon heute großflächigen Belastungsklimatops „starke Überwärmung“ sind die Folgen.

Diese negativen Folgen werden durch das zweite Szenario, in dem der mittlere Trend des Klimawandels in der Region in die Betrachtung integriert wurde, weiter verschärft. Die Auswirkungen des Klimawandels sind demnach vor allem in den stark verdichteten, versiegelten und mit nur wenig Vegetation ausgestatteten Bereichen spürbar. Dies hat zur Folge, dass längerfristig betrachtet die Belastung, vor allem in den Innenstadtbereichen, weiter zunimmt. Geeignete Gegenmaßnahmen zur Anpassung sollten aus den Handlungsempfehlungen der PHK angenommen werden. Kleinräumige Überprüfungen von klimatischen Wirkungen sollten überprüft werden.

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.

Häckel H. 1985:

Meteorologie. UTB – Ulmer, Stuttgart.

HMUKLV Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und
Verbraucherschutz, 2015:

Luftreinhalteplan für den Ballungsraum Rhein-Main; Teilplan Darmstadt, 2. Fortschreibung,
Wiesbaden

Hupfer P. , Kuttler, W. 1998:

Witterung und Klima B.G. Teubner Stuttgart.

Höppe, P. 1999:

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

IPCC 2007:

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

Katzschner, L. 2004:

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

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

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

Katzschner, L 2011:

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

Kuttler, W. 2011:

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

Lohmeyer, A. 2008:

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

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

Handbuch Stadtklima– Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und 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, Stuttgart.

TA Luft 2002:

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

VDI 2008:

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

VDI 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 1:50.000)

- Themenkarte „Gebäudevolumen“
- Themenkarte „Solare Einstrahlung“
- Themenkarte „KLAM_21 (Kaltluft)“
- Themenkarte „Bodenrauigkeit“
- Themenkarte „Hangneigung“

Anlage II (Din A2; Maßstab 1:35.000)

- Klimafunktionskarte der Stadt Darmstadt
- Planungshinweiskarte der Stadt Darmstadt

Anlage III (Din A3, Maßstab 1:50.000)

- Klimafunktionskarte Szenario bauliche Entwicklung
- Klimafunktionskarte Szenario Klimawandel

Anlage IV (Din A4, o. Maßstab)

- Mikroklimakarte „Windfeld“
- Mikroklimakarte „PET 13 Uhr“
- Mikroklimakarte „PET 10 – 18 Uhr“