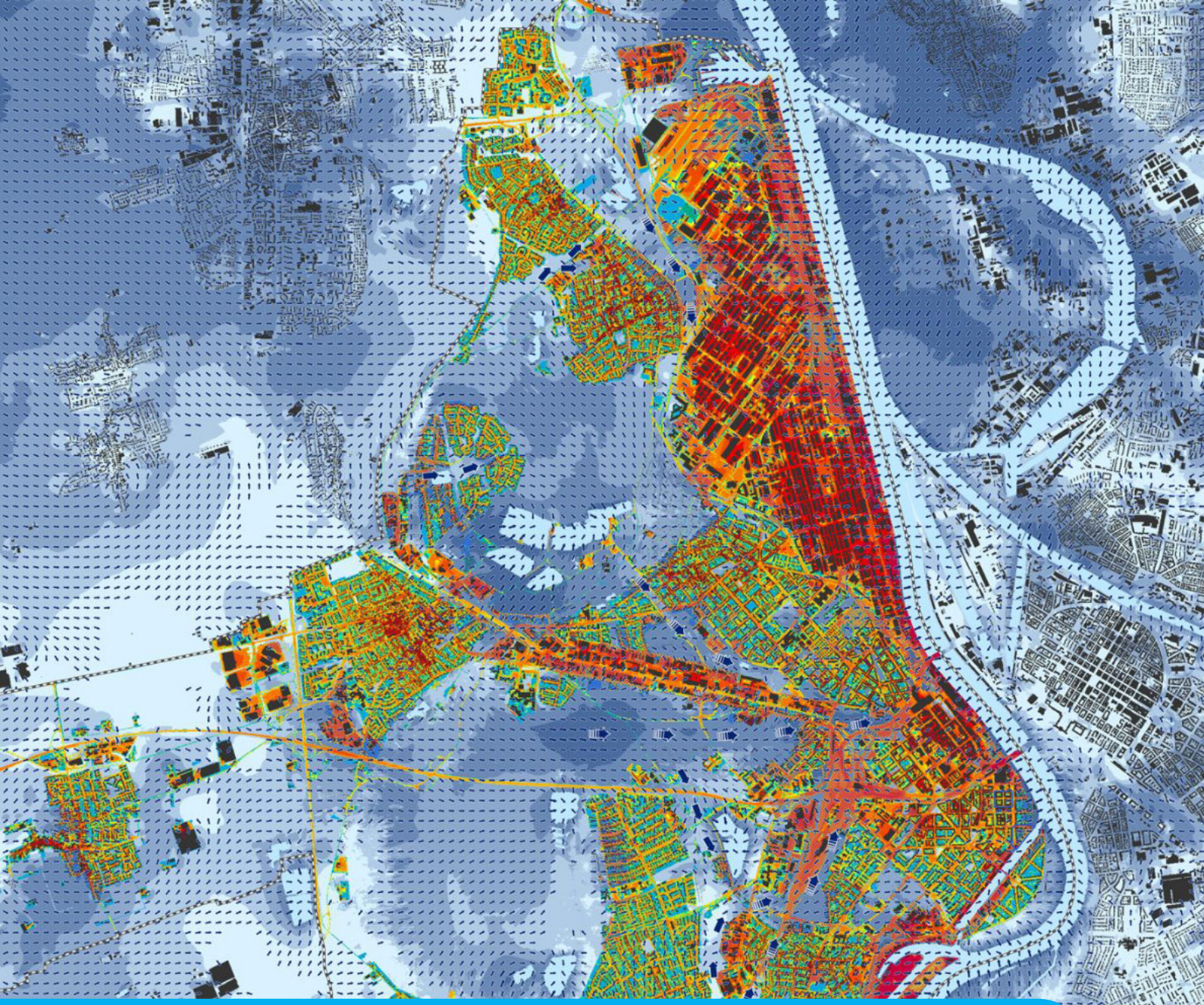


Klimaanpassungskonzept

Im Rahmen des Projektes „Fit for (climate) future: Prognose stadtklimatischer Auswirkungen des Klimawandels auf Siedlung und Industrie in Ludwigshafen am Rhein“

Ludwigshafen
Stadt am Rhein

„Es ist nicht die stärkste Spezies, die überlebt, auch nicht die intelligenteste, es ist diejenige, die sich am ehesten dem Wandel anpassen kann.“

Charles Darwin
Englischer Naturforscher

Impressum

Herausgeberin:

Ludwigshafen
Stadt am Rhein

Stadtverwaltung Ludwigshafen - Bereich Umwelt & Klima

Ansprechpartnerin:

Christiane Stolz
Projektkoordination Klimaanpassungskonzept "Ludwigshafen am Rhein - Fit for (Climate) Future"
Stadtverwaltung Ludwigshafen am Rhein, Bereich Umwelt & Klima, Bismarckstr. 29, 67059 Ludwigshafen
https://ludwigshafen.de/standort-mit-zukunft/klima/klimaanpassung

Auftragnehmer:

GEO-NET Umweltconsulting GmbH
Große Pfahlstraße 5a
30161 Hannover
info@geo-net.de
www.geo-net.de

Projektpartner:

Rheinland-Pfalz
Kompetenzzentrum
für Klimawandelfolgen

BASF
We create chemistry

Erstellt durch:

GEO-NET: Jonas Kaup, Marla Möllhoff, Jan Spickenbom
Stadtverwaltung Ludwigshafen: Christiane Stolz, Rainer Ritthaler
Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen: Dr. Tilmann Sauer
BASF SE: Dr. Max Bangert

Förderung:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz im Rahmen der Förderrichtlinie Deutsche Anpassungsstrategie (DAS) des BMUV, Förderschwerpunkt 3: Kommunale Leuchtturmvorhaben und regionale Kooperationen

Förderkennzeichen: 67DAS269
Projektlaufzeit: 04/2023 – 06/2025

www.bmuv.de/themen/klimaschutz-anpassung/klimaanpassung
www.z-u-g.org/das/

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Bericht im Internet:
www.ludwigshafen.de, Stichwort „Klimaanpassungskonzept“

Ludwigshafen, Mai 2025

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis III
Tabellenverzeichnis VI
Glossar VII
Zusammenfassung IX
1. Einleitung und Hintergrund 1
2. Gesamtstrategie 5
2.1 Leitbild und Ziele 5
2.2 Fachliche Grundlagen 8
2.2.1 Thermischer Komfort und Menschliche Gesundheit 8
2.2.2 Wärmeinseleffekt und Kaltluftprozesse 12
2.2.3 Stadtklimaanalysen und der Stand der Technik 15
2.3 Handlungsfelder (DAS) 18
3. Bestandsaufnahme 21
3.1 Ergebnisse der Datenerhebung und regionaler Klimamodelle 21
3.1.1 Datengrundlage und Methodik 21
3.1.2 Gegenwärtiges Klima 25
3.1.3 Zukünftige Klimaveränderungen 28
3.2 Analysemethoden 32
3.2.1 Das Stadtklimamodell FITNAH-3D 32
3.2.2 Szenarien-entwicklung 36
3.2.3 Aufbereitung der Modelleingangsdaten 39
3.2.4 Rahmen- und Randbedingungen 42
3.2.5 Modellausgabegrössen 44
3.2.6 Qualitätssicherung 46
3.2.7 Unsicherheiten und Herausforderungen 46
4. Klima- und Betroffenheitsanalyse 49
4.1 Ergebnisse der numerischen Modellierungen 52
4.1.1 Nächtliches Temperaturfeld und Kaltluftproduktion 52
4.1.2 Kaltluftströmungsfeld in der Nacht 57
4.1.3 Klimaanalysekarten 61
4.1.4 Wärmebelastung am Tage 66
4.1.5 Vergleich der numerischen Modellierung mit der Messkampagne Ludwigshafen 69
4.1.6 Vergleich des Ist-Zustandes mit der Stadtstruktur von 2000 70
4.2 Bewertungskarten Stadtklima 72
4.2.1 Grundlagen 72

4.2.2 Geometrische Basis ... 73
4.2.3 Bewertung des Wirkungsraums ... 74
4.2.4 Bewertung des Ausgleichsraums ... 76
4.2.5 Ergebnisse der Bewertungskarten ... 78
4.3 Handlungsfeld 1 - Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung sowie Bauwesen ... 83
4.3.1 Planungshinweiskarte ... 83
4.3.2 Stadtklimatische Belastungssituation im Wirkungsraum ... 83
4.3.3 Stadtklimatischer Schutzbedarf im Ausgleichsraum ... 87
4.3.4 Stadtklimatische Bewertung der städtebaulichen Entwicklungsflächen ... 89
4.3.5 Handlungsempfehlungen zur Reduktion von Wärmebelastung im Stadtklima ... 102
4.4 Handlungsfeld 2 - Menschliche Gesundheit ... 117
4.4.1 Risikoanalyse Bevölkerungsgruppen ... 118
4.4.2 Risikoanalyse Punktdaten ... 122
4.5 Handlungsfeld 3 - Industrie ... 125
5. Konzept für die Akteur*innenbeteiligung ... 128
5.1 Akteur*innenanalyse ... 128
5.2 Beteiligung von Akteur*innen während des Projekts sowie bei der künftigen Umsetzung des Anpassungskonzepts ... 130
6. Maßnahmenkatalog Klimaanpassung ... 132
6.1 Laufende Maßnahmen in der Stadt Ludwigshafen ... 132
6.2 Erstellung des Maßnahmenkatalogs ... 135
6.3 Maßnahmenkatalog ... 135
6.4 Maßnahmensteckbriefe ... 136
6.5 Langfristige Maßnahmen ... 157
7. Konzept für die Öffentlichkeitsarbeit ... 160
8. Verstetigungsstrategie ... 162
9. Controllingkonzept ... 166
9.1 Klimamonitoring ... 168
9.2 Stadtweites Klimamessnetz ... 168
9.3 Fortschrittscontrolling ... 169
9.4 Zielerreichung der Klimafolgenanpassung ... 169
9.5 Wirkungen der Maßnahmen ... 172
9.6 Verstetigung und Kommunikation ... 172
9.7 Abläufe und Dokumentation ... 173
Quellenverzeichnis ... 174
Anhang ... 179

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Klimakomfort und -diskomfort in verschiedenen Lufttemperatur- und Windgeschwindigkeitsbereichen 8
Abbildung 2: Klima-Michel-Modell und Gefühlte Temperatur 9
Abbildung 3: Nächtliche Innenraumtemperatur (22:00 – 06:00 Uhr) in 500 Augsburger Schlafzimmern in den Sommermonaten 2019 10
Abbildung 4: Gesundheitliche Belastung verschiedener Gruppen bei Hitze in Bonn (n=688).....11
Abbildung 5: Hitzebedingte Mortalitätsrate nach Altersgruppe und Region von 2001 - 2015 12
Abbildung 6: Hitzebedingte Sterbefälle nach Altersklassen pro Jahr in Rheinland-Pfalz 12
Abbildung 7: Stadtklimatisch relevante Prozesse 13
Abbildung 8: Strahlungsantrieb der verschiedenen RCP-Szenarien und ihre Entwicklung bis 2100 22
Abbildung 9: Konventionen und Bedeutung der grafischen Darstellung eines Box-Whisker Plots. 25
Abbildung 10: Klimadiagramm für Ludwigshafen für den Zeitraum 1991 – 2020, basierend auf den Gebietsmittelwerten der DWD Daten. 26
Abbildung 11: Langjährige Entwicklung der Jahresmitteltemperatur in Ludwigshafen im Zeitraum von 1881 bis 2022 ...26
Abbildung 12: Räumliche Darstellung der Anzahl Heißer Tage (Tmax ≥ 30 °C) in verschiedenen Perioden im Raum Ludwigshafen.....27
Abbildung 13: Saisonale Abweichungen vom Mittelwert der Bodenfeuchte in Ludwigshafen im Zeitraum 1991 bis 2022 27
Abbildung 14: Zeitlicher Trend der jährlichen Mitteltemperaturen in Ludwigshafen (RCP-Szenarien 2.6 und 8.5) 29
Abbildung 15: Änderung der langjährigen monatlichen Mitteltemperaturen in Ludwigshafen (RCP 8.5) im Vergleich zur Referenzperiode 1971 – 2000. 29
Abbildung 16: Änderung der saisonalen klimatischen Wasserbilanz in den zwei Zukunftsperioden in Ludwigshafen (RCP 8.5).....31
Abbildung 17: typische Tagesgänge der Oberflächentemperaturen (´Tsurf‘) für ausgewählte Nutzungsklassen von FITNAH-3D 34
Abbildung 18: Idealisierter Tagesgang der Oberflächentemperatur (´Tsurf‘) sowie der bodennahen Lufttemperatur (´T2m‘) von bzw. über Asphalt sowie von bzw. über einem feuchten und einem trockenen grasbewachsenen Boden während eines hochsommerlichen Strahlungstages. 36
Abbildung 19: Der Szenario-Trichter. 37
Abbildung 20: Darstellung der Modellantriebstemperaturen anhand der Darstellung zum zeitlichen Trend der jährlichen Mitteltemperaturen in Ludwigshafen (RCP-Szenarien 2.6 und 8.5).....37
Abbildung 21: Digitales Geländemodell für das Untersuchungsgebiet. 39
Abbildung 22: Ermittlung von Baumstandorten mittels Vegetationsindex und Strukturhöhe (Musterdarstellung).....41
Abbildung 23: Ausschnitt klassifizierte Landnutzung im 5 m Modell-Raster. 41
Abbildung 24: Prinzipskizze des Mischpixelansatzes. Verteilungsbeispiel für eine als Wohngebiet (links) und als Gewerbegebiet (rechts) umgesetzte Entwicklungsfläche. 42
Abbildung 25: Schematische Darstellung des Tagesgangs der bodennahen Lufttemperatur und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit über verschiedenen Landnutzungen. 43
Abbildung 26: Bodennahe nächtliche Lufttemperatur um 4 Uhr im Ist-Zustand in Ludwigshafen. 53
Abbildung 27: Bodennahe nächtliche Lufttemperatur um 4 Uhr im Szenario „starker Klimawandel“ in Ludwigshafen. ...54
Abbildung 28: Bodennahe nächtliche Lufttemperatur im Szenario „starker Klimawandel mit Stadtentwicklung“ in Ludwigshafen.....54
Abbildung 29: Nächtliche Kaltluftproduktionsrate im Ist-Zustand in Ludwigshafen. 55

Abbildung 30: Nächtliche Kaltluftproduktionsrate im Szenario „starker Klimawandel“ in Ludwigshafen. 56
Abbildung 31: Nächtliche Kaltluftproduktionsrate im Szenario „starker Klimawandel mit Stadtentwicklung“ in Ludwigshafen. 56
Abbildung 32: Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom um 4 Uhr im Ist-Zustand in Ludwigshafen. 57
Abbildung 33: Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom um 4 Uhr in den Zukunftsszenarien ohne (links) und mit (rechts) Stadtentwicklung. 58
Abbildung 34: Bodennahes Strömungsfeld um 4 Uhr nachts im Ist-Zustand in Ludwigshafen. 59
Abbildung 35: Bodennahes Strömungsfeld um 4 Uhr nachts im Szenario „starker Klimawandel“. 60
Abbildung 36: Bodennahes Strömungsfeld um 4 Uhr nachts im Szenario „starker Klimawandel mit Stadtentwicklung“. .60
Abbildung 37: Einheitliche Legende der Klimaanalysekarten. 62
Abbildung 38: Ausschnitt aus der Klimaanalysekarte (4 Uhr-Situation) des Ist-Zustandes 63
Abbildung 39: Ausschnitt aus der Klimaanalysekarte (4 Uhr-Situation) für das Szenario „starker Klimawandel mit Stadtentwicklung“ 65
Abbildung 40: Wärmebelastung am Tag (PET) im Ist-Zustand. 66
Abbildung 41: Wärmebelastung am Tag im Szenario „starker Klimawandel ohne Stadtentwicklung“. 68
Abbildung 42: Wärmebelastung am Tag im Szenario „starker Klimawandel mit Stadtentwicklung“. 68
Abbildung 43: Gegenüberstellung der Klimaanalysekarten (4-Uhr-Situation) des Ist-Zustandes (rechts) mit der Klimaanalysekarte des Szenarios Vergangenheit 2000 (links) für einen zentralen Ausschnitt des Ludwigshafener Stadtgebietes. 70
Abbildung 44: links das Ausgangsraster und rechts das Ergebnis der räumlichen Mittelwertbildung auf Ebene der Basisgeometrie. 73
Abbildung 45: Verfahren der z-Transformation zur statistischen Standardisierung von Parametern und sich daraus ergebende Wertstufen 74
Abbildung 46: Schema der stadtklimatischen Bewertung von Flächen im Ausgleichsraum in der Nacht. 77
Abbildung 47: Ausschnitt aus den Bewertungskarten für die Nachtsituation um 4 Uhr. 79
Abbildung 48: Ausschnitt aus den Bewertungskarten für die Tagsituation um 14 Uhr. 81
Abbildung 49: Ausschnitt aus der Planungshinweiskarte Stadtklima. 86
Abbildung 50: Modifizierter Kartenausschnitt der PHK für das Vertiefungsgebiet Neues Stadtquartier. 89
Abbildung 51: Modifizierter Kartenausschnitt der PHK für das Vertiefungsgebiet Rheingönheim. 91
Abbildung 52: Modifizierter Kartenausschnitt der PHK für das Vertiefungsgebiet Maudach. 93
Abbildung 53: Modifizierter Kartenausschnitt der PHK für das Vertiefungsgebiet Ruchheim. 95
Abbildung 54: Modifizierter Kartenausschnitt der PHK für das Vertiefungsgebiet Entwicklungsachse West. 97
Abbildung 55: Modifizierter Kartenausschnitt der PHK für das Vertiefungsgebiet Oggersheim. 99
Abbildung 56: Modifizierter Kartenausschnitt der PHK für das Vertiefungsgebiet Oppau/Edigheim. 101
Abbildung 57: Bewertungsmatrix der Betroffenheit als Kombination von Thermischer Belastung und Dichte 119
Abbildung 58: Übersichtskarten der Klimarisikoanalyse zur Betroffenheit der unter 7-jährigen Kinder in Ludwigshafen (links = Ist-Zustand, rechts = Zukunft). 119
Abbildung 59: Übersichtskarten der Klimarisikoanalyse zur Betroffenheit der Hochaltrigen ab 75 Jahren in Ludwigshafen (links = Ist-Zustand, rechts = Zukunft). 120
Abbildung 60: Übersichtskarten der Klimarisikoanalyse zur Betroffenheit der Gesamtbevölkerung in Ludwigshafen (links = Ist-Zustand, rechts = Zukunft). 121
Abbildung 61: Übersichtskarten der Klimarisikoanalyse zur bioklimatischen Belastung der Kindertagesstätten in Ludwigshafen (links = Ist-Zustand, rechts = Zukunft). 122

Abbildung 62: Übersichtskarten der Klimarisikoanalyse zur bioklimatischen Belastung der Grundschulen in Ludwigshafen (links = Ist-Zustand, rechts = Zukunft). 123

Abbildung 63: Übersichtskarten der Klimarisikoanalyse zur bioklimatischen Belastung der Grundschulen in Ludwigshafen (links = Ist-Zustand, rechts = Zukunft). 123

Abbildung 64: Übersichtskarten der Klimarisikoanalyse zur bioklimatischen Belastung der Krankenhäuser und Hospize in Ludwigshafen (links = Ist-Zustand, rechts = Zukunft). 124

Abbildung 65: Übersichtskarten der Klimarisikoanalyse zur bioklimatischen Belastung der Senioren- und Pflegeheime in Ludwigshafen (links = Ist-Zustand, rechts = Zukunft). 124

Abbildung 66: Ausschnitt der „Industriekarte“ für den Ist-Zustand. 126

Abbildung 67: Symbolfoto (BASF). 127

Abbildung 68: Schematischer Aufbau der Maßnahmensteckbriefe 136

Abbildung 69: Schematischer Aufbau des Controlling-Konzeptes 166

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich der drei Methoden zur Stadtklimaanalyse 16
Tabelle 2: Auswahl an numerischen Modellen für den Einsatz im Rahmen von Stadtklimaanalysen. 18
Tabelle 3: Langjährige Änderung der Temperatur in Ludwigshafen. 28
Tabelle 4: Langjährige Änderung thermischer Kenntage sowie der Länge von Hitzeperioden in Ludwigshafen. 30
Tabelle 5: in FITNAH implementierte Landnutzungsklassen bei einer horizontalen Modellauflösung von 5-10 m. 33
Tabelle 6: entwickelte Szenarien und ihre zentralen Merkmale 38
Tabelle 7: Datenquellen zur Erstellung des Nutzungsrasters 40
Tabelle 8: Von FITNAH zum Themenkomplex thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt berechnete Parameter. 44
Tabelle 9: abgeleitete Ausgabegrößen von FITNAH zum Themenkomplex thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt 45
Tabelle 10: Legendenelemente und ihre Ableitungsmethoden zum Kaltluftprozessgeschehen in den Klimaanalysekarten. 63
Tabelle 11: Grenzen der z-Transformation und zugehörige PET-Werte für die Klassifizierung der bioklimatischen Situation am Tag. 75
Tabelle 12: Grenzen der z-Transformation und zugehörige Lufttemperaturen für die Klassifizierung der bioklimatischen Situation in der Nacht 76
Tabelle 13: Flächenanteile der Klassifizierung der bioklimatischen Belastung in der Nacht, nach Modellierungsszenario 80
Tabelle 14: Flächenanteile der Klassifizierung der bioklimatischen Bedeutung in Bezug auf die Wohnsiedlung in der Nacht, nach Modellierungsszenario 80
Tabelle 15: Flächenanteile der Klassifizierung der bioklimatischen Belastung am Tage, nach Modellierungsszenario 82
Tabelle 16: Flächenanteile der Klassifizierung der bioklimatischen Bedeutung am Tage in Bezug auf den Siedlungsraum, nach Modellierungsszenario 82
Tabelle 17: Kombinierte Bewertung der bioklimatischen Situation aus den Bewertungskarten Nacht und Tag in Wohngebieten sowie in unbewohnten Gebieten. 83
Tabelle 18: Methodische Herleitung der stadtklimatischen Handlungsprioritäten und der Anteil an den Flächen des Wirkungsraums. 84
Tabelle 19: Mit den Handlungsprioritäten Stadtklima im Wirkungsraum verbundene allgemeine Planungshinweise. 85
Tabelle 20: Kombinierte Bewertung der bioklimatischen Bewertung aus den Bewertungskarten Nacht und Tag für die Flächen im Ausgleichsraum. 87
Tabelle 21: Methodische Herleitung des stadtklimatischen Schutzbedarfs und der Anteil an den Flächen des Ausgleichsraums. 87
Tabelle 22: Mit dem stadtklimatischen Schutzbedarf im Ausgleichsraum verbundene allgemeine Planungshinweise. 88
Tabelle 23: Handlungsempfehlungen allgemeiner stadtklimatisch wirksamer Maßnahmen für Ludwigshafen. 106
Tabelle 24: Flächenanteile der Klassen auf Basis der Gebäudegrundflächen [ha]. 120
Tabelle 25: Flächenanteile der Klassen auf Basis der Gebäudegrundflächen [ha]. 120
Tabelle 26: Flächenanteile der Klassen auf Basis der Gebäudegrundflächen [ha]. 121
Tabelle 27: Übersicht bereits laufender Klimaanpassungsmaßnahmen in der Stadt Ludwigshafen. 133
Tabelle 28: Übersicht der langfristigen Maßnahmen als perspektivische Ausrichtung der Klimaanpassung der Stadt Ludwigshafen 158

Glossar

Albedo: Rückstrahlvermögen einer Oberfläche (Reflexionsgrad kurzwelliger Strahlung). Verhältnis der reflektierten zur einfallenden Lichtmenge. Die Albedo ist abhängig von der Beschaffenheit der bestrahlten Fläche sowie vom Spektralbereich der eintreffenden Strahlung.

Allochthone Wetterlage: Durch großräumige Luftströmungen bestimmte Wetterlage, die die Ausbildung kleinräumiger Windsysteme und nächtlicher Bodeninversionen verhindert. Dabei werden Luftmassen, die ihre Prägung in anderen Räumen erfahren haben, herantransportiert. Die allochthone Wetterlage ist das Gegenstück zur →*autochthonen Wetterlage.*

Ausgleichsraum: Grüngeprägte, relativ unbelastete Freifläche, die an einen →*Wirkungsraum* angrenzt oder mit diesem über →*Kaltluftleitbahnen* bzw. Strukturen mit geringer Rauigkeit verbunden ist. Durch die Bildung kühlerer Luft sowie über funktionsfähige Austauschbeziehungen trägt dieser zur Verminderung oder zum Abbau der Wärmebelastungen im Wirkungsraum bei. Mit seinen günstigen klimatischen Eigenschaften bietet er eine besondere Aufenthaltsqualität für Menschen.

Austauscharme Wetterlage: →*Autochthone Wetterlage*

Autochthone Wetterlage: Durch lokale und regionale Einflüsse bestimmte Wetterlage mit schwacher Windströmung und ungehinderten Ein- und Ausstrahlungsbedingungen, die durch ausgeprägte Tagesgänge der Lufttemperatur, der Luftfeuchte und der Strahlung gekennzeichnet ist. Die meteorologische Situation in Bodennähe wird vornehmlich durch den Wärme- und Strahlungshaushalt und nur in geringem Maße durch die Luftmasse geprägt, sodass sich lokale Klimate wie das Stadtklima bzw. lokale Windsysteme wie z.B. Berg- und Talwinde am stärksten ausprägen können. In den Nachtstunden sind autochthone Wetterlagen durch stabile Temperaturschichtungen der bodennahen Luft gekennzeichnet. Damit wird eine vertikale Durchmischung unterbunden und eine ggf. überlagernde Höhenströmung hat keinen Einfluss mehr auf das bodennahe Strömungsfeld, das entsprechend sensibel auf Hindernisse reagiert. Tagsüber sind die Verhältnisse weniger stabil.

Bioklima: Beschreibt die direkten und indirekten Einflüsse von Wetter, Witterung und Klima (= atmosphärische Umgebungsbedingungen) auf die lebenden Organismen in den verschiedenen Landschaftsteilen, insbesondere auf den Menschen (Humanbioklima).

Flurwind: Thermisch bedingte, relativ schwache Ausgleichsströmung, die durch horizontale Temperatur- und Druckunterschiede zwischen vegetationsgeprägten Freiflächen im Umland und (dicht) bebauten Gebieten entsteht. Flurwinde strömen vor allem in den Abend- und Nachtstunden schubweise in Richtung der Überwärmungsbereiche (meist Innenstadt oder Stadtteilzentrum).

Grünfläche: Als „Grünfläche“ werden in dieser Arbeit unabhängig von ihrer jeweiligen Nutzung diejenigen Flächen bezeichnet, die sich durch einen geringen Versiegelungsgrad von maximal ca. 25 % auszeichnen. Neben Parkanlagen, Kleingärten, Friedhöfen und Sportanlagen umfasst dieser Begriff damit auch landwirtschaftliche Nutzflächen sowie Forsten und Wälder.

Kaltluft: Luftmasse, die im Vergleich zu ihrer Umgebung bzw. zur Obergrenze der entsprechenden Bodeninversion eine geringere Temperatur aufweist und sich als Ergebnis des nächtlichen Abkühlungsprozesses der bodennahen Atmosphäre ergibt. Der ausstrahlungsbedingte Abkühlungsprozess der bodennahen Luft ist umso stärker, je geringer die Wärmekapazität des Untergrundes ist, und über Wiesen, Acker- und Brachflächen am höchsten. Konkrete Festlegungen über die Mindesttemperaturdifferenz zwischen Kaltluft und Umgebung oder etwa die Mindestgröße des Kaltluftvolumens, die das Phänomen quantitativ charakterisieren, gibt es bisher nicht (VDI 2003).

Kaltlufteinwirkbereich: Wirkungsbereich der lokal entstehenden Strömungssysteme innerhalb der Bebauung. Gekennzeichnet sind Siedlungs- und Verkehrsflächen, die von einem überdurchschnittlich hohen → *Kaltluftvolumenstrom* durchflossen werden oder bodennahe Windgeschwindigkeiten von mindestens 0,1 m/s aufweisen.

Kaltluftleitbahnen: Kaltluftleitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete (→ *Ausgleichsräume*) und Belastungsbereiche (→ *Wirkungsräume*) miteinander und sind mit ihren hohen → *Kaltluftvolumenströmen* elementarer Bestandteil des Luftaustausches. Sie sind in ihrer Breite räumlich begrenzt, mindestens jedoch 50 m breit (Mayer et al. 1994) und zum belasteten Siedlungsraum ausgerichtet.

Kaltluftvolumenstrom: Vereinfacht ausgedrückt das Produkt der Fließgeschwindigkeit der → *Kaltluft*, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite; Einheit m³/s). Der Kaltluftvolumenstrom beschreibt somit diejenige Menge an → *Kaltluft*, die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer → *Kaltluftleitbahn* fließt. Der in dieser Arbeit modellierte Kaltluftvolumenstrom bezieht sich auf einen 1 m breiten Querschnitt und repräsentiert damit streng genommen eine Kaltluftvolumenstromdichte (Einheit m³/(s*m). Zur Vereinfachung wurde in diesem Bericht jedoch auch für die Kaltluftvolumenstromdichte der Begriff „Kaltluftvolumenstrom" verwendet. Anders als das → *Strömungsfeld* berücksichtigt der Kaltluftvolumenstrom auch Fließbewegungen oberhalb der bodennahen Schicht.

Klimaanalysekarte: Analytische Darstellung der Klimaauswirkungen und Effekte in der Nacht sowie am Tag im Stadtgebiet und dem näheren Umland (Kaltluftprozessgeschehen, Überwärmung der Siedlungsgebiete).

NEWA (New European Windatlas)**:** Im Neuen Europäischen Windatlas wurden mithilfe eines Wettermodells die Windverhältnisse der zurückliegenden 30 Jahre über ganz Europa mit einer Auflösung von drei Kilometern nachsimuliert. Der Atlas liefert für jeden Punkt in der EU Informationen über das langjährige Windklima. Er stellt unter anderem interaktive Karten, Zeitreihen sowie Statistiken von Windgeschwindigkeit und anderen windenergierelevanten Parametern in verschiedenen Höhen bereit.

PET (Physiological Equivalent Temperature / Physiologisch äquivalente Temperatur)**:** Humanbioklimatischer Index zur Kennzeichnung der Wärmebelastung des Menschen, der Aussagen zur Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombiniert und aus einem Wärmehaushaltsmodell abgeleitet wird.

Planungshinweiskarte: Bewertung der bioklimatischen Belastung in Siedlungsflächen im Stadtgebiet (→ *Wirkungsräume*) sowie der Bedeutung von Grünflächen als → *Ausgleichsräume* in getrennten Karten für die Tag- und die Nachtsituation inklusive der Ableitung von allgemeinen Planungshinweisen.

RCP-Szenarien (Representative Concentration Pathway)**:** Szenarien für die Entwicklung der Konzentration von klimarelevanten Treibhausgasen in der Atmosphäre. Die RCP-Szenarien lösen im fünften Sachstandsbericht des „Weltklimarats" der Vereinten Nationen (IPCC) die bis dahin genutzten, auf sozio-ökonomischen Faktoren beruhenden SRES-Szenarien ab. Die Zahl in der Bezeichnung RCP 2.6 („Klimaschutz-Szenario"), RCP 4.5 bzw. RCP 8.5 („Weiter wie bisher-Szenario") gibt den zusätzlichen Strahlungsantrieb in W/m² bis zum Jahr 2100 im Vergleich zum vorindustriellen Stand Mitte des 19. Jahrhunderts an.

Städtische Wärmeinsel (Urban Heat Island)**:** Städte weisen im Vergleich zum weitgehend natürlichen, unbebauten Umland aufgrund des anthropogenen Einflusses (u.a. hoher Versiegelungs- und geringer Vegetationsgrad, Beeinträchtigung der Strömung durch höhere Rauigkeit, Emissionen durch Verkehr, Industrie und Haushalt) ein modifiziertes Klima auf, das im Sommer zu höheren Temperaturen und bioklimatischen Belastungen führt. Das Phänomen der Überwärmung kommt vor allem nachts zum Tragen und wird als Städtische Wärmeinsel bezeichnet.

Strahlungswetterlage → *Autochthone Wetterlage*

Strömungsfeld: Für den Analysezeitpunkt 04:00 Uhr morgens simulierte flächendeckende Angabe zur Geschwindigkeit und Richtung der Winde in 2 m über Grund während einer → *autochthonen* W*etterlage*.

Synoptischer Wind: Großräumige, in der Regel über längere Zeiträume anhaltende Winde (z.B. Rheintalwind), die das Klima einer Region prägen. Synoptische Winde entstehen nur bei bestimmten Wetterlagen und grenzen sich von tagesperiodischen Winden ab, welche sich aller 24 Stunden mehr oder weniger intensiv wiederholen (z.B. Flurwinde).

Wirkungsraum: Bebauter oder zur Bebauung vorgesehener Raum (Wohn- und Gewerbeflächen), in dem eine bioklimatische Belastung auftreten kann.

z-Transformation: Umrechnung zur Standardisierung einer Variablen, sodass der arithmetische Mittelwert der transformierten Variable den Wert Null und ihre Standardabweichung den Wert Eins annimmt. Dies wird erreicht, indem von jedem Ausgangswert der Variablen das arithmetische Gebietsmittel abgezogen und anschließend durch die Standardabweichung aller Werte geteilt wird. Dadurch nehmen Abweichungen unterhalb des Gebietsmittels negative und Abweichungen oberhalb des Gebietsmittels positive Werte an, die in Vielfachen der Standardabweichung vorliegen. Die Form der Verteilung bleibt dabei unverändert.

Zusammenfassung

Der Klimawandel stellt Städte in Deutschland zunehmend vor große Herausforderungen. Besonders Hitzebelastung und Starkregenereignisse nehmen in Häufigkeit und Intensität zu. Die Stadt Ludwigshafen am Rhein ist aufgrund ihrer geographischen Lage, ihrer dichten Bebauung und des hohen Versiegelungsgrads – auch infolge industrieller Nutzung – in besonderem Maße betroffen. Vor diesem Hintergrund entstand das Klimaanpassungskonzept Ludwigshafen im Rahmen des Projekts „Fit for (climate) future“, gefördert durch das Bundesumweltministerium im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS).

Ziele und Methodik

Ziel des Konzepts ist es, die Resilienz der Stadt Ludwigshafen gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels – insbesondere zunehmender Hitze – zu stärken. Dazu wurden in einem dreistufigen Vorgehen numerische Klimasimulationen durchgeführt, analysiert und planerisch verwertet:

1. **Analysephase**: Modellierung des Stadtklimas für drei Zeiträume – Vergangenheit (2000), Ist-Zustand (2021/22) und Zukunft (2045) unter verschiedenen Szenarien (mit/ohne Stadtentwicklung). Der Vergleich der heutigen Klimasituation mit der Modellierung für das Jahr 2000 ermöglicht Aussagen zur Wirksamkeit früherer Planungsentscheidungen (z. B. offene Bauweise, Begrünung).
2. **Synthesephase**: Ableitung und Visualisierung klimatischer Parameter (Temperatur, Kaltluftvolumenstrom, PET) in Form detaillierter Kartenwerke.
3. **Strategiephase**: Entwicklung der Planungshinweiskarte sowie eines umfassenden Maßnahmenkatalogs.

Ergebnisse der Stadtklimamodellierung: Grundlage der Stadtklimabetrachtung

Die **Ergebniskarten** zeigen auf Basis von numerischen Modellrechnungen detailliert die räumliche Verteilung klimatischer Einflussgrößen. Hierbei handelt es sich um:

- Die nächtliche Kaltluftströmung und Kaltluftproduktion (04:00 Uhr) unter autochthonen Wetterlagen.
- Die bodennahe Temperaturverteilung zur Erkennung urbaner Wärmeinseln (04:00/14:00 Uhr).
- Die physiologisch äquivalente Temperatur (PET) zur Erfassung der thermischen Belastung tagsüber (14:00 Uhr).

Diese Karten liegen jeweils für den Ist-Zustand sowie die Zukunftsszenarien vor und bieten so eine Prognosebasis für hitzebedingte Belastungsentwicklungen. Sie machen insbesondere deutlich, welche Siedlungsbereiche bereits heute stark überhitzt sind und wo Verschärfungen drohen – vor allem in verdichteten Stadtteilen, auf versiegelten Gewerbeflächen und in Bereichen mit geringer Durchlüftung.

In der **Klimaanalysekarte** werden die Modellergebnisse der Nachtsituation aggregiert innerhalb einer Karte dargestellt. Hierbei wird für die Siedlungslagen der nächtliche Wärmeinseleffekt und für den Grünraum das Kaltluftprozessgeschehen abgebildet. Über die Ausweisung von Kaltluftleitbahnen, Ventilationsbahnen sowie Kaltlufteinwirkbereichen werden beide Räume miteinander in Beziehung gesetzt.

Bewertungskarten: Ableitung von Handlungsprioritäten

Die **Bewertungskarten Stadtklima** gehen über die reine Analyse hinaus und bewerten die Flächen hinsichtlich ihrer bioklimatischen Belastung und Bedeutung:

- **Wirkungsräume** (z. B. Wohngebiete): bewertet wird die thermische Belastung für die Bevölkerung – nachts und tagsüber.
- **Ausgleichsräume** (Grünflächen, Agrarflächen): bewertet wird deren Bedeutung für Kaltluftbildung, Durchlüftung und thermische Entlastung.

Es entsteht eine differenzierte Bewertung der Flächen, die insbesondere für die Bauleitplanung und städtebauliche Entwicklung nutzbar ist. Die Bewertungskarten zeigen u. a., welche städtischen Siedlungsflächen eine hohe bis sehr hohe thermische Belastung aufweisen. Gleichzeitig werden wertvolle Ausgleichsräume identifiziert, die besonders schützenswert sind.

Planungshinweiskarte (PHK): Zentrales Steuerungsinstrument

Die **Planungshinweiskarte** ist das zentrale Ergebnis der Strategiephase. Sie kombiniert die Erkenntnisse der Klimaanalyse- und Bewertungskarten mit konkreten planerischen Empfehlungen. Für jede Teilfläche des Stadtgebiets wird dargestellt:

- Welche stadtklimatische Belastung besteht?
- Welche Bedeutung hat eine Fläche als Ausgleichsraum?
- Welche Handlungsprioritäten ergeben sich (Schutz, Reduzierung der Belastung, Entwicklungsoptionen)?

Die Karte dient als Werkzeug für eine klimawandelgerechte Flächennutzungs- und Bebauungsplanung und fließt direkt in die Fortschreibung des Flächennutzungsplans der Stadt Ludwigshafen ein. Beispielhafte Anwendungen sind Empfehlungen für Bebauungsgrenzen, Erhalt von Grünzügen, Maßnahmen zur Durchlüftung (Freihaltung von Kaltluftleitbahnen) sowie zur Begrünung.

Zudem wurden auf Basis der PHK-Vertiefungskarten für spezifische Stadtentwicklungsgebiete (z. B. Rheingönheim, Maudach, Oggersheim) erstellt, die gezielte Hinweise für eine klimasensitive Planung enthalten.

Ergänzend zur PHK entstanden:

- **Industriekarte**: erstmals separate Betrachtung industrieller Großflächen (v. a. BASF) im Stadtklimakontext.
- **Risikokarten für die menschliche Gesundheit**: Identifikation besonders gefährdeter Bevölkerungsgruppen (Kleinkinder, Hochaltrige) und Einrichtungen (Kitas, Pflegeheime, Krankenhäuser, Spielplätze) auf Basis bioklimatischer Belastung.

Diese Karten bieten eine Entscheidungsgrundlage für spezifische Maßnahmen wie Hitzeschutz in sozialen Einrichtungen oder betriebliches Anpassungsmanagement in der Industrie.

Maßnahmenkatalog: Umsetzungsempfehlungen

Es wurde ein umfassender **Maßnahmenkatalog** erarbeitet, gegliedert in:

- Laufende Maßnahmen und Pilotprojekte
- Strategisch priorisierte Schlüsselmaßnahmen
- Raumbezogene Handlungsempfehlungen (z. B. Entsiegelung, Fassadenbegrünung, Durchlüftungskorridore)

Diese Maßnahmen zielen auf kurzfristige Entlastung (z. B. durch Begrünung) ebenso wie auf langfristige strukturelle Veränderungen (z. B. klimaangepasste Quartiersentwicklung). Die Maßnahmen wurden dabei aus einem partizipativen Prozess mit Verwaltung, Politik, Bevölkerung und Unternehmen abgeleitet.

Schlussfolgerung und Ausblick

Das Klimaanpassungskonzept Ludwigshafen stellt ein umfassendes, datengestütztes und praxisorientiertes Instrumentarium dar, das gezielt auf die lokalen Herausforderungen des Klimawandels eingeht. Durch die Integration hochaufgelöster Klimamodelle, die Berücksichtigung sozialer und wirtschaftlicher Aspekte sowie die differenzierte räumliche Bewertung bietet es eine belastbare Grundlage für eine zukunftsfähige Stadt- und Flächenentwicklung.

Zentrales Element ist die Planungshinweiskarte, die als verbindendes Werkzeug zwischen Klimawissenschaft, Verwaltung und Stadtplanung dient. Sie ermöglicht eine systematische Berücksichtigung klimatischer Belastungen und Entlastungspotenziale in Entscheidungsprozessen – etwa bei Bebauungsplänen, Entwicklungsstrategien oder dem Schutz stadtklimatisch relevanter Freiflächen.

Durch die enge Verknüpfung mit bestehenden Planungsinstrumenten, wie dem Flächennutzungsplan, und die Ergänzung durch themenspezifische Karten (z. B. für Industrie und Gesundheit) wird eine integrierte Klimavorsorge möglich. Der begleitende Maßnahmenkatalog liefert praxisnahe Ansätze – von kurzfristigen Interventionen bis hin zu langfristigen strukturellen Veränderungen – und unterstützt die Umsetzung in verschiedenen Verwaltungs- und Handlungsfeldern.

Ergänzt durch das separat erarbeitete und vom Land Rheinland-Pfalz geförderte Vorsorgekonzept für Starkregen und Hochwasser bildet das Klimaanpassungskonzept eine belastbare fachliche und planerische Grundlage, um die Resilienz der Stadt Ludwigshafen gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels wirksam zu stärken.

1. Einleitung und Hintergrund

Das Jahr 2024 war das wärmste Jahr seit Beginn der Aufzeichnungen und das erste Jahr, in dem die globale Jahres-Durchschnittstemperatur 1,5 Grad Celsius über dem vorindustriellen Niveau lag. Das zeigt der Bericht „Global Climate Highlights 2024“ des Erdbeobachtungssystems Copernicus der EU (Copernicus & WMO 2025). Die Daten zeigen außerdem, dass sich Europa als Kontinent am schnellsten aller Erdteile erwärmt – seit den 1980er Jahren ist die Erwärmung doppelt so schnell erfolgt wie der globale Durschnitt. Gleichzeitig ist zu beobachten, dass die Extremwetterereignisse in Häufigkeit und in ihrer Stärke zunehmen. Eine aufgeheizte Atmosphäre nimmt mehr Feuchtigkeit auf, die sich in der Folge u.a. als Starkregen niederschlägt Im Jahr 2024 war der Sommer insbesondere im kontinentalen Osten Europas von starker Hitze und Trockenheit geprägt, wohingegen der Westen Europas häufig mit starken Regenereignissen zu kämpfen hatte. Durch seine Lage in Mitteleuropa ist Deutschland mit beiden Extremen konfrontiert, was sich auch in den Daten der letzten Jahrzehnte widerspiegelt. In den meisten Regionen Deutschlands wurde 2024 als wärmstes und gleichzeitig als eines der feuchtesten Jahre gemessen.

Insbesondere in Städten, in denen sich die Wärme staut, stellen diese Extreme aus Hitze und Feuchtigkeit ein großes Risiko dar, gerade als Belastung für den menschlichen Körper. Die Politik, die Bevölkerung, aber auch die Wirtschaft muss sich auf die neuen „Normalitäten“ einstellen, um entsprechende Vorsorge zu betreiben und dadurch größere Folgeschäden und –kosten zu verringern. Diese (vorsorgende) Anpassung an die bereits entstandenen Auswirkungen durch den Klimawandel ist die zentrale Aufgabe der Klimafolgenanpassung.

Im Sommer 2024 wurde daher das Klimaanpassungsgesetz (KAnG) im Deutschen Bundestag verabschiedet, was in Zukunft Städte dazu verpflichten wird, eigene Klimaanpassungsstrategien zu entwickeln. Die in diesem Bericht vorgestellte Stadtklimaanalyse und das darauf aufbauende Klimaanpassungskonzept basieren auf den Ergebnissen des Projekts „Fit für (climate) future - Prognose Stadtklimatischer Auswirkungen des Klimawandels auf Siedlung und Industrie in Ludwigshafen am Rhein“. Dieses wurde in der Förderrichtlinie Deutsche Anpassungsstrategie an die Klimawandelfolgen (DAS) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) bereits Ende 2021 beantragt und im Frühjahr 2023 bewilligt. Es wird im Förderschwerpunkt 3 „Kommunale Leuchtturmvorhaben und regionale Kooperationen“ als Stadtklimaanalyse mit darauf aufbauendem Klimaanpassungskonzept von April 2023 bis Juni 2025 gefördert.

In ersten projektbezogenen Stadtklimaanalysen in den 1990er Jahren und in der intensiven stadtübergreifenden Klimaanalyse im Jahr 2000 wurden städtische Überwärmungen in bestimmten Bereichen – sogenannte Hotspots - beobachtet und erste Maßnahmen für den damaligen Flächennutzungsplan abgeleitet. Für die derzeit in Überarbeitung befindliche Flächennutzungsplanung bilden die Ergebnisse aus dem vorliegenden Projekt „Fit for climate future“ wichtige Grundlagen und werden mit konkreten Planungshinweisen eine nachhaltige Stadtplanung und -entwicklung unterstützen. Durch eine klimatische Rückschau ins Jahr 2000 und den Vergleich mit der heutigen Situation sollen Aussagen über die Wirksamkeit von damaligen Begleit-Maßnahmen in Bau von neuen Wohn- oder Gewerbeflächen (wie offene Bauweise, Dach- oder Fassadenbegrünungen) getroffen werden. Bei bereits früher durchgeführten Klimaanalysen in Ludwigshafen und daraus abgeleiteten Maßnahmenplanungen basierten die Vorgaben stets auf der Betrachtung der IST-Situation. Bei der vorliegenden Analyse im Förderprojekt wurde durch die Klimasimulation und Modellierung von Zukunftsszenarien auch der Prognosehorizont in Hinblick auf zukünftige Veränderungen mit einbezogen. Mit der erstmaligen Betrachtung von klimatischen Zukunftsszenarien in den Zeitraum 2045 wird im vorliegenden Projekt auch die prognostizierte weitere Erwärmung bereits heute vorsorgend in die aktuelle Stadtplanung einbezogen.

Als historisch gewachsene Stadt mit starker industrieller Prägung, wie dem BASF-Stammwerk mit einer Fläche von mehr als 10 km² als eines der größten zusammenhängenden Chemieareale der Welt, bedarf es einer besonderen Betrachtung und Integration des Bereichs Industrie für die Klimafolgenanpassung in Ludwigshafen. Der hohe Anteil an Industrie- und Gewerbeflächen Ludwigshafen trägt dazu bei (s.a. Umweltbericht 2019), dass Ludwigshafen als die am stärksten versiegelte Stadt Deutschlands gilt (DUH-Hitzecheck 2024 und DGV 2023). Besonders die in Ludwigshafen ansässigen Chemie- und Industriebetriebe, die mit Gefahrstoffen o.ä. arbeiten, erfordern aus dem Wasser- und Bodenschutz heraus großflächige Versiegelungen. Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass sich im Stadtgebiet Ludwigshafens der Versiegelungsgrad in den Wohnsiedlungsbereichen nicht wesentlich anders darstellt als in anderen Städten (s.a. Umweltbericht 2019).

Durch die Zusammenarbeit im Projekt „Fit for (climate) future“ mit der BASF SE konnten die großen innerstädtischen Industrieflächen erstmals in der dezidierten Klimaanalyse mit aufgenommen und in einer speziellen Industriekarte für die Nutzung durch Industrie- und Gewerbebetriebe aufgearbeitet werden.

Darüber hinaus erfolgte durch das Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen im Themenfeld zur menschlichen Gesundheit eine Betrachtung der besonders durch städtische Hitze betroffenen vulnerablen Gruppen (wie Hochaltrige oder Kleinkinder) und sensiblen Bereiche (Pflegeheime, Kitas, Grundschulen etc.).

Das Projekt „Fit für (climate) future - Prognose Stadtklimatischer Auswirkungen des Klimawandels auf Siedlung und Industrie in Ludwigshafen am Rhein“ schreibt damit die Analyse aus den letzten Jahrzehnten fort und geht deutlich darüber hinaus. Aufbauend auf der dezidierten Analyse werden Handlungsempfehlungen für übergreifende als auch spezifische lokal verortete Maßnahmen zur städtischen Klimaanapassung – insbesondere in Bezug auf städtische Überwärmung - gegeben.

Das vorliegende Klimaanpassungskonzept hat die Zielsetzung, Strategien und Maßnahmen zur Anpassung an bereits beobachtete und zukünftig erwartete Klimaveränderungen in Ludwigshafen aufzuzeigen, um so die kommunale Widerstandsfähigkeit gegenüber den möglichen Klimafolgen zu erhöhen. Dadurch sollen die guten Lebens- und Arbeitsbedingungen sowie letztlich die Wettbewerbsfähigkeit der Stadt langfristig gesichert und ausgebaut werden. Um dies zu erreichen, formuliert das Konzept Lösungswege, wie die erwarteten Klimaveränderungen künftig verstärkt in der Stadtverwaltung und -entwicklung berücksichtigt werden können.

Entscheidend für eine kontinuierliche Verbesserung der Resilienz ist, die hier erarbeiteten Erkenntnisse und Maßnahmen sowohl im Rahmen der kommunalen Klimaanpassungsstrategie in Planungen und Entscheidungen der Stadtverwaltung als auch in Anpassungsstrategien ansässiger Betriebe zu berücksichtigen.

Parallel zum vorliegenden Bundesförderprojekt wird mit Mitteln des Landes Rheinland-Pfalz ein Starkregen- und Hochwasservorsorgekonzept für Ludwigshafen erarbeitet, auf das zur thematischen Ergänzung der Ergebnisse für die Klimaanpassung verwiesen wird.

Projektablauf

Der Weg zum Klimaanpassungskonzept im Projekt „Fit for (climate) future“ umfasst ein 3-stufiges Vorgehen (siehe Abbildung). In der Analysephase erfolgen die numerischen Modellierungen zum Ludwigshafener Stadtklima für die Vergangenheit (2000 als Jahr der letzten Klimaanalyse), die Bestandssituation (heute) und für zwei Zukunftsszenarien für das Jahr 2045. Die Modellergebnisse werden in der Synthesephase unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus der dem Projekt vorgeschalteten Messkampagne von 2021 kartographisch zusammengefasst. So sollen die Auswirkungen des Klimawandels auf das Stadtklima anhand von einzelnen Klimaparametern (wie z.B. der gefühlten Temperatur unter Hitzebedingungen und des nächtlichen Kaltluftprozessgeschehens) berechnet und abgeschätzt werden. Als Zwischenprodukt entstehen die Klimaanalysekarten, die insbesondere den nächtlichen Wärmeinseleffekt von einzelnen Flächen abbilden. Dieser zeigt, dass

z.B. eine versiegelte Fläche über Tag mehr Wärme speichert und sie in der Nacht nur langsam abgibt als z.B. eine begrünte Fläche.

In der letzten Phase, der Strategiephase, stellt die Planungshinweiskarte (PHK) mit Maßnahmenkatalog und GIS-basiertem Stadtklimamanagementsystem das zentrale Ergebnis dar. In der Planungshinweiskarte werden alle räumlichen Bewertungen, planerischen Hinweise und Maßnahmenvorschläge zusammengeführt und mit entsprechenden Zieldefinitionen verknüpft. Außerdem entstehen in dieser Phase die spezielle thematische Industriekarte sowie die Risikokarten zur vulnerablen Bevölkerung und besonders sensiblen Bereichen. Die projektbegleitend absolvierten Beteiligungsschritte aus internen und externen Informations- und Dialogveranstaltungen ergeben ebenfalls wichtige Hinweise, die in den abschließenden Maßnahmenkatalog einfließen. Dieser Maßnahmenkatalog enthält ausgewählte Schlüsselmaßnahmen, die der Zielerreichung dienen sollen. Die Schlüsselmaßnahmen werden ergänzt durch allgemeine raumbezogene Handlungsempfehlungen, durch deren kontinuierliche Umsetzung schrittweise eine klimawandelgerechte Stadt entsteht. All diese Schritte münden in das abschließende Klimaanpassungskonzept. Dieses umfasst ebenfalls alle zeitnah anstehenden oder teilweise bereits laufenden Pilotmaßnahmen, die Möglichkeiten bieten, (möglichst naturbasierte) Bausteine einer klimawandelgerechten Stadt- und Freiraumgestaltung in Ludwigshafen zu integrieren.

Neben der Gesamtstrategie und dem Maßnahmenkatalog stehen dem Konzept ergänzende Strategien zur Seite, die seitens der Stadt Ludwigshafen zur langfristigen Verstetigung, zur weiteren Akteursbeteiligung und Kommunikation sowie der Erfolgskontrolle (Controlling) des Klimaanpassungskonzeptes verfolgt werden sollen. Das Konzept wird dem Stadtrat am Projektende zum Beschluss vorgelegt.

In den folgenden Kapiteln werden die einzelnen Schritte zur Konzepterstellung mitsamt ihren Ergebnissen ausführlich dargestellt.

Durch das Projekt und Klimaanpassungskonzept „Fit for (climate) future“ werden die folgenden Fragen beantwortet:

- Welche Teilräume lassen sich hinsichtlich der thermischen Belastung/Leistung aktuell methodisch abgrenzen?
- Wie ist ihre Wirkungsbeziehung/Wechselwirkung?
- Wie haben sich die Baugebiete der vergangenen zwei Jahrzehnte auf die Klimasituation ausgewirkt, welche planerischen Vorgaben waren aus klimatologischer Sicht wirkungsvoll und können auch für zukünftige Entwicklungen angewandt werden?
- Welche Vulnerabilität besitzen die einzelnen Räume?
- Welche Maßnahmenkonzepte sind hinsichtlich der weiteren Temperaturerhöhungen auf der Ebene der Planung wie auch der Maßnahmenumsetzung notwendig?
- Wie können die Ergebnisse in die Fortschreibung des Flächennutzungsplanes und der Bebauungspläne einfließen?
- Welche Handlungsoptionen bieten sich Unternehmen bei Planung und Weiterentwicklung von Werksarealen im Hinblick auf optimale unternehmerische Anpassung?
- Wie können die verschiedenen Akteure der Stadtgesellschaft Verwaltung, Politik und Bürgerschaft Klimakompetenz erlangen und in die Entscheidungsprozesse eingebunden werden?

Das bereits oben genannte parallel erarbeitete Starkregen- und Hochwasservorsorgekonzept soll gemeinsam mit dem hier vorliegenden Klimaanpassungskonzept die Bemühungen zur Klimavorsorge der Stadt Ludwigshafen bündeln und strategisch untermauern.

2. Gesamtstrategie

2.1 LEITBILD UND ZIELE

Es ist laut aktuellen weltweiten Studien sowie der hier vorliegenden lokalen Analyse davon auszugehen, dass sich insbesondere die Hitzebelastung weiter verschärfen wird (Copernicus Climate Change Service, 2025). Alle Bereiche sind betroffen und es kann dieser Erwärmung nur durch eine sorgfältig geplante Anpassung an die bereits heute eingetretenen Klimaänderungen wirkungsvoll begegnet werden. Studien zeigen, dass die Klimafolgekosten durch Schäden erheblich höher ausfallen werden als die Kosten, um uns jetzt entsprechend auf die veränderten Bedingungen einzustellen. In einer Berechnung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) von 2023 summieren sich die zu erwartenden volkswirtschaftlichen Folgekosten je nach unterstelltem Klimaszenario für den Zeitraum bis zum Jahr 2050 auf mindestens 250 bis 900 Milliarden Euro. Der Klimawandel wird Kosten in Milliardenhöhe verursachen. Hinzu kommen weitere sozioökonomische und soziale Folgen wie Todesfälle sowie ökologische Schäden, wozu etwa der Verlust an Biodiversität zählt (BMWK 2023).

Da die Klimaanpassung eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe darstellt und alle Bereiche betroffen sind, ist es auch so wichtig, sich gemeinsam auf den Weg zu machen. Das hier vorgestellte Bundesförderprojekt „Fit for (climate) future“ beschäftigt sich daher mit einer dezidierten Stadtklimaanalyse und einem darauf aufbauenden Klimaanpassungskonzept. Darin wird neben der Klimadatennutzung in der Flächennutzungsplanung, Stadtplanung und Gesundheitsvorsorge ebenfalls das Thema für Industrie- und Gewerbeflächen adressiert.

In Ludwigshafen werden mit dem Rückbau der massiven Infrastruktur der Hochstraße Nord und des Rathauses im Innenstadtbereich große infrastrukturelle Umbauprojekte das künftige Stadtbild neu prägen. Daraus ergibt sich die Chance, positive Veränderungen anzustoßen. In diesem thermisch mit am stärksten betroffenem Bereich entsteht die einmalige Chance, große Flächenpotenziale innerhalb eines Stadtkerns bestmöglich zur Reduktion der thermischen Belastung und der Erhöhung der Lebensqualität in Ludwigshafen zu nutzen. Hierfür braucht es räumlich konkretisierte Analysen der stadtklimatischen Situation für die Planung. Durch frühzeitige Berücksichtigung der Klimaveränderungen in der räumlichen Planung und im Bau und der damit verbundenen Einleitung von Maßnahmen, etwa zur Begrenzung von Versiegelungen und zusätzlichen Begrünungen soll die Lebensqualität gesichert werden.

Für Ludwigshafen als traditionell gewachsene Industriestadt spielen Unternehmen vor Ort von jeher eine wichtige Rolle. Die differenzierte Analyse der Klimawirkung von kommunalen Flächen und großen Werksgeländen und ihrer Wechselwirkung wird hier erstmals mit betrachtet (s.o.). Neben Erkenntnissen für die Flächenplanung im städtischen Raum werden Optionen zur sinnvollen Nutzung dieser Daten zur Klimaanpassung von Unternehmensstandorten und Gewerbe gegeben.

Insgesamt sind es daher die übergeordneten Ziele des vorliegenden Konzepts, die Widerstandsfähigkeit der Stadt und ansässiger Unternehmen gegenüber Klimafolgen (hier insbesondere gegen Hitze, sowie im parallel erstellten Konzept gegen Starkregen und Hochwasser) zu erhöhen, als auch die Standortqualität Ludwigshafens für die Lebensgestaltung der städtischen Bevölkerung und Produktion heute und langfristig zu sichern. Ludwigshafen soll auch weiterhin als guter Lebens- und Arbeitsstandort entwickelt werden.

Das vorliegende Konzept verfolgt das übergeordnete Ziel, die Widerstandsfähigkeit der Stadt Ludwigshafen und der ansässigen Unternehmen gegenüber den Folgen des Klimawandels zu erhöhen mit einem Fokus auf der zunehmenden Hitzebelastung. Die für die Stadtentwicklung ebenso wichtige Anpassung an Starkregen und

Hochwassern wird in einem parallelen Konzept behandelt. Darüber hinaus soll die Standortqualität Ludwigshafens für die Lebensgestaltung der städtischen Bevölkerung und die Arbeits- und Produktionsbedingungen der Unternehmen sowohl heute als auch langfristig gesichert werden. Ludwigshafen wird damit weiterhin als attraktiver Lebens- und Arbeitsstandort entwickelt.

Strategische Kernziele sowie Synergien mit vorhandenen Plänen und Zielen

Als erste Kommune ist Ludwigshafen 2023 dem neu gegründeten Kommunalen Klimapakt Rheinland-Pfalz beigetreten (KKP), womit sie sich verpflichtet hat, ihr Engagement im Klimaschutz und bei der Anpassung an die Klimawandelfolgen zu forcieren und sich zu den Klimaschutzzielen des Landes zu bekennen. Im Gegenzug fördert und begleitet die Landesregierung die Kommune bei der Umsetzung ihrer Maßnahmen mit konkreten und passgenauen Angeboten und Leistungen. Der KKP folgt dem Verständnis, dass Klimaschutz und Anpassung an die Klimawandelfolgen sowohl auf Landesebene als auch auf kommunaler Ebene Querschnittsaufgaben sind. Diesem Verständnis und der eindeutigen Verpflichtung zu mehr Klimaschutz und Klimaanpassung folgend, versteht sich das vorliegende übergreifende Klimaanpassungskonzept gemeinsam mit der Integration der Erkenntnisse vorliegender oder parallellaufender Planungen als Leitstrategie für die künftige städtische Ausrichtung.

In den letzten Jahren hat die Stadt Ludwigshafen bereits verschiedene Konzepte erarbeitet, die der Anpassung an die Folgen des Klimawandels inhaltlich ebenfalls Rechnung tragen und positive Anknüpfungspunkte zur Klimaanpassung aufweisen. Weitere befinden sich derzeit in Fortschreibung oder Erstellung. Einige sind hier aufgeführt:

- Klimaschutzkonzept (2011, https://www.ifeu.de/publikation/klimaschutzkonzept-fuer-die-stadt-ludwigshafen-am-rhein-1)
- Masterplan „Nachhaltige Mobilität für die Stadt“ - Green City Plan (2018, https://ludwigshafen.de/fileadmin/ludwigshafen/standort_mit_zukunft/Mobilit%C3%A4t/E-Mobilit%C3%A4t/masterplan_green_city.pdf)
- Fortschreibung des Flächennutzungsplans / Landschaftsplan (erste Beteiligungsphase 2021, derzeit laufend, https://ludwigshafen-diskutiert.de/flaechennutzungsplan)
- Integriertes Stadtentwicklungskonzept (ISEK) Innenstadt (2022), https://ludwigshafen-diskutiert.de/group/6)
- Wärmeplanung (derzeit laufend, 2023-2025, https://ludwigshafen-diskutiert.de/group/18)
- Starkregen- und Hochwasservorsorgekonzept (derzeit laufend, 2023-2025, https://ludwigshafen-diskutiert.de/group/16)
- Planungskonzept neues Stadtquartier „Verbundene Stadtlandschaft – Grüne Membranen als Weg zur nachhaltigen Stadt“ (ausgewähltes Zielkonzept von Adept im Werkstattverfahren 2024/2025: https://ludwigshafen-diskutiert.de/group/19)
- etc.

Insbesondere im Integrierten Stadtentwicklungskonzept (ISEK) Innenstadt wurden 2022 im begleitenden Beteiligungsprozess bereits zahlreiche Maßnahmen für die besonders von Überwärmung betroffenen Innenstadtbereiche analysiert und erarbeitet, die explizit die Klimaanpassung betreffen. So etwa die Aufwertung und Begrünung öffentlicher Plätze, die Vernetzung von Freiräumen, die Schaffung und Aufwertung von Spielangeboten, gebäudebezogene Begrünungsmaßnahmen, Aufwertung der Innenhöfe. Auch Elemente der doppelten oder besser dreifachen Innenentwicklung sind enthalten, wie die bauliche Nachverdichtung und Nutzung von Flächen als multifunktionale Räume. Verschiedene hieraus entwickelte Maßnahmen befinden sich in Umsetzung.

Im ersten Beteiligungsverfahren im Jahr 2021 zur Fortschreibung des Flächennutzungsplans zeigte sich ebenfalls, dass es viele Synergieeffekte zwischen den einzelnen Planungen und Konzepten gibt. Auch die Bevölkerung spricht sich in Beteiligungsverfahren regelmäßig für mehr Grünflächen für eine bessere und klimaangepasste Lebensqualität aus. So wurde die Flächennutzungsplanung zurückgestellt, um die Ergebnisse aus der hiesigen aktuellen Stadtklimaanalyse sinnvollerweise in die künftige Planung zu integrieren. Dies ist ein zentrales Ziel im vorliegenden Klimaanpassungskonzept.

Auch für das Zielkonzept zur Planung des neuen Stadtquartiers wurden im zugehörigen Beteiligungsprozess wichtige Erkenntnisse zur gewünschten Entwicklung aus Bürger*innensicht und Stadtpolitik erlangt und integriert sowie fachliche Hinweise aus dem Expertengremium eingebunden. Darin wurden bereits erste Ergebnisse aus dem vorliegenden Projekt „Fit for climate (future)“ eingespeist, womit sich die Inhalte des Zielkonzeptes im neuen Stadtquartier auch auf die stadtübergreifende zukünftige Stadtplanung in Teilen übertragen lässt. Wichtige Punkte sind vor allem die Vernetzung und Weiterentwicklung von bestehenden Grünstrukturen und damit eine Sicherstellung von Coolspots für die erwärmte Innenstadt sowie die klimasensitive Planung und Anordnung von Baukörpern, um eine Durchlüftung der überwärmten Bereiche weiterhin zu unterstützen (Vermeidung von Hotspots).

Eine Vielzahl von Zielen und Maßnahmen aus den sektoralen Konzepten und Strategien beschäftigte sich bereits mit einzelnen Themen einer klimasensitiven Stadtentwicklung, welche sich im hier vorliegenden übergreifenden Klimaanpassungskonzept wirksam verzahnen und weiterentwickeln lassen, wodurch wertvolle Synergieeffekte geschaffen werden können.

Aus dem Beteiligungsprozess während der Projektlaufzeit, aber auch basierend auf Auswertungen weiterer (teils genannter parallellaufender) Stadtentwicklungsverfahren, konnten Erfahrungen und Erkenntnisse für erfolgsversprechende Potenziale, aber auch für mögliche Hemmnisse gesammelt werden. Um Ludwigshafen strukturiert und planvoll als guten Lebens- und Arbeitsstandort zu erhalten und klimaresilient weiterzuentwickeln, wurden innerhalb des Projektes übergeordnete Schwerpunkte und strategische Ziele für die Klimafolgenanpassung gebildet:

- Beraten, Informieren, Fördern, Kooperieren
- Etablierung und Verstetigung der Klimafolgenanpassung in der städtischen Verwaltung
- Schutz vulnerabler Bevölkerungsgruppen vor den Folgen des Klimawandels
- Hitzeangepasste Quartiersplanung (Stadtplanung)
- Stadtgrün und urbane Natur erhalten und klimaangepasst weiterentwickeln
- Vorsorge für Starkregen und Hochwasser

Auf die einzelnen Zielstellungen wird an späterer Stelle vertieft eingegangen. Neben den strategischen Zielen gibt es außerdem diejenigen räumlichen Schwerpunkte, die sich aus der Betroffenheitsanalyse als mit besonderer Priorisierung anzugehende Bereiche ergeben. Hier handelt es sich insbesondere um Maßnahmen und Hinweise für die übergeordnete Flächennutzungsplanung und die Bauleitplanung, aber auch für die besonders betroffenen industriellen Flächen (DAS-Handlungsfeld Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung, DAS-Handlungsfeld Bauwesen, DAS-Handlungsfeld Industrie). Durch die zusätzliche Risikoanalyse für besonders von Hitze betroffenen (vulnerablen) Gruppen, wie Hochaltrige oder Kleinkinder, ergeben sich weitere Priorisierungen und spezielle Handlungsempfehlungen (DAS-Handlungsfeld Menschliche Gesundheit). Häufig sind Maßnahmen für alle genannten Schwerpunkte wirksam.

Dabei gilt es, sowohl Ziele und Maßnahmen zu benennen, die sich kurzfristig und mit begrenzten Ressourcen umsetzen lassen, als auch mittel- bis langfristige Maßnahmen, die mithilfe von zusätzlichen Fördermitteln oder aufgrund von günstigen „Gelegenheitsfenstern“ erreicht werden können (etwa ohnehin notwendige Sanierungen zum klimaresilienten Stadtumbau zu nutzen).

Die strategischen sowie die räumlichen Ziele ergeben die Grundlage für den Maßnahmenkatalog sowie die Ableitung von konkreten Pilotprojekten. Derzeit (an)laufende Maßnahmen und Projekte wurden ebenfalls in den Maßnahmenkatalog integriert.

2.2 FACHLICHE GRUNDLAGEN

Zur zielgerichteten Anwendung des Klimaanpassungskonzeptes und Ihrer Produkte ist – seinem Wesen als Fachgutachten entsprechend – ein breites fachliches Grundlagenwissen notwendig. Das Themenspektrum reicht dabei von den Zusammenhängen zwischen dem Thermischen Komfort und der Menschlichen Gesundheit (Kap. 2.2.1) im Kontext des lokalen Klimawandels (Kap. 3.1) bis hin zu stadtklimatisch relevanten meteorologisch-physikalischen Prozessen im urbanen Umfeld (Kap. 2.2.2). Zum besseren Verständnis werden im Folgenden zentrale Punkte dieses Spektrums überblicksartig skizziert. Die entsprechenden Quellenhinweise regen bei Bedarf zum Weiterlesen an und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

2.2.1 THERMISCHER KOMFORT UND MENSCHLICHE GESUNDHEIT

Die bodennahe atmosphärische Umgebung besitzt vielfältige Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen. Diese lassen sich unter folgenden Oberpunkten subsummieren:

- Wohlbefinden
- Leistungsfähigkeit
- Morbidität (Krankheitsrate) und Mortalität (Sterberate)

Den Parametern Windgeschwindigkeit, Luft- bzw. Strahlungstemperatur sowie Luftfeuchtigkeit kommen dabei eine zentrale Bedeutung zu. In diesem Zusammenhang gilt, dass sowohl ein „zu hoch“ als auch ein „zu niedrig“ in den Ausprägungen der jeweiligen Werte zu negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit führen kann. Mit Blick auf den thermischen Komfort gilt dabei beispielsweise eine Kombination aus hohen Lufttemperaturen und niedrigen Windgeschwindigkeiten als gesundheitlich belastend (Abbildung 1).

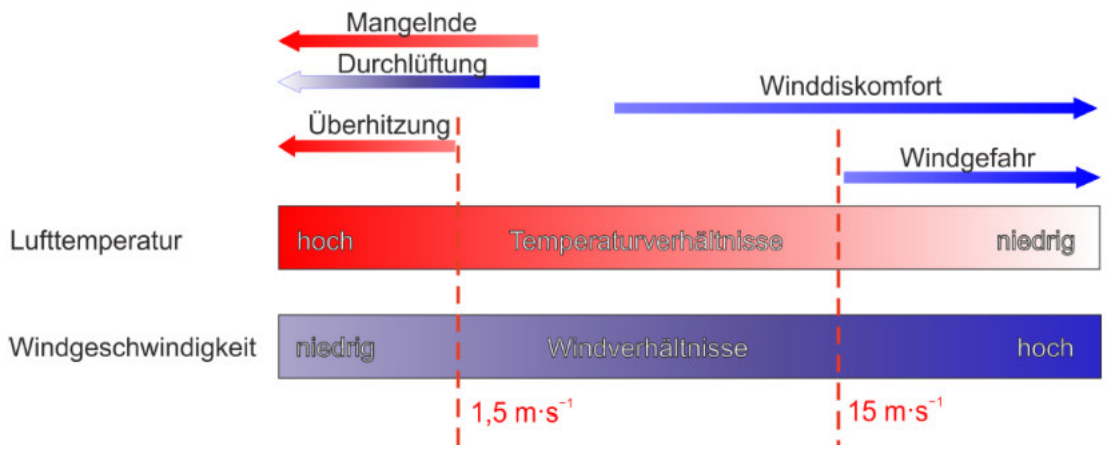


Abbildung 1: Klimakomfort und -diskomfort in verschiedenen Lufttemperatur- und Windgeschwindigkeitsbereichen (verändert nach VDI 3787, Bl.4 (2020))

Als quantitativ arbeitende Fachdisziplin haben sich in der Stadt- und Regionalklimatologie in den letzten Jahrzehnten verschiedene humanbiometeorologische Kenngrößen durchgesetzt, mit deren Hilfe sich die Auswirkungen dieser Belastungen auf das menschliche Wohlbefinden ermitteln lassen. Im deutschsprachigen Raum ist insbesondere die „Physiologisch Äquivalente Temperatur“ (PET) zu nennen, die im allgemeinen Sprachgebrauch als “gefühlte Temperatur” bezeichnet wird (Höppe und Mayer 1987). International gebräuchlich ist darüber hinaus der „Universal Thermal Climate Index“ (UTCI: Jendritzky 2007). In der Vergangenheit kam zudem auch der heute eher nicht mehr gebräuchliche Index „Predicted Mean Vote“ (PMV) zum Einsatz (Fanger 1972). Allen Ansätzen ist gemein, dass sie neben den meteorologischen Einflussgrößen auch die Wärmebilanz des Menschen in die Berechnung mit einfließen lassen (Abbildung 2). Auf diese Weise können physiologische Belastungsstufen abgeleitet werden, die beispielsweise bei der PET von einer extremen Kältebelastung bis zu einer extremen Wärmebelastung reichen. Da die Indizes hohe Anforderungen an die zugrundeliegenden Mess- bzw. Modelldaten stellen und diese nicht überall vorliegen, besitzen nach wie vor auch relativ einfache Auswerteroutinen wie die Auftrittshäufigkeit bestimmter Kenntage wie Heiße Tage (mit $T_{max} \geq 30°C$) oder Tropennächte (mit $T_{min} \geq 20°$) eine hohe Praxisrelevanz (DWD 2020). Sie kommen insbesondere dann zum Einsatz, wenn für größere Räume (z.B. Staaten, Flächenbundesländer) auf der Basis von Zeitreihenanalysen eine Ersteinschätzung zur räumlichen Differenzierung von thermischen Belastungen vorgenommen werden soll.

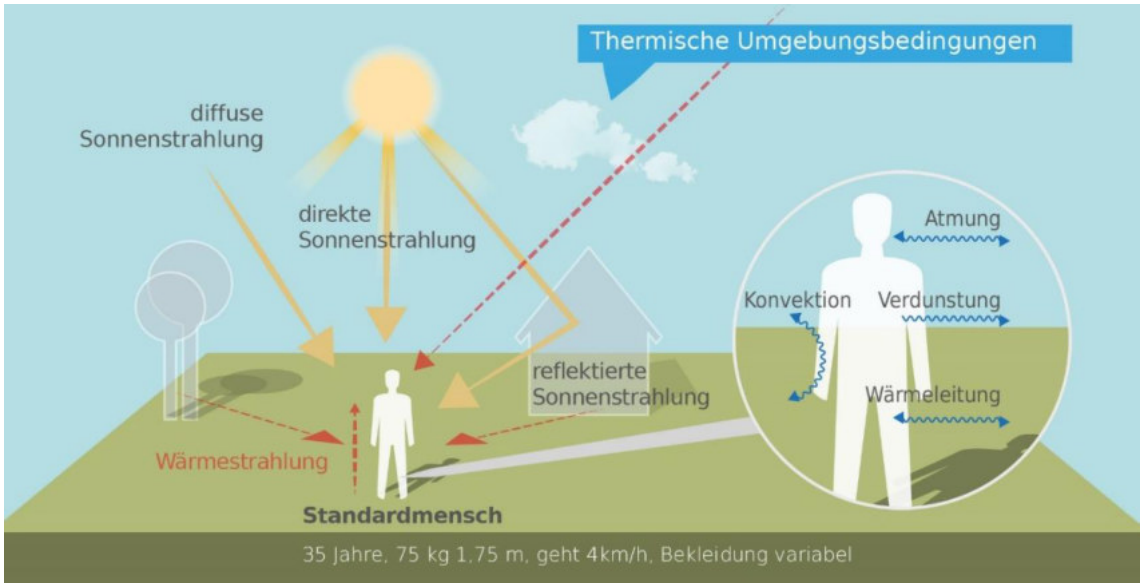


Abbildung 2: Klima-Michel-Modell und Gefühlte Temperatur (DWD 2023a)

Sowohl die PET als auch der UTCI sind für die Verwendung im Freien und unter Einstrahlungsbedingungen (also für die Tagsituation) optimiert. In Innenräumen – in denen sich Menschen in den Industrieländern zu ca. 90 % der Zeit zum Wohnen und Arbeiten aufhalten – wird in aller Regel auf die Raumtemperatur als maßgebliche Größe Bezug genommen: *„Die Wechselwirkung zwischen dem Außenklima und dem Innenraumklima erfolgt heute aufgrund der hohen Wärmedämmung üblicher Wohngebäude fast ausschließlich über den Luftwechsel, wobei die Lufttemperatur der Außenluft die entscheidende Größe ist“* (VDI 2008a, 24). Die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV, Bundesregierung 2004) fordert daher für Arbeitsräume gesundheitlich zuträgliche Raumtemperaturen von maximal 26 °C in Arbeits- und Sozialräumen. Hintergrund ist die in §4 ArbStättV definierte Verpflichtung des Arbeitsgebers, eine Gefährdung für Leben und Gesundheit seiner Angestellten möglichst zu vermeiden bzw. verbleibende Gefährdungen gering zu halten. Übersteigt die Raumtemperatur diesen Wert, muss der Arbeitgeber geeignete Schutzmaßnahmen ergreifen (z.B. Flexibilisierung der Arbeitszeiten,

Klimatisierung, Reduzierung innerer Wärmequellen wie Elektrogeräte). Ein direkter Rechtsanspruch auf z.B. klimatisierte Räume oder "Hitzefrei" lässt sich für Beschäftigte aus der Verordnung jedoch nicht ableiten.

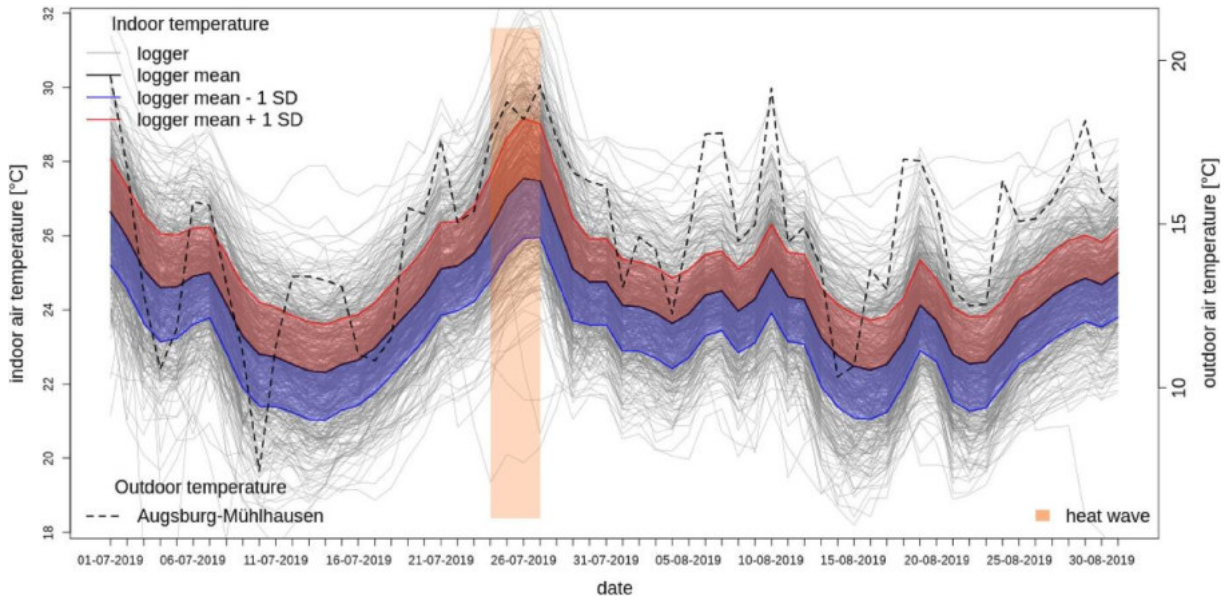


Abbildung 3: Nächtliche Innenraumtemperatur (22:00 – 06:00 Uhr) in 500 Augsburger Schlafzimmern in den Sommermonaten 2019 (Beckmann, S., Hiete, M. und Beck, C. 2021)

Während in Arbeitsstätten hohe Temperaturen am Tage zu Belastungen führen, stellen in privaten Wohnräumen insbesondere hohe Nachttemperaturen eine große Herausforderung dar: *„Durch erholsamen Schlaf, der nur bei günstigen thermischen Bedingungen erreicht wird, kann sich der Organismus von thermischen Belastungen des Tages regenerieren. Ungünstige Klimabedingungen während der Nachtstunden können dagegen zu einer Akkumulation von Belastungen führen. Dabei sind in der Regel zu warme Bedingungen als ungünstig anzusehen“* (VDI 2008a, 23). Das Umweltbundesamt empfiehlt für einen entsprechend erholsamen Schlaf eine Schlafzimmertemperatur in der Spannweite von 17-20 °C (UBA 2005). Dass die Einhaltung dieser Wertespanne in den weitgehend nicht-klimatisierten Wohngebäuden in Deutschland über die Sommermonate schwierig bis unmöglich ist, dürfte der Alltagserfahrung vieler Bürgerinnen und Bürger entsprechen. Den empirischen Beleg hierfür liefert eine wissenschaftliche Studie, in der Stundenwerte der Temperaturen in 500 über das Augsburger Stadtgebiet verteilten Schlafzimmern während der Sommermonate 2019 gemessen und ausgewertet wurden (Abbildung 3). Die Ergebnisse veranschaulichen, dass unabhängig von der räumlichen Lage im Stadtgebiet, nur an einzelnen Standorten und an einzelnen Tagen die vom Umweltbundesamt empfohlenen Komfortwerte von 20 °C unterschritten wurden. Tatsächlich schwankten die Mittelwerte auch nachts um 25 °C (bei Maximalwerten von nahe oder sogar über 30 °C) (Beckmann, S., Hiete, M. und Beck, C. 2021).

Außerhalb thermischer Komfortbereiche sinkt die Leistungsfähigkeit des Menschen ab (z.B. am Arbeitsplatz oder in der Schule und Hochschule). Das Ausmaß der Abnahme ist sehr individuell, kann aber an einigen Beispielen verdeutlicht werden. So nimmt die Leistungsfähigkeit bei moderater körperlicher Arbeit ab einem bestimmten Schwellenwert (z.B. bei 30 °C in Kombination mit 50 % Luftfeuchtigkeit) pro Grad Celsius Temperaturanstieg etwa um 15 % ab (ISO 1989). Andere Quellen gehen für Zeiten hoher Hitzebelastung in Mitteleuropa von einem Rückgang der Produktivität um 3 - 12 % aus (Urban & Steininger 2015). In einer amerikanischen Studie, die die kognitiven Fähigkeiten junger Erwachsener in Wohnumfeldern mit und ohne Klimaanlagen vergleicht, wurden signifikant bessere Werte im Bereich von 10-15 % für die Reaktionszeiten und die Gedächtnisleistungen in der klimatisierten Umgebung gefunden (Laureant et al. 2018).

Die humanbiometeorologische Umgebung beeinflusst nicht nur das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen, sondern wirkt sich unmittelbar auf die Morbidität und Mortalität der Bevölkerung aus. Als

besonders vulnerabel gelten in diesem Zusammenhang Säuglinge und Kleinkinder bis etwa 6 Jahre (aufgrund einer noch nicht vollständig ausgeprägten Fähigkeit zur Thermoregulation) sowie ältere Menschen ab 65 Jahren bzw. vor allem über 80 Jahren (aufgrund einer verminderten Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems). Santholz und Sett (2019) kommen auf der Basis einer Haushalts-Umfrage zum Hitzeempfinden in der Bundesstadt Bonn zu dem Schluss, dass verschiedene sozioökonomische Gruppen sehr unterschiedlich von Hitzebelastungen betroffen sein können. Während befragte Senioren angaben, bei Hitze vergleichsweise häufiger an Herz-Kreislauf-Problemen zu leiden, haben Studierende überdurchschnittlich häufig Konzentrationsprobleme und Kopfschmerzen genannt. Single-/Pärchen-Haushalte gaben an, hauptsächlich mit Schlafproblemen konfrontiert zu sein. Familien mit kleinen Kindern hingegen erwähnten seltener gesundheitliche Probleme (Abbildung 4).

Hinsichtlich der Mortalitätsrate hat eine Analyse der Jahre 2001-2015 für Deutschland ergeben, dass es während Hitzeperioden insbesondere bei den Altersgruppen 75–84 und vor allem 85+ zu einer signifikant erhöhten Übersterblichkeit kommt. Als besonders relevant sind dabei Wochenmitteltemperaturen von > 20 °C ermittelt worden. Die Mitte und vor allem der Süden Deutschlands wiesen dabei eine deutlich höhere hitzebedingte Mortalitätsrate auf als das nördliche Bundesgebiet (Abbildung 5). Die Jahre 2003, 2006 und 2015 zeigten bundesweit mit 6.000 – 7.000 zusätzlichen hitzebedingten Todesfällen die höchsten Übersterblichkeiten (An der Heiden et al. 2019). Auch eine entsprechende Darstellung zu Rheinland-Pfalz für die Jahre 2003 bis 2021 zeigt für die Jahre 2003, 2006 und 2015 eine erhöhte Anzahl an Sterbefällen. Auch die Jahre 2018 und 2019 stechen hier statistisch mit mehr als 300 Sterbefällen hervor (JÖHNK 2023). Modellrechnungen prognostizieren für Deutschland, dass zukünftig mit einem Anstieg hitzebedingter Mortalität von 1 bis 6 % pro 1 Grad Celsius Temperaturanstieg zu rechnen ist – dies entspräche über 5.000 zusätzlichen Sterbefällen pro Jahr durch Hitze bereits bis Mitte dieses Jahrhunderts (UBA 2020).

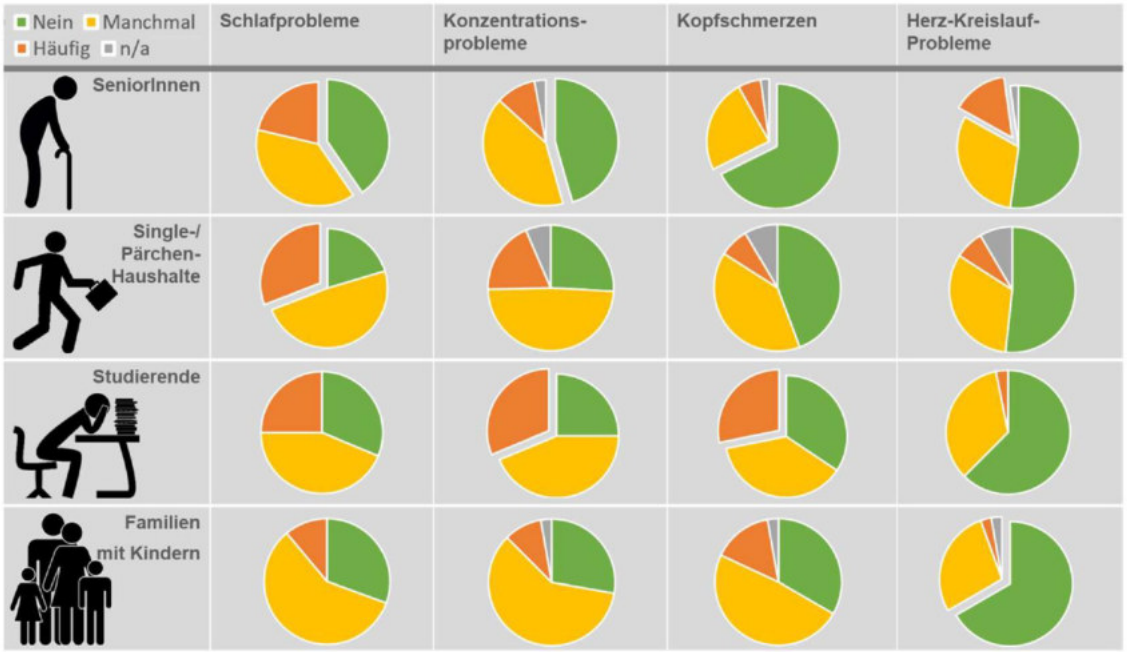


Abbildung 4: Gesundheitliche Belastung verschiedener Gruppen bei Hitze in Bonn (n=688) (Santholz und Sett 2019)

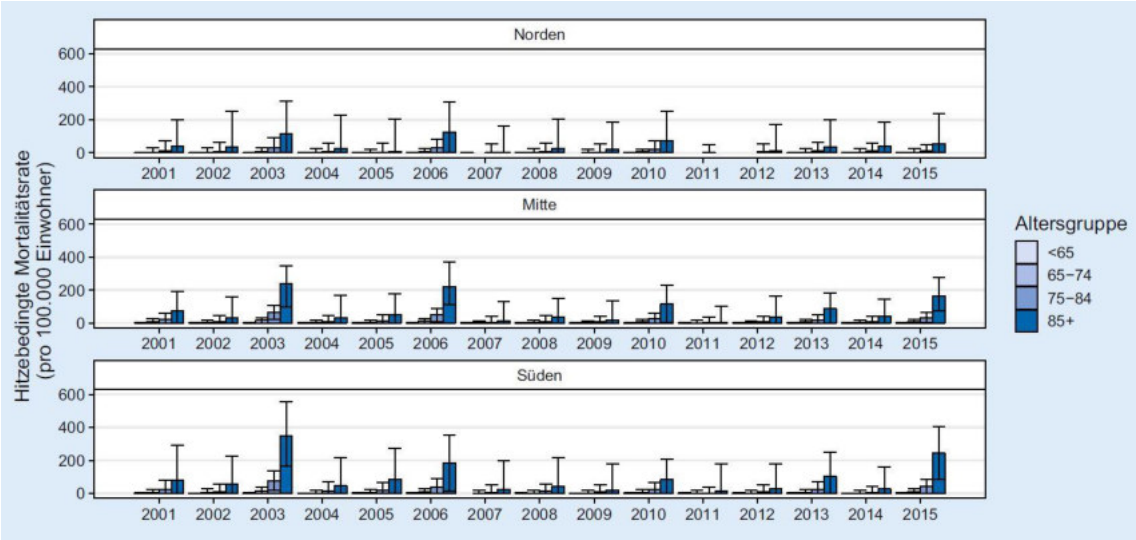


Abbildung 5: Hitzebedingte Mortalitätsrate nach Altersgruppe und Region von 2001 - 2015 (An der Heiden et al. 2019)

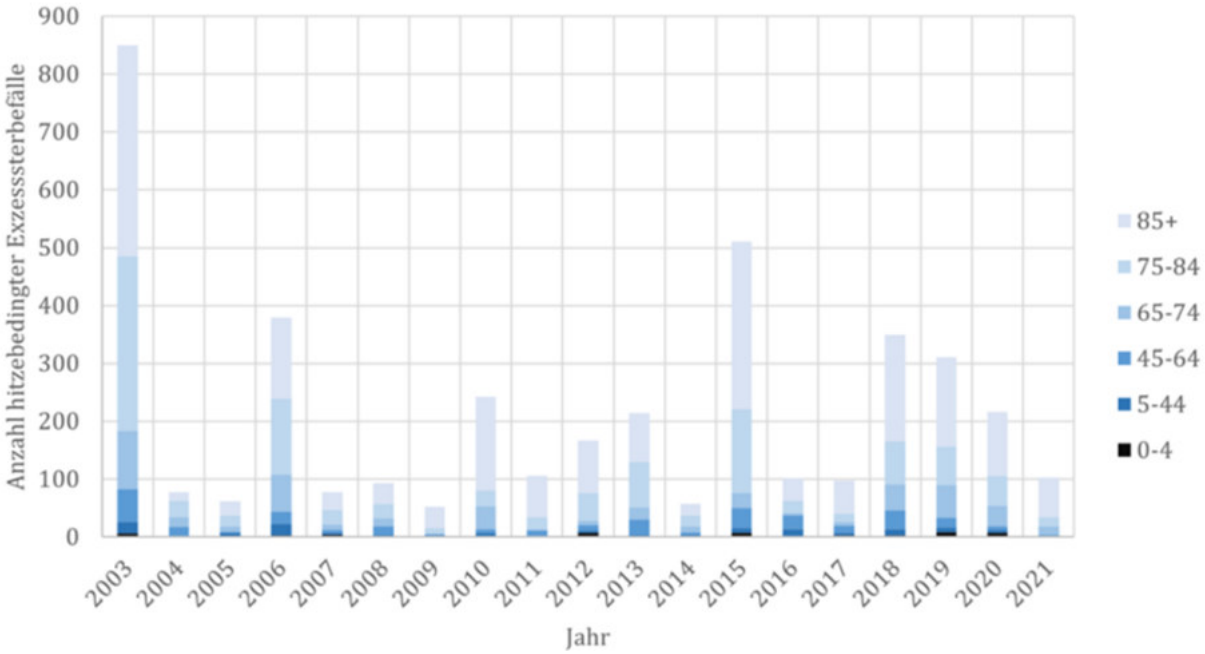


Abbildung 6: Hitzebedingte Sterbefälle nach Altersklassen pro Jahr in Rheinland-Pfalz (Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen, basierend auf Jöhnk 2023)

2.2.2 WÄRMEINSELEFFEKT UND KALTLUFTPROZESSE

Eine wichtige Grundlage für einen erholsamen Schlaf in den Sommermonaten ist eine gute Durchlüftung des Siedlungskörpers. So kann in den Nachtstunden durch das Heranführen kühlerer Luft aus dem Umland oder aus siedlungsinternen Grün-/Freiflächen das Temperaturniveau der im Siedlungsraum lagernden wärmeren Luftmassen lokal gesenkt werden. Entscheidend ist dabei, dass die kältere Außenluft auch ins Gebäudeinnere gelangen kann, sodass dem nächtlichen Luftaustausch („natürliche Ventilation“) zwischen Gebäude und Umgebungsluft eine Schlüsselrolle zukommt (vgl. Groß 2021). Auch die VDI 3787, Blatt 5 (12/2003) benennt die Umgebungsluft als die zentrale Auswertungsgröße, um die Kaltluftwirkung in der Nacht zu erfassen.

Als Prämisse für die vorliegende Analyse werden die relevanten Kaltluftprozesse und Zusammenhänge im Folgenden überblicksartig als Beitrag zu einem Grundverständnis beleuchtet. Wie Abbildung 7 zeigt, sind insbesondere Berg-/Talwindsysteme, flächenhafte Kaltluftabflüsse an Hängen sowie durch den Wärmeinseleffekt

induzierte Flurwindsysteme zu nennen. Allen Prozessen ist gemein, dass sie vermehrt während windschwacher Strahlungswetterlagen mit nächtlicher Bodeninversion auftreten. Bei einer Inversion kehrt sich der normalerweise mit der Höhe abnehmende Temperaturverlauf um. Der Boden und damit auch die darüber liegende bodennahe Luftschicht kühlen sich durch Ausstrahlung stärker ab, sodass die bodennahe Schicht kälter ist als die darüber liegende Luftschicht. Die obere Begrenzung dieser Bodeninversionsschicht liegt dabei in der Höhe über Grund, in der sich die Abkühlung des Erdbodens nicht mehr auswirkt (vgl. DWD 2023a). Inversionen können durch großräumige Advektion von Warmluft, durch Absinkvorgänge in der Höhe sowie durch Abkühlung der unteren Luftschichten entstehen. Eine Inversion stellt damit eine Sperrschicht dar, die einen Austausch zwischen tiefliegenden und höher liegenden Luftschichten verhindert (sie wirken in der Atmosphäre stabilisierend). In den Sommermonaten gehen mit ihnen häufiger thermische und ggf. auch lufthygienische Belastungen einher.

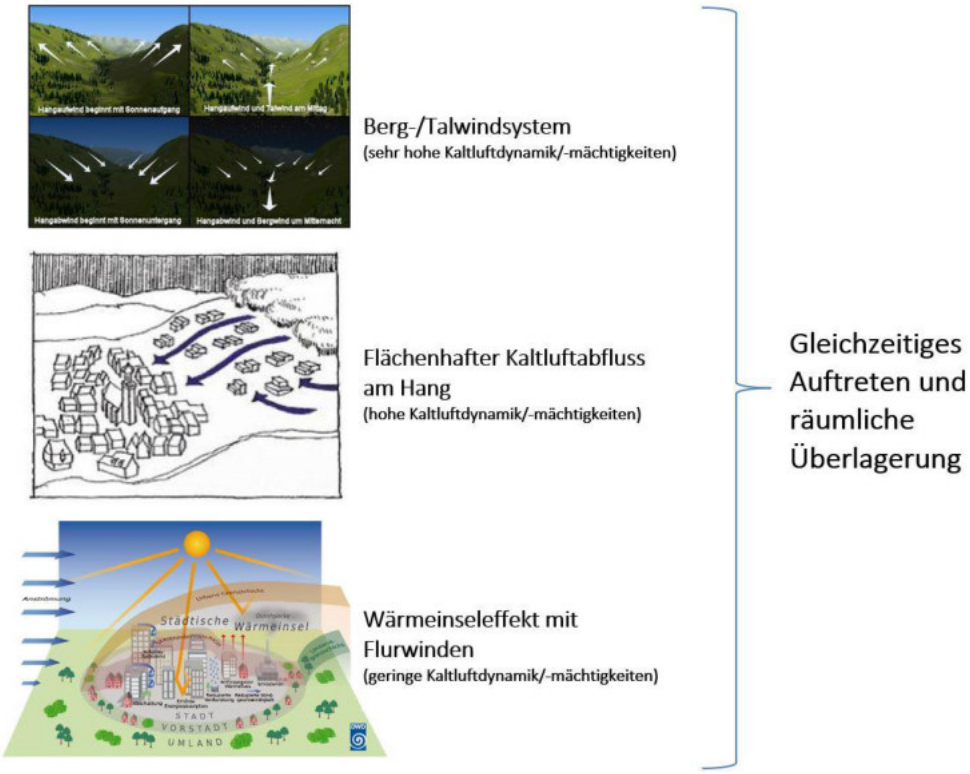


Abbildung 7: Stadtklimatisch relevante Prozesse (eigene Darstellung auf Basis der Quellen: The COMET Program 2017(oben), MVI 2012 (Mitte), DWD 2023b (unten))

Durch den anthropogenen Einfluss herrschen in Städten und Gemeinden modifizierte Klimabedingungen vor, die tendenziell mit steigender Einwohnerzahl bzw. Stadtgröße stärker ausgeprägt sind (Oke et al. 2017). Gründe hierfür sind beispielsweise der hohe Versiegelungsgrad, dem ein geringer Anteil an Vegetation und natürlicher Oberfläche gegenübersteht. Die Oberflächenvergrößerung durch Gebäude (Beeinträchtigung der Strömung durch höhere Rauigkeit, Mehrfachreflexion durch die Gebäude) sowie Emissionen durch Verkehr, Industrie und Haushalte (anthropogener Wärmefluss) spielen ebenfalls eine Rolle. Im Vergleich zum weitgehend natürlichen oder naturnahen, unbebauten Umland führen diese Effekte im Sommer zu höheren Temperaturen und bioklimatischen Belastungen. Das Phänomen der Überwärmung kommt vor allem nachts zum Tragen und wird als Städtische Wärmeinsel bezeichnet. Diese führt zu einem kleinräumigen, sehr fragilen Sys-

tem aus konvektivem Aufsteigen warmer Luft über dem überwärmten Siedlungskörper und bodennahen Ausgleichsströmungen aus dem Umland in das Siedlungsgebiet hinein („Flurwindsystem"). Am Tag führen Flurwinde in der Regel nicht zum Abbau der Wärmebelastung in den Siedlungsflächen, da im Umland meist ein ähnliches Temperaturniveau vorherrscht. Sie können jedoch zur Durchmischung der bodennahen Luftschicht beitragen und eine Verdünnung von Luftschadstoffen bewirken. Nachts kann dagegen kühlere Umgebungsluft aus siedlungsnahen und siedlungsinternen Grünflächen in die überwärmten Quartiere strömen und für Entlastung sorgen. Der bodennahe Zufluss dieser „Kaltluft" erfolgt mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten und reagiert sensibel auf Strömungshindernisse.

Während Flurwindsysteme in aller Regel mit geringen Kaltluftdynamiken von < 1 m/s und Kaltluftmächtigkeiten von wenigen (10er-)Metern verbunden sind, können orographisch bedingte Kaltluftabflüsse von Hängen und insbesondere Berg-Talwindsystemen hang- bzw. talabwärts gerichtete Windgeschwindigkeiten von deutlich > 2m/s sowie Kaltluftmächtigkeiten von z.T. über 100 m hervorrufen. Bei beiden Systemen handelt es sich um tagesperiodische lokale Windsysteme und damit um eine typische Erscheinung für Gebirgsklimata (siehe Abbildung 7 oben). Der tagsüber aufwärts gerichtete Tal-/Hangwind wird angetrieben durch die infolge der Sonneneinstrahlung gegenüber der freien Atmosphäre stärkeren Erwärmung der Hänge. Der Motor des vom späten Abend bis zum Morgen abwärts wehenden Berg-/Hangwinds ist die gegenüber dem Tal stärkere Ausstrahlung und Abkühlung der Luft über den Hochflächen und Hängen. Beim Berg-/Talwindsystem kann zusätzlich ein Zusammenfließen und eine talabwärts gerichtete Kanalisierung erfolgen, sodass hier bei optimalen Bedingungen gegenüber den reinen Hangwinden noch größere Kaltluftvolumina möglich sind. In Städten mit wenig Höhenunterschieden, wie in Ludwigshafen, spielen die Berg-/Talwindsysteme eine nur sehr untergeordnete Rolle.

Alle geschilderten Prozesse bzw. Klimafunktionen können durch planerische Entscheidungen sowohl unterstützt als auch gestört oder sogar zerstört werden. Konkrete Festlegungen über die Mindesttemperaturdifferenz zwischen Kaltluft und Umgebung, die das Phänomen quantitativ charakterisieren, gibt es bisher nicht (VDI 2003). Kaltluftproduktionsraten, Kaltluftmächtigkeiten und Kaltluftvolumenströme, die der Ableitung des oben beschriebenen Kaltluftsystems zugrunde liegen, sind relative Größen, die demnach auch in einer klimawandelbedingt wärmeren Atmosphäre der Zukunft unverändert bestehen bleiben (wenn sie nicht durch Flächennutzungsänderungen wie z.B. großflächige Gewerbegebiete oder Siedlungserweiterungen modifiziert werden). Selbiges gilt in der Konsequenz für die aus den Größen abgeleiteten zentralen Elemente wie Kaltluftleitbahnen, wobei die Kaltluft im Klimawandel tendenziell wärmer als gegenwärtig ist und damit weniger zur Reduktion der nächtlichen Wärmebelastungen beiträgt. Es wird die Aufgabe der gesamten Fachdisziplin sein, diesem Umstand durch die Entwicklung neuer Auswerteverfahren Rechnung zu tragen. Bis entsprechende neue Verfahren etabliert sind, entspricht es dem Stand der Technik, die Auswirkungen des Klimawandels vor allem an den thermischen Kenngrößen wie der Lufttemperatur und/oder humanbioklimatischen Indizes wie der PET festzumachen.

2.2.3 STADTKLIMAANALYSEN UND DER STAND DER TECHNIK

Die in den vorherigen Kapiteln geschilderten Zusammenhänge und Prozesse zum Thermischen Komfort und Kaltlufthaushalt werden als Grundlage für regional-/stadtplanerische Abwägungs- bzw. Entscheidungsprozesse in raumspezifischen Analysen untersucht. Die Analysen sind im Grundsatz seit den frühen 1990er Jahren Stand der Technik. Die zugrunde liegenden Methoden und Instrumente unterlagen seither allerdings einer stetigen Fortentwicklung, die durch die Aktivitäten zur Klimafolgenanpassung insbesondere seit den 2010er Jahren stark an Dynamik und Qualität gewonnen hat. Anders als beispielsweise beim lufthygienischen Wirkungskomplex oder der Lärmbelastung gibt es für die thermische Belastung bisher noch keine normative Regelung zu Richt- oder gar Grenzwerten. Als Konsequenz daraus ist die Definition, welches Belastungs-/Schutzniveau in der betrachteten Kommune erreicht oder vermieden werden soll, das Ergebnis eines planerisch-politischen Abwägungsprozesses, der durch fachgutachterliche Entscheidungsgrundlagen unterstützt wird.

Die etablierten Instrumente für entsprechende Grundlagenuntersuchungen stellen Stadtklimaanalysen sowie ggf. Detailgutachten für kleinräumigere Planungsprozesse (z.B. verbindliche Bebauungsplanung, Bauflächensanierung, Grünflächenentwicklung) dar. Mindestanforderungen an die zu verwendenden Methoden und zu erstellenden Produkte werden in umweltmeteorologischen VDI-Richtlinien vordefiniert. Von Bedeutung sind insbesondere folgende Richtlinien:

- VDI 3785 Blatt 1 (2008): Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima
- VDI 3787 Blatt 1 (2015): Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen
- VDI 3787 Blatt 2 (2008): Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung - Teil I: Klima
- VDI 3787 Blatt 5 (2003): Lokale Kaltluft
- VDI 3787 Blatt 8 (2020): Stadtentwicklung im Klimawandel
- VDI 3787 Blatt 9 (2004): Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene in räumlichen Planungen

Aktuell befinden sich einige zentrale Richtlinien in Fortschreibung (z.B. VDI 3787, Bl.5; Entwurf veröffentlicht 3/2024) bzw. in Zusammenlegung (VDI 3871, Bl.1 und Bl.2 und Bl.9 mit VDI 3785, Bl.1). Folglich befindet sich der Stand der Technik in einem stetigen Wandel. Tendenziell ist zudem zu beobachten, dass teilweise mehrere Jahre vergehen, bis neue methodische Paradigmen und technische Möglichkeiten in die Richtlinien Einzug gehalten haben. Insofern werden die Richtlinien nicht selten von der Dynamik der täglichen Praxis überholt und definieren daher eher einen Mindeststandard und weniger eine im Detail einzuhaltende absolute Norm.

Untersuchungsansätze einer Stadtklimaanalyse

Stadtklimaanalysen können dem Stand der Technik nach auf verschiedenen methodischen Analyseverfahren basieren. Das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) unterscheidet in einer aktuellen Veröffentlichung die Methoden der „Abschätzung“, des „Klimatopansatzes“ (bisweilen auch 2D- GIS-Modellierung benannt) sowie der „(numerischen) Stadtklimamodellierung“. In der Praxis existieren auch Mischformen, wie z.B. Kombinationen aus dem Klimatopansatz (der anders als in der Übersicht des HLNUG dargestellt keine relevanten Rückschlüsse zur Kaltluftsituation zulässt) und einfachen Modellanwendungen zum Kaltlufthaushalt (um dieser Herausforderung zu begegnen).

Tabelle 1: Vergleich der drei Methoden zur Stadtklimaanalyse (HLNUG 2022, 18)

	M1 Abschätzung nach Versiegelung	M2 Klimatope nach VDI	M3 Stadtklimamodellierung
Was kann die Klimaanalysemethode leisten?	• Qualitative Einschätzung der Verteilung der Wärmebelastung im Gebiet • Qualitative Einteilung von Belastungs- und Ausgleichsräumen	• Klimaeigenschaften der Flächen • Qualitative Einschätzung der Flächen als Belastungs- bzw. Ausgleichsräume • Ableitung relevanter Informationen zur Kaltluft	• Quantitative Ergebnisse (Temperatur, Anzahl Kenntage, Volumenstrom Kaltluft etc.) • Kaltluftentstehung und -abfluss
Rahmenbedingungen	• Kleine und mittlere Kommunen • Kommunen mit weniger komplexen Stadt- / Siedlungsstrukturen • Kommunen, die einen ersten Überblick zur Belastungssituation bekommen möchten	• Kommunen aller Größenklassen mit eher einfachem Relief / geringen Höhenunterschieden • Kommunen mit weniger komplexen Stadt-/Siedlungsstrukturen • Kommunen, die einen vertieften Überblick zur Belastungssituation inklusive Kaltluft bekommen möchten	• Mittlere / große Kommunen mit komplexen Herausforderungen durch den Klimawandel • Kommunen, die für städtebauliche Entwicklungen bzw. für ein Klimaanpassungskonzept konkrete Angaben zu Temperatur und Kaltluft benötigen
Erforderliche Daten	• Versiegelungsgrad, z. B. über Luftbildanalyse • Bebauungsstruktur/-typ • Flächennutzung	• Informationen zur tatsächlichen Flächennutzung (z. B. ATKIS, CORINE, Realnutzungskartierung) • Informationen zum Relief und zur Oberflächenstruktur (z. B. digitales Höhenmodell) • Fachkarten hinsichtlich Versiegelung oder Baudichte/-höhe und Bebauungsart	• Höhendaten, z. B. Digitales Geländemodell, Rasterdaten der Geländehöhe • Nutzungsdaten, z. B. ATKIS, Biotop-/Vegetationskartierung, Realnutzungskartierung • Fachkarten zur Versiegelung, Baudichte/ -höhe, Bebauungsart, Rasterdaten zur Bebauungsstruktur • Messdaten zu physikalischen Größen z. B. Wind, Temperatur
Welche Informationen liefert die Klimaanalysemethode?	• Einstufung der thermischen Belastung im Siedlungsbereich	• Klimatope • Klimaanalysekarte	• Zahlreiche Datensätze mit Aussagen zu Temperatur, Kenntage (Gegenwart und Zukunft), Analyse zur Kaltluft • Je nach Aufbereitung entsprechende Karten

Darüber hinaus stellen die in der Übersicht nicht genannten Messkampagnen (Messfahrten, Vertikalsondierungen, stationäre Messungen) weiterhin eine wichtige methodische Grundlage für Stadtklimaanalysen dar – zumeist in Ergänzung (bzw. zur Validierung) der anderen Methoden, bisweilen aber auch als rein messbasierte Stadtklimaanalysen. Perspektivisch werden zudem auf Künstlicher Intelligenz (KI) basierende Lösungen das Methodenset ergänzen, indem Sie von Ergebnissen der übrigen Methoden lernen und diese mit deutlich geringerem Aufwand auf andere Untersuchungsräume übertragen.

Wie aus der Zusammenstellung bzw. dem zugehörigen Leitfaden der HLNUG hervorgeht, weisen alle Analysemethoden individuelle Stärken und Schwächen auf, wobei die Numerische Stadtklimamodellierung (M3) als qualitativ hochwertigste Methode gilt. Numerische Modellierungen weisen gegenüber anderen Analysenverfahren den großen Vorteil auf, dass sie umweltmeteorologisch relevante Größen wie Wind- und Temperaturfelder flächenhaft und unter Berücksichtigung der zentralen physikalischen atmosphärischen Prozesse wissenschaftlich fundiert ermitteln können. Aus diesen Ergebnissen können im sogenannten postprocessing stadtklimatisch relevante Kenngrößen in ihrer quantitativen Ausprägung abgeleitet werden (z.B. Kaltluftparameter, humanbioklimatische Indizes). Numerische Modelle bieten darüber hinaus den Vorteil, Planungsvarianten und Maßnahmen in ihrer Wirkung quantitativ analysieren und auf diese Weise einen validen Beitrag zur klimaökologischen Optimierung von (raum-)planerischen Abwägungs- und Entscheidungsprozessen auf allen Maßstabsebenen leisten zu können.

Übersicht stadtklimatischer Modelle

Auf dem deutschsprachigen Markt und in der internationalen Wissenschaft werden verschiedene numerische Modelle im Rahmen von Stadtklimaanalysen genutzt (Tabelle 2). Grundsätzlich unterscheiden sich die aufgezählten Modelle in vielen Eigenschaften, welche letzten Endes auch den Zweck des beabsichtigten Anwendungsgebiets dienen. Jedem Modell ist dabei ein Anwendungsfall zugeordnet, zu welchem das jeweilige Modell im operationellen Einsatz geeignet ist. Grundlegend unterscheiden sich die aufgeführten Modelle in der Art und Weise, wie naturgetreu sie die Atmosphäre abbilden. Dies lässt sich grob in die folgenden Kategorien einteilen:

1. Modelle, die die Atmosphäre zur Reduktion des rechnerischen Aufwandes über annähernde Gleichungen modellieren oder stark vereinfachte Annahmen zur Reduktion des zu rechnenden Modellgebiets treffen.
2. Modelle, die zwar die physikalischen Grundgleichungen zur Beschreibung des atmosphärischen Zustands (Bewegungsgleichungen, erster Hauptsatz der Thermodynamik, Kontinuitätsgleichung und die Zustandsgleichung für ideale Gase) lösen, dabei aber die atmosphärische Turbulenz vollständig parametrisieren (RANS-Modelle).
3. Modelle, die auch die atmosphärische Turbulenz bis zu einer sog. „Subgridskala“ auflösen und so nur einen Teil der Turbulenz parametrisieren, welcher per se durch die gewählte Auflösung der Modellrechnung parametrisiert eingeht (LES-Modelle).

Dabei steigt von Kategorie 1 zu Kategorie 3 der Grad der naturgetreuen Modellierung und gleichzeitig die Komplexität der Nutzung und der Rechenaufwand. Modelle der Kategorie 3 werden derzeit hauptsächlich im wissenschaftlichen Kontext verwendet, da für ihre Verwendung aufgrund des hohen Rechenaufwandes ein Zugang zu einem Hochleistungsrechner benötigt wird.

Eine gute Möglichkeit, den Rechenaufwand der Modellierung so gering wie möglich zu halten ist das sogenannte Nesting. Dabei wird, je nach Umsetzungsart, im Modell entweder ein Kerngebiet im Untersuchungsbereich feiner aufgelöst als die Umgebung (Online-Nesting) oder ein kleinräumiges Untersuchungsgebiet mit den Ergebnissen einer übergeordneten Modellierung angetrieben (Offline-Nesting). Beide Methoden sparen Rechenzeit dadurch ein, dass das Kerngebiet des Interesses ausreichend hochaufgelöst modelliert, aber auch

kleingehalten werden kann und dennoch die beeinflussenden Prozesse aus dem Umfeld auf das Kerngebiet einwirken. Der Begriff Online-Nesting rührt daher, dass die Berechnung des Kerngebiets und des direkt anschließenden, gröber aufgelöstem umgebenden Gebiets direkt in einem Modelllauf durchgerechnet wird. Beim Offline-Nesting muss hingegen die übergeordnete, grobskaligere Modellierung vor dem hochaufgelösten Bereich gerechnet werden.

Tabelle 2: Auswahl an numerischen Modellen für den Einsatz im Rahmen von Stadtklimaanalysen.

Modell	Kategorie	Mögliche horizontale Auflösung für großräumige Anwendungen	Ausgabegrößen
FITNAH-3D	2	5 m – 1.000 m	Kaltlufthaushalt, humanbioklimatische Indizes, Temperatur- und Windfelder
KALM	1	20 m – 200 m	vereinfachter Kaltlufthaushalt
KLAM_21	1	20 m – 50 m	vereinfachter Kaltlufthaushalt
MUKLIMO_3	2	20 m – 100 m	Kaltlufthaushalt, humanbioklimatische Indizes, Temperatur- und Windfelder
PALM-4U	3	15 m – 50 m	Kaltlufthaushalt, humanbioklimatische Indizes, Temperatur- und Windfelder

2.3 HANDLUNGSFELDER (DAS)

Im Förderprojekt „Fit for (climate) future“ werden insbesondere die folgenden Handlungsfelder aus der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel adressiert (DAS):

- DAS-Handlungsfeld Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung
- DAS-Handlungsfeld Bauwesen
- DAS-Handlungsfeld Menschliche Gesundheit
- DAS-Handlungsfeld Industrie

DAS-Handlungsfeld Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung und DAS-Handlungsfeld Bauwesen

Durch den Rückbau der Hochstraße Nord und des Rathauses stehen große infrastrukturelle Umbauten und Neuplanungen für ein neues innerstädtisches Stadtquartier bevor. Dort entstehen Flächenpotenziale, die große Chancen bieten, ein neues Leitbild für das Stadtquartier sowie die gesamte Innenstadt zu entwickeln. In den städtebaulichen Planungen für diese Neugestaltung gilt es, auch die im hier dargestellten Projekt gewonnen Erkenntnisse anzuwenden sowie die entwickelten Maßnahmen prototypisch in die Flächennutzungsplanung zu integrieren. Wie auch schon zuvor erwähnt, stellt diese Begebenheit eine einmalige Gelegenheit dar, das zukünftige, sich derzeit stark verändernde Stadtbild Ludwigshafens unter dem Aspekt der Klimaanpassung nachhaltig zu beeinflussen.

Hierbei werden Anforderungen an die Neubebauung unter dem Aspekt der Klimaanpassung gestellt. Die Bebauung soll durch die Integration vertikaler und horizontaler Begrünung die Idee der doppelten Innenentwicklung aufgreifen und zur Reduktion thermischer Belastung beitragen. Dabei sind z.B. Dach- und Fassadenbegrünungen sowie Versickerungen vor Ort mitzudenken. In der Zielkonzeption für das neue Stadtquartier wurden die hier vorgestellten Erkenntnisse bereits eingebracht und können nun für das weitere Planungsverfahren die Grundlage für ein klimaresilientes Stadtquartier bilden (s. Adept Zielkonzept 2025).

Gleichzeitig gilt es, die als besonders von Überwärmung betroffenen identifizierten Bereiche (Hitzeinseln) und die Flächen mit wichtiger Klimafunktion (Bsp. Grün- und Wasserflächen, Frischluftkorridore) entsprechend anhand konkretisierter Maßnahmen und Empfehlungen zu entwickeln oder zu schützen. Nicht nur bei Neuplanungen, sondern auch für Bestandsbebauungen. Mit den Leitlinien für Klimaschutz und Klimaanpassung in der

räumlichen Planung der Stadt Ludwigshafen wurden bereits wichtige Grundsätze für eine entsprechende Ausrichtung der städtebaulichen Entwicklung beschlossen. Durch die vorliegenden Projektergebnisse können jedoch räumlich konkretisierte Empfehlungen, insbesondere für die Flächennutzungsplanung, aber auch für die Bauleitplanung und Stadtentwicklungsprojekte gegeben werden.

DAS-Handlungsfeld Menschliche Gesundheit

Die Auswirkungen von Hitze auf die Menschliche Gesundheit wurden bereits im vorigen Kapitel eingänglich beschrieben. In Ludwigshafen gilt es, Orte zu identifizieren, die eine starke Hitzebelastung aufweisen und an denen zugleich besonders (viele) von Hitze betroffene Menschen wohnen oder arbeiten. Dazu werden im Projekt "Fit for (Climate) future“ besonders gegenüber Hitze betroffene vulnerable Bevölkerungsgruppen (Ü75-Jährige, Kleinkinder unter 6 Jahren) oder besonders sensible Bereiche (wie Pflegeheime, Krankenhäuser, Kitas oder Spielplätze) mit den erheblich überwärmten Bereichen überlagert. Ebenfalls wird das Thema Menschliche Gesundheit im Hinblick auf Arbeitssicherheit bzw. Hitzeschutz in Unternehmen mithilfe der detaillierten Analyse innerhalb der speziellen im Projekt entwickelten Industriekarte adressiert. Es werden Empfehlungen entwickelt, wie den temperaturbedingten Veränderungen des Klimas und den damit verbundenen Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen in der Stadt Rechnung getragen werden und wie die Umsetzung in Planungsprozessen gelingen kann. Dabei gilt es, sowohl in den räumlich besonders von Hitze betroffenen Bereichen für eine klimaangepasste Stadtentwicklung mit konkreten Umgestaltungen anzusetzen, aber auch eine Intensivierung des Informationsaustauschs sowie die interdisziplinäre Vernetzung zwischen den einzelnen Fachbereichen und Gruppen voranzutreiben.

Neben der Gefahr durch Hitze auf den menschlichen Organismus an sich, kommen durch die Erwärmung in Folge des Klimawandels weitere Risiken für die Menschliche Gesundheit hinzu, wie zum Beispiel die Ausbreitung von Pflanzen oder Insektenarten aus andere Klimazonen, wie etwa der Tigermücke.

DAS-Handlungsfeld Industrie

Als historisch gewachsene Stadt mit starker industrieller Prägung, wie dem BASF-Stammwerk mit einer Fläche von mehr als 10 km², bedarf es einer besonderen Betrachtung und Integration des Bereichs Industrie für die Klimafolgenanpassung in Ludwigshafen. Der hohe Anteil an Industrie- und Gewerbeflächen Ludwigshafen trägt dazu bei (s.a. Umweltbericht 2019), dass Ludwigshafen als die am stärksten versiegelte Stadt Deutschlands gilt (DUH-Hitzecheck 2024 und DGV 2023). Besonders die in Ludwigshafen ansässigen Chemie- und Industriebetriebe, die mit Gefahrstoffen o.ä. arbeiten, erfordern aus dem Wasser- und Bodenschutz heraus großflächige Versiegelungen, um eine Belastung des Grundwassers durch Schadstoffe über Produktion, Lagerung und Transport zu vermeiden. Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass sich im Stadtgebiet Ludwigshafens der Versiegelungsgrad in den Wohnsiedlungsbereichen nicht wesentlich anders darstellt als in anderen Städten (s.a. Umweltbericht 2019).

Im bisherigen Klimagutachten von 2000 konnten Industrieareale wegen mangelnder Messungen der Temperaturen und fehlenden Detailinformationen zur Topographie auf den Industrieflächen und dem damit einhergehenden Abwärmeverhalten nur in vereinfachter Form betrachtet werden. Diese Lücke wurde auf der Grundlage neuer Messungen, detaillierterer Topographiedaten und der im vorliegenden Projekt erstellten modellhaften Ergänzungen geschlossen. Für Ludwigshafen, was im Vergleich zu anderen Städten deutlich größere industrielle Flächen vorzuweisen hat, ist diese Betrachtung essenziell für die Stadtklimaanalyse.

Neben Erkenntnissen zur Stadtentwicklung im Rahmen der Regional- und Bauleitplanung ist die Unterstützung einer klimaresilienten Entwicklung der Gewerbe- und Industrieflächen durch die jeweiligen Unternehmen eine wichtige Säule, um Ludwigshafen als attraktiven Lebens- und Produktionsstandort nachhaltig weiterzuentwi-

ckeln. Die Analyse von Klimarisiken wie der zunehmenden Hitzebelastung ist längst im Alltag vieler Unternehmen und Betriebe angekommen und als ein Beispiel seit 2024 in den einschlägigen Normen und Vorgaben zum Qualitäts- und Umweltmanagement in Unternehmen explizit adressiert. Für eine erfolgreiche Anpassungsstrategie der Betriebe und Unternehmen braucht es für die Standorte lokale und möglichst konkrete Analysen zu den bereits bestehenden und zukünftigen Klimaänderungen, die möglichst niederschwellig, sprich ohne eine Transferleistung, die spezielle Fachexpertise benötigt, in die betrieblichen Prozesse und Managementsysteme integriert werden können.

Durch die Zusammenarbeit im Projekt „Fit for (climate) future“ mit der BASF SE und dem Büro Geo-Net konnten die großen innerstädtischen Industrieflächen erstmals in der dezidierten Klimaanalyse mit aufgenommen und in einer speziellen Industriekarte für die Nutzung durch die Unternehmen aufgearbeitet werden. Die Industriekarte hat hierbei einen innovativen Charakter, der in anderen Stadtklimaanalysen konzeptionell aufgenommen werden kann.

3. Bestandsaufnahme

3.1 ERGEBNISSE DER DATENERHEBUNG UND REGIONALER KLIMAMODELLE

3.1.1 DATENGRUNDLAGE UND METHODIK

Beobachteter Klimawandel

Die Beschreibung des gegenwärtigen Klimas in Ludwigshafen basiert auf interpolierten Stationsdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD 2023a, DWD 2023b, Kaspar et al. 2013). Die Daten weisen eine räumliche Auflösung von 1 x 1 km und eine zeitliche Auflösung von jährlichen Mittelwerten auf. Teilweise reichen die Beobachtungsdaten bis in das Jahr 1881 zurück (Jahresmitteltemperatur und Niederschlagssumme). Minimum- bzw. Maximumtemperaturen sind seit 1901 verfügbar und Daten zu thermischen Kennwerten sowie Starkniederschlägen seit 1951.

Anhand der Stadtgebietsgrenze Ludwigshafens wurden die entsprechenden Punkte aus dem regelmäßigen 1 x 1 km- Gitter extrahiert, räumlich aggregiert und zu repräsentativen Zeitreihen zusammengestellt. Diese jährlichen Zeitreihen wurden direkt ausgewertet. Zudem wurden daraus die Mittelwerte über 30-jährige Perioden gebildet, um Aussagen zur langfristigen klimatischen Entwicklung treffen zu können.

Die aus Stationsdaten erzeugten Gitterdaten weisen gewisse Unsicherheiten auf, die aus einer über die Zeit veränderten Stationsdichte und der Lage der für die Interpolation verwendeten Stationen, resultieren können. Ferner hat sich die Messtechnik im betrachteten Zeithorizont weiterentwickelt, sodass bei älteren Zeitreihen höhere Messungenauigkeiten zu erwarten sind als bei Zeitreihen jüngeren Datums. Für die vorliegenden Auswertungen ist die Genauigkeit der Daten als vollkommen ausreichend anzusehen.

Erwarteter Klimawandel

Die Analyse zukünftiger klimatischer Änderungen stützt sich auf Daten numerischer, regionaler Klimamodelle der EURO-CORDEX-Initiative. EURO-CORDEX ist der europäische Zweig der CORDEX-Initiative, die regionale Projektionen des Klimawandels für alle terrestrischen Gebiete der Erde im Rahmen des Zeitplanes des fünften IPCC Assessment Reports (AR5) und darüber hinaus erstellt (Giorgi et al. 2009). EURO-CORDEX-Daten sind für die wissenschaftliche und kommerzielle Nutzung frei verfügbar und werden im Internet über mehrere Knoten der Earth System Grid Federation (ESGF) bereitgestellt[1].

Mit numerischen Klimamodellen kann das zukünftige Klima unter der Annahme verschiedener Emissionsszenarien simuliert und analysiert werden. Wie alle Modelle sind Klimamodelle nur Abbilder der Wirklichkeit. Die Ergebnisse von Klimamodellen beinhalten daher einen gewissen Anteil an Modellunsicherheit, der aus der Struktur des Modells, den verwendeten Techniken zur Modellierung der Atmosphärenphysik und der Parametrisierung bestimmter Prozesse resultiert. Aus diesem Grund ist es vorteilhaft, nicht nur die Simulationsergebnisse eines Modells, sondern mehrerer Modelle zu verwenden, ein sogenanntes Modellensemble.

Diesem Ansatz folgend, wurde für die Analyse der zukünftigen klimatischen Entwicklung von Ludwigshafen ein Modellensemble bestehend aus 39 Mitgliedern verwendet, d.h. Kombinationen aus globalen und regionalen Klimamodellen, die mit jeweils unterschiedlichen Klimaszenarien angetrieben werden (Anhang A 1). Da EURO-CORDEX ein fortlaufendes Projekt ist und die Datenbanken mit den Modellergebnissen permanent aktualisiert

[1] Homepage: www.euro-cordex.net

werden, können bis zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Berichtes weitere Modellläufe für Europa hinzugekommen sein, die in der Auswertung nicht enthalten sind.

Die Mitglieder des Ensembles werden als gleichberechtigt angesehen und die Unterschiede in den Ergebnissen als Modellvariabilität betrachtet. Alle nachfolgenden Auswertungen wurden in enger Anlehnung an die Leitlinien zur Interpretation von Klimamodelldaten des Bund-Länder-Fachgesprächs „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“ durchgeführt (Linke et al. 2016).

Für die Auswertung wurden bis zum Jahr 2100 projizierte Daten mit einer zeitlichen Auflösung von einem Tag und einer räumlichen Auflösung von ca. 12,5 km (0,11 °) verwendet. Die Auswahl der entsprechenden Daten aus dem Gitter der Modellsimulationen, das Europa flächendeckend überspannt, erfolgte durch die Identifikation und Auswahl des dem Mittelpunkt von der zusammengenommenen Siedlungsfläche Ludwighafens am nächsten gelegenen Gitterpunkts sowie der acht umliegenden Gitterpunkte. Die an diesen Gitterpunkten vorliegenden Zeitreihen der betrachteten meteorologischen Variablen wurden für jeden Zeitschritt (ein Tag) räumlich aggregiert, um auf diese Weise einheitliche, repräsentative Zeitreihen zu erhalten (vgl. DWD 2020a).

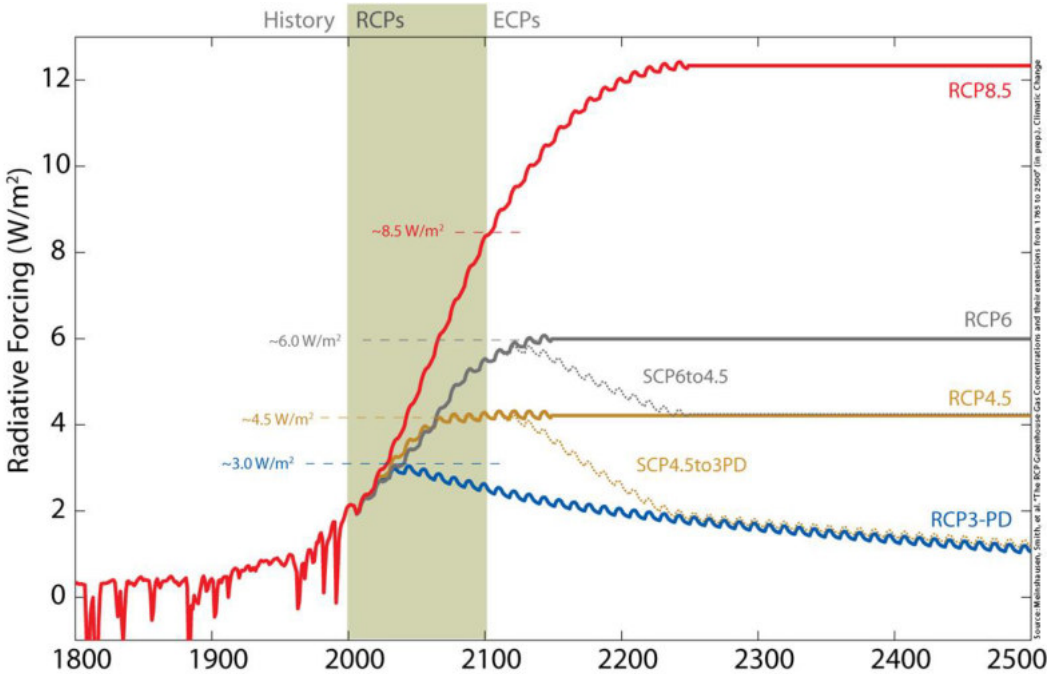


Abbildung 8: Strahlungsantrieb der verschiedenen RCP-Szenarien und ihre Entwicklung bis 2100[2] (RCP3-PD ist vergleichbar mit dem im Text genannten RCP-Szenario 2.6; Quelle: IPCC 2013)

Hauptverantwortlich für den Anstieg der globalen Mitteltemperaturen sind anthropogen bedingte CO_2-Emissionen. Da heute noch nicht absehbar ist, wie sich die CO_2-Emissionen zukünftig entwickeln, werden diese in Klimamodellen in Form von Szenarien mit unterschiedlicher CO_2-Entwicklung über die Zeit berücksichtigt, die bis zum Ende des Jahrhunderts einen bestimmten Strahlungsantrieb hervorrufen. Für Europa stehen aktuell drei verschiedene Klimaszenarien zur Verfügung: RCP 2.6, 4.5 und 8.5 (RCP = *Representative Concentration Pathways*). Im Jahr 2022 veröffentlichten sechsten IPCC-Bericht wurden die RCP-Szenarien von SSP-Szenarien abgelöst, die soziökonomische Entwicklungspfade aufzeigen (SSP = *Shared Socioeconomic Pathways;* DKRZ 2023). Aktuell ist die Wissenschaft dabei, die SSP-Szenarien in die regionalen Klimamodelle zu integrieren

[2] ECP = *Extended Concentration Pathways* sind ergänzende Szenarien bis zum Jahr 2300.

(bspw. laufen im Projekt CMIP6 erste Modellrechnungen mit den neuen Szenarien[3]), sie sind daher noch nicht in den EURO-CORDEX-Daten enthalten.

Die Zahl in der Bezeichnung der RCP-Szenarien benennt den mittleren Strahlungsantrieb in W/m^2, der in ihrem projizierten Verlauf zum Ende des 21. Jahrhunderts erreicht wird (Moss et al. 2010; Abbildung 8):

- Das RCP-Szenario 2.6 beschreibt einen Anstieg des anthropogenen Strahlungsantriebes bis zum Jahr 2040 auf ca. 3 W/m^2. Zum Ende des Jahrhunderts sinkt dieser langsam, aber stetig auf 2,6 W/m^2 ab. Die globale Mitteltemperatur würde in diesem Szenario das 2 °C-Ziel nicht überschreiten, sodass RCP 2.6 als „Klimaschutzszenario“ bezeichnet wird.
- RCP 4.5 zeigt einen steilen Anstieg des anthropogenen Strahlungsantriebes bis etwa zur Mitte des 21. Jahrhunderts, der danach bis ca. 2075 nur noch geringfügig steigt und in der Folge stagniert.
- Das RCP-Szenario 8.5 weist den stärksten Anstieg des Strahlungsantriebes auf, der sich bis zum Ende des Jahrhunderts nicht abschwächt und eine Zunahme der globalen Mitteltemperatur um ca. 4 °C gegenüber dem Zeitraum 1985 – 2005 bewirken würde. Das RCP 8.5 wird auch als „Weiter wie bisher-Szenario" bezeichnet.

Die weltweiten CO_2-Emissionen verzeichnen seit den 1950er-Jahren einen permanenten Anstieg. In den letzten Dekaden befanden wir uns, nach den Ergebnissen des Global Carbon Projektes, mit den globalen CO_2-Emissionen auf dem „Pfad“ des RCP-Szenarios 8.5 (Boden 2017, Peters et al. 2013). Selbst ein abrupter weltweiter Rückgang des CO_2-Ausstoßes würde, aufgrund der Trägheit des Klimasystems, in Kürze keine signifikante Änderung herbeiführen. Für die Einschätzung zukünftiger Klimarisiken wird das RCP 8.5 als geeignetes Szenario angesehen (Schwalm et al. 2020). Aus diesem Grund und im Sinne des Vorsorgegedankens werden im vorliegenden Bericht vornehmlich Grafiken zu Klimaänderungen des RCP-Szenarios 8.5 platziert.

Eine etablierte Methode zur Beschreibung von klimatischen Änderungen ist die Verwendung von Kenntagen. Dies sind z.B. die Anzahl von Sommertagen oder Tropennächten innerhalb eines zu benennenden Zeitraumes (oftmals jährlich). Die Bestimmung dieser Kenntage kann entweder anhand von Schwellenwerten wie bspw. $T_{max} \geq 25$ °C für Sommertage (schwellenwertbasiert) oder anhand von statistischen Maßen wie bspw. dem 95. Perzentil der statistischen Verteilung erfolgen (perzentilbasiert; siehe ReKliEs-De 2017). Für die Betrachtung des zukünftigen Klimawandels in Ludwigshafen wurden schwellenwertbasierte Kenntage verwendet.

Einige Modellläufe der regionalen Klimamodelle zeigen bei bestimmten meteorologischen Variablen teilweise systematische Abweichungen (Bias) von den realen Gegebenheiten. Es wird davon ausgegangen, dass der Wertebereich der Abweichungen für den Referenzzeitraum in etwa genauso groß ist wie für die Zukunftszeiträume. Bei einer ausschließlichen Betrachtung der Unterschiede zwischen Zukunft und Referenz haben die Abweichungen, also deren Differenz, daher keinen Einfluss auf die Aussage.

Bei der schwellenwertbasierten Berechnung von Kenntagen können die benannten systematischen Abweichungen jedoch zu einer Unter- bzw. Überschätzung der Schwellenwerte im Vergleich zu den beobachteten Werten führen. „Ist ein Modell z.B. im Mittel etwas zu warm, so werden in diesem Modell möglicherweise auch besonders viele warme und/oder besonders wenige kalte Kenntage identifiziert“ (ReKliEs-De 2017). Aus diesem Grund wurden für jede Modellsimulation die Schwellenwerte mit der Methode des Quantile-Mappings adjustiert (Piani et al. 2010, Themeßl et al. 2011). Für jeden Kenntag wurde dementsprechend aus den Beobachtungsdaten das jeweilige Perzentil der statistischen Verteilung berechnet und anhand dieses Perzentil-

[3] CMIP6 (*Coupled Model Intercomparison Project 6*) ist ein internationales Klimamodellvergleichsprojekt des Weltklimaforschungsprogramms (*World Climate Research Programme*)

wertes aus dem Referenzlauf jeder Modellsimulation der adjustierte Schwellenwert bestimmt. Die Auswertung der Regionalmodellsimulationen wurde dann mit den adjustierten Kenntagen durchgeführt, um systematische Verzerrungen der Ergebnisse weitgehend zu vermeiden.

Die Analyse des zukünftigen Klimawandels wurde mit zwei methodisch unterschiedlichen Herangehensweisen durchgeführt. Im ersten Ansatz wurden die Daten des Modellensembles zu zusammenhängenden Zeitreihen von 1971 – 2100 zusammengeführt und für jede betrachtete Variable untersucht, ob ein zeitlicher linearer Trend vorliegt und die Trendentwicklung statistisch signifikant ist. Die statistische Signifikanz wurde anhand des Trend-/Rauschverhältnisses ermittelt (Anhang A 2).

Für die Beschreibung des zukünftigen Klimawandels werden klimatische Beobachtungen einer sogenannten Referenzperiode benötigt. Diese sollte einen Zeitraum umfassen, in dem die klimatischen Auswirkungen der globalen Erwärmung noch nicht so stark in Erscheinung getreten sind. Die World Meteorological Organisation (WMO) empfiehlt bei Klimaanalysen die Verwendung der sogenannten 30-jährigen Klimanormalperiode von 1961 – 1990. Da jedoch bei einigen der verwendeten regionalen Klimamodelle der Zeitraum des Referenzlaufs erst 1971 beginnt, wurde hier der Zeitraum von 1971 – 2000 als Referenzperiode festgelegt. Dieser ist im Verhältnis zu den betrachteten Zukunftszeiträumen noch ausreichend wenig vom Klimawandel beeinflusst, sodass eine vergleichende Betrachtung die wesentlichen klimatischen Veränderungen aufzeigt.

Das Klima eines Raumes wird repräsentiert durch den mittleren Zustand der Atmosphäre über einen Zeitraum von mindestens 30 Jahren, deshalb wurden im zweiten Ansatz für jede Variable zeitliche Mittelwerte über folgende Zeiträume berechnet. Für die „Mitte des Jahrhunderts“ wurden zwei verschiedene Zukunftsperioden ausgewertet, wobei sich die Ergebnisse vorrangig auf die Periode 2031-2060 beziehen, die etwa in den Klimawirkungsanalysen des Umweltbundesamts betrachtet wird (UBA 2021).

- Referenzperiode: 1971 – 2000
- 1. Zukunftsperiode (nahe Zukunft): 2031 – 2060
- 2. Zukunftsperiode (mittelfristige Zukunft): 2041 – 2070
- 3. Zukunftsperiode (ferne Zukunft): 2071 – 2100

Von den einzelnen Variablen-Mittelwerten der jeweiligen Zukunftsperiode wurden die zugehörigen Mittelwerte der Referenzperiode subtrahiert und somit die langjährigen mittleren Änderungen für jede Variable berechnet. Die statistische Signifikanz der Änderungen wurde nach einem vom Bund-Länder-Fachgespräch zur „Interpretation von Modelldaten“ vorgeschlagenen statistischen Testschema ermittelt (vgl. Linke et al. 2016). Das Signifikanzniveau wurde einheitlich auf 95 % festgelegt. Dabei ist unbedingt zu beachten, dass die Referenzläufe mit den Beobachtungsdaten des gleichen Zeitraumes nur in ihren klimatisch relevanten, statistischen Eigenschaften übereinstimmen. Sie sind auf kleineren Skalen (Jahre, Monate, Tage) nicht exakt miteinander vergleichbar. Die nachfolgenden Ausführungen enthalten eine Vielzahl von Grafiken in Form sogenannter Box-Whisker Plots. Diese haben den Vorteil, dass die Kennwerte statistischer Verteilungen schnell erfassbar und vergleichbar sind (Abbildung 9).

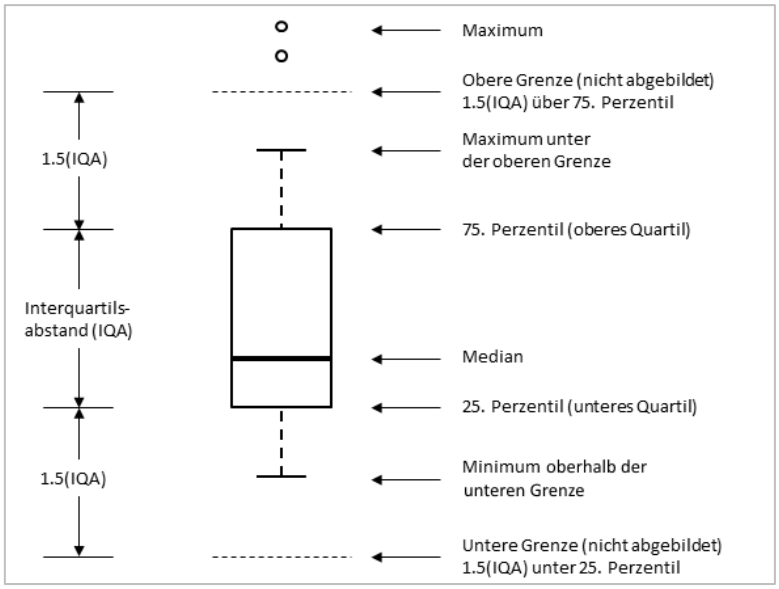


Abbildung 9: Konventionen und Bedeutung der grafischen Darstellung eines Box-Whisker Plots.

3.1.2 GEGENWÄRTIGES KLIMA

Ludwigshafen liegt naturräumlich im Bereich der Oberrheinischen Tiefebene, welche im Osten durch den Odenwald und im Westen durch den Pfälzer Wald begrenzt wird. Landschaftlich ist das Stadtgebiet im Wesentlichen vom aktuellen Flusslauf des Rheins sowie dessen ehemalige Mäandern (Maudacher Bruch) geprägt. Die Geländehöhe liegt natürlicherweise zwischen rund 90 m ü. NN und 98 m ü. NN. Im Bereich künstlicher Aufschüttungen werden dagegen bis zu 124 m ü. NN erreicht (Michaelsberg).

Die Jahres-Niederschlagssumme von rund 545 mm/Jahr[4] ist im Vergleich deutlich unterdurchschnittlich gegenüber dem gesamtdeutschen Mittelwert von ca. 790 mm/Jahr (1991 – 2020) (UBA 2022a). Zudem kennzeichnet sich die Region durch einen tendenziell geringen Wolkenbedeckungsgrad und eine hohe Anzahl an Sonnenstunden. Die langjährige jährliche Mitteltemperatur in Ludwigshafen beträgt 11,3 °C (DWD 2023b), mit Durchschnittswerten von rund 20 °C in den Sommermonaten (Abbildung 10). Damit ist die Stadt um 2 °C wärmer als im deutschlandweiten Durchschnitt von 9,3 °C (1991 – 2020) (UBA 2022a).

Beim Blick in die Vergangenheit wird deutlich, dass in Ludwigshafen – dem nationalen und globalen Trend folgend – bereits eine deutliche Erwärmung stattgefunden hat. So ist die Temperatur seit Beginn der meteorologischen Aufzeichnungen um 1,6 °C gestiegen (Mittelwert 1995 – 2024 im Vergleich zu 1881 – 1910). Zudem sind vier der letzten fünf wärmsten Jahre seit 1881 allesamt in der letzten Dekade aufgetreten (Abbildung 11).

Beim Niederschlag im hydrologischen Sommerhalbjahr (Mai–Oktober) zeigt sich ein leicht abnehmender Trend. Während der langjährige Mittelwert bei etwa 355 l/m² liegt, betrug der Mittelwert im Zeitraum 1993–2022 nur noch 324 l/m² – ein Rückgang um rund 9 %. Dies deutet auf eine zunehmende Trockenheit in den Sommermonaten hin, mit potenziellen Auswirkungen auf Wasserverfügbarkeit und Vegetation. Im Gegensatz dazu ist der Niederschlag im hydrologischen Winterhalbjahr (November–April) über die Jahrzehnte weitgehend stabil geblieben oder sogar leicht gestiegen. In der jüngsten Periode liegt der Mittelwert bei rund 230 l/m² gegenüber etwa 201 l/m² im Referenzzeitraum 1882–1911. Dies könnte auf eine veränderte saisonale Verteilung der Niederschläge hindeuten.

4 Die Daten zum aktuellen Klima in Ludwigshafen beziehen sich, soweit nicht anders angegeben, auf die Gebietsmittelwerte der DWD Grids und umfassen den Zeitraum 1991– 2020

Noch stärker als die „schleichende“ Änderung der Jahresmitteltemperatur wirken sich Hitzeperioden auf das Wohlbefinden und die Gesundheit der Bevölkerung aus. Die Anzahl an Sommertagen (Tmax ≥ 25 °C) und insbesondere Heißen Tagen (Tmax ≥ 30 °C) kann als Indiz für die Häufigkeit belastender Phasen verstanden werden. In Ludwigshafen zeigt sich jeweils ein Anstieg dieser Kenntage: Im Vergleich der Periode 1991 – 2020 zu 1971 – 2000 ist die Anzahl an Sommertagen im Mittel von 57 auf 65 pro Jahr und die Anzahl an Heißen Tagen von 13 auf 19 pro Jahr gestiegen (vgl. Abbildung 12).

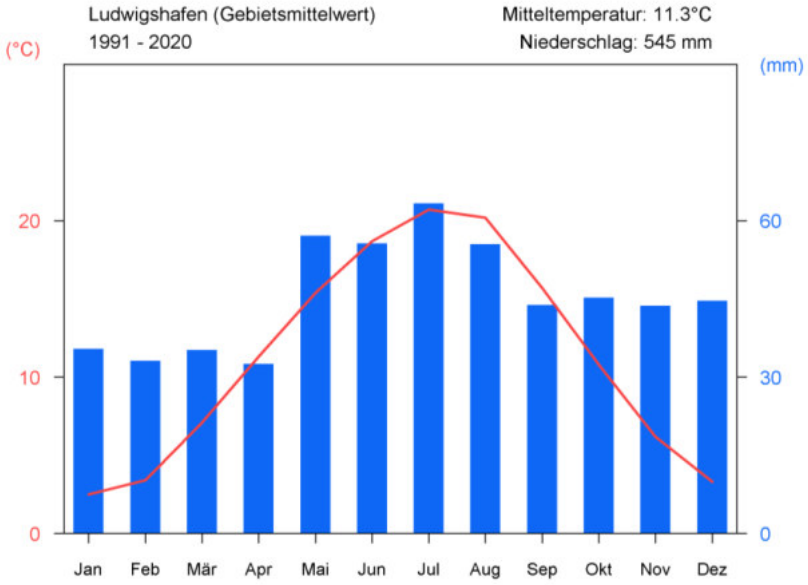


Abbildung 10: Klimadiagramm für Ludwigshafen für den Zeitraum 1991 – 2020, basierend auf den Gebietsmittelwerten der DWD Daten (nach DWD 2023b).

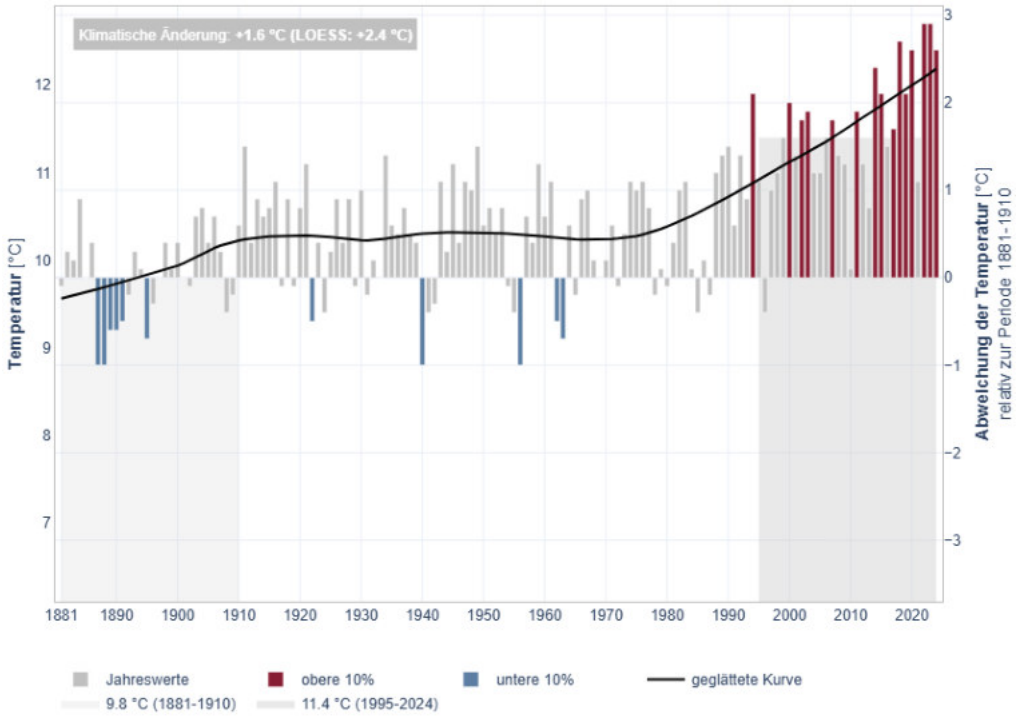


Abbildung 11: Langjährige Entwicklung der Jahresmitteltemperatur in Ludwigshafen im Zeitraum von 1881 bis 2024 (Quelle: Berechnung durch KfK nach DWD 2025)

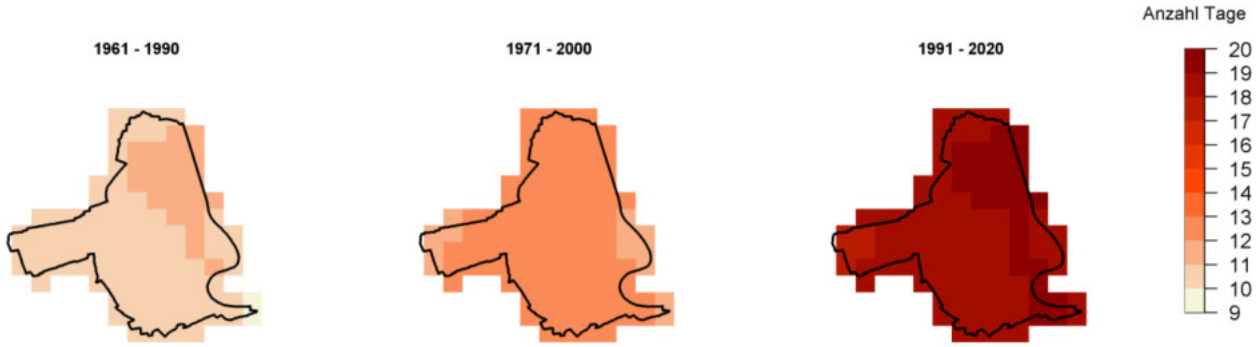


Abbildung 12: Räumliche Darstellung der Anzahl Heißer Tage (Tmax ≥ 30 °C) in verschiedenen Perioden im Raum Ludwigshafen (eigene Berechnung nach DWD 2023b)

Die thermischen Parameter wirken (zusammen mit der solaren Einstrahlung) unmittelbar auf das Stadtklima ein. Darüber hinaus üben Trockenperioden einen Einfluss auf das Stadtklima aus, indem sie die Bodenfeuchte und Vitalität des Stadtgrüns beeinflussen. Ein Maß für die Bodenfeuchte ist der Füllstand der nutzbaren Feldkapazität (nFK). Sie unterliegt im Raum Ludwigshafen deutlichen Schwankungen, zeigt seit 1991 insgesamt jedoch einen signifikant abnehmenden Trend (Abbildung 13). In der Einheit % nFK wird das pflanzenverfügbare Wasser angezeigt. Im Rückblick auf die Periode 1991 bis 2022 schwankten die Werte von plus 25 % bis minus 30 % (im Extremfall bis minus 42 %) im Vergleich zum Mittelwert desselben Zeitraums. Im Sommer sind häufigere negative Abweichungen erkennbar als in den anderen Jahreszeiten. Es ist davon auszugehen, dass es im Siedlungsgebiet mindestens lokal Stellen gibt (abhängig von der Bodenart, dem Relief, etc.), auf denen die Pflanzen zeitweise unter Wasserstress stehen.

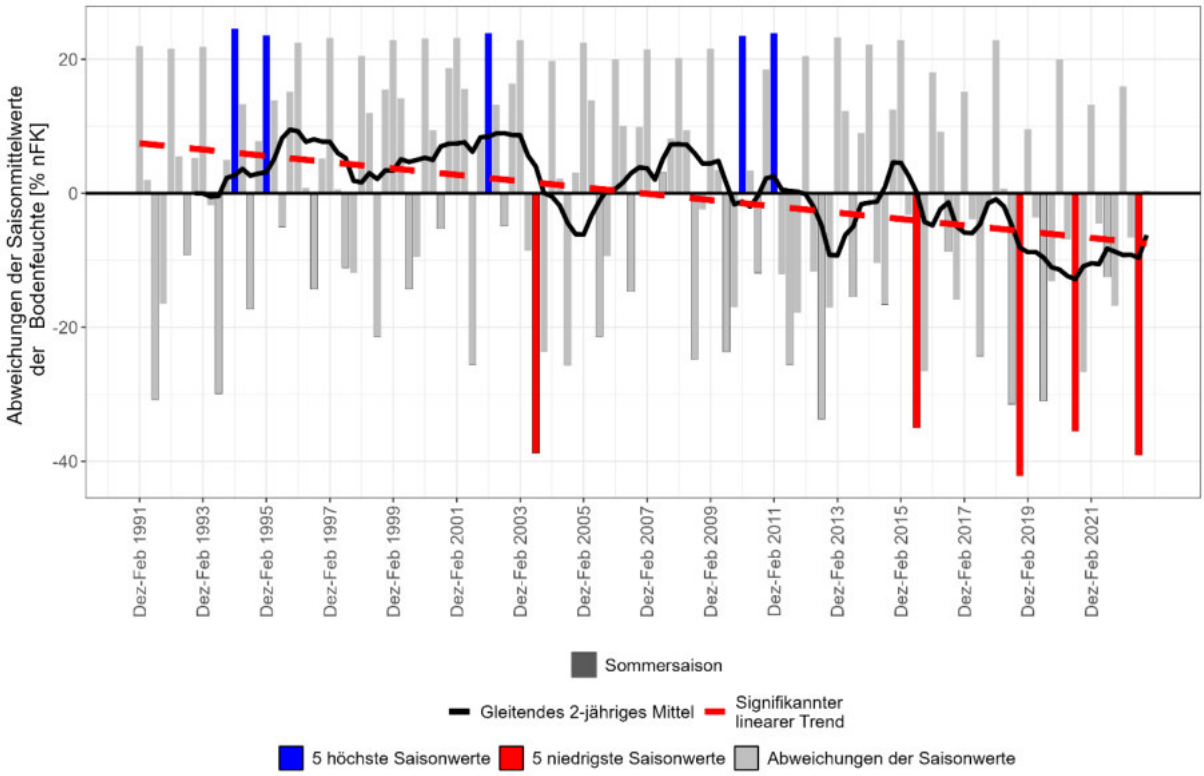


Abbildung 13: Saisonale Abweichungen vom Mittelwert der Bodenfeuchte in Ludwigshafen im Zeitraum 1991 bis 2022 (eigene Berechnung nach DWD 2023b)

3.1.3 ZUKÜNFTIGE KLIMAVERÄNDERUNGEN

Alle RCP-Szenarien projizieren ein deutliches Ansteigen der **Jahresmitteltemperatur** in Ludwigshafen bis zum Jahr 2100. Dies gilt nicht nur für den in Abbildung 14 gezeigten Median des Modellensembles, vielmehr weisen sämtliche Modellkombinationen des Ensembles einen Anstieg der jährlichen Mitteltemperaturen auf, sodass der Trend als äußerst robust einzuschätzen ist. Noch stärker als die Mitteltemperaturen steigen die Maximum- und insbesondere Minimumtemperaturen[5] (Tabelle 3).

Der Temperaturanstieg fällt im RCP-Szenario 8.5 am stärksten aus. Dabei tritt in allen drei Zukunftsperioden eine deutliche Zunahme auf, wobei die stärksten Zunahmen am Ende des Jahrhunderts zu verzeichnen sind. Im RCP-Szenario 2.6 wird ein moderater Temperaturanstieg und ungefähr ab Mitte des Jahrhunderts eine Stagnation erwartet, da sich dann die positiven Auswirkungen der im RCP 2.6 angenommenen globalen Klimaschutzmaßnahmen bemerkbar machen.

Tabelle 3: Langjährige Änderung der Temperatur in Ludwigshafen (P 15 / 85 = 15. / 85. Perzentil, P 50 = Median).

Variable	Szenario	Änderung im Zeitraum gegenüber 1971 – 2000								
		2031 – 2060			2041 – 2070			2071 – 2100		
		P 15	P 50	P 85	P 15	P 50	P 85	P 15	P 50	P 85
Jahresmittel-temperatur [°C]	RCP 2.6	0,8	1,1	1,4	0,8	1,2	1,6	0,9	1	1,5
	RCP 8.5	1,1	1,9	2,3	1,4	2,2	2,6	2,7	3,7	4,3
Mittleres Tagesmini-mum der Temperatur [°C]	RCP 2.6	0,6	1,8	3	0,6	2,1	3	0,9	2,2	2,9
	RCP 8.5	1,3	3,8	5,7	1,9	3,5	5,1	5,6	6,3	8,5
Mittleres Tagesmaxi-mum der Temperatur [°C]	RCP 2.6	0,6	1,8	3	0,4	1,9	3,2	-0,5	1,4	4,1
	RCP 8.5	0,7	2,6	3,5	1,3	3,5	4,7	3,8	6,3	7,7

Zum Ende des Jahrhunderts nimmt die Unsicherheit und damit auch Variabilität der erwarteten Temperaturänderung zu, was durch den Möglichkeitsbereich abgebildet wird (kleinster bis größter Wert in den Modellergebnissen). Der in Abbildung 14 enthaltene Erwartungsbereich zeigt die Bandbreite zwischen dem 0. und 100. Perzentil des Modellensembles.

5 Minimum- bzw. Maximumtemperaturen beschreiben entweder den jährlichen oder 30-jährigen Mittelwert der täglichen Tiefst- bzw. Höchsttemperatur.

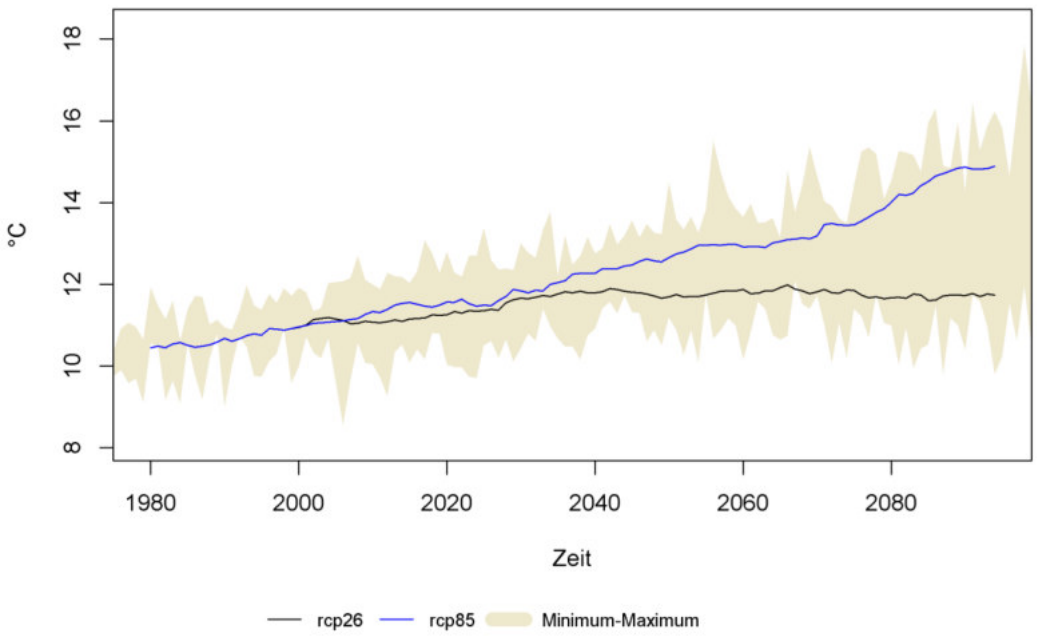


Abbildung 14: Zeitlicher Trend der jährlichen Mitteltemperaturen in Ludwigshafen (RCP-Szenarien 2.6 und 8.5)

Im Jahresgang ist ein Temperaturanstieg in allen Monaten erkennbar, jedoch treten im Sommer die größten und im Frühjahr die geringsten Temperaturänderungen auf (Abbildung 15). Dieses Muster zeigen alle drei RCP-Szenarien, wobei die Zunahmen im RCP 8.5 am höchsten ausfallen und sich generell zum Ende des Jahrhunderts verstärken (rote Boxen).

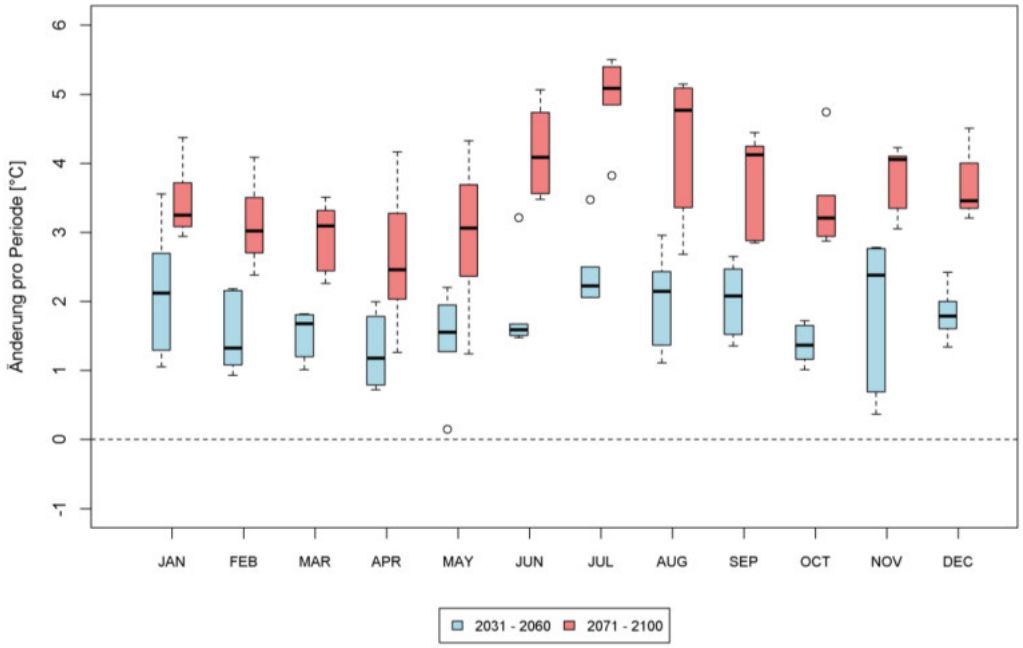


Abbildung 15: Änderung der langjährigen monatlichen Mitteltemperaturen in Ludwigshafen (RCP 8.5) im Vergleich zur Referenzperiode 1971 – 2000.

Der projizierte Temperaturanstieg steht in direktem Zusammenhang mit der Entwicklung thermischer Kenntage, die eine anschaulichere Sicht auf klimatische Änderungen zulassen. So nimmt die durchschnittliche jährliche Anzahl an Sommertagen und Heißen Tagen zukünftig deutlich zu (Tabelle 4). Bspw. ist im RCP 8.5 zum Ende des Jahrhunderts hin im Mittel mit 33 zusätzlichen Heißen Tagen pro Jahr zu rechnen, während diese in der Referenzperiode (1971 – 2000) nur gut 13-mal jährlich auftraten. Ähnlich verläuft die Entwicklung der Sommertage (≥ 25 °C): Von derzeit rund 65 Tagen pro Jahr (bzw. 57 in der Referenzperiode 1971-2000) wird

ein Anstieg auf über 100 Sommertage bis Ende des Jahrhunderts erwartet – im Szenario ohne Klimaschutz. Mit starkem Klimaschutz ließe sich dieser Anstieg auf etwa 80 Tage begrenzen.

Tropennächte (Nächte mit Temperaturen über 20 °C) treten in Ludwigshafen derzeit sehr selten auf (im Mittel < 1 Tropennacht pro Jahr). In der mittelfristigen Zukunft (2041 – 2070) bereits ca. 2 – 14 Tropennächte pro Jahr erwartet, wobei die statistische Signifikanz aufgrund des seltenen Auftretens eingeschränkt ist. In der zweiten Hälfte des Jahrhunderts wird die Entwicklung stark vom zugrunde gelegten Szenario beeinflusst. Während die Häufigkeit von Tropennächten im RCP 2.6 stagniert bzw. nur leicht steigt, prognostiziert das RCP 8.5 eine deutliche Zunahme. Demnach wären in der 3. Zukunftsperiode ca. 2 - 29 Tropennächte pro Jahr in Ludwigshafen möglich. Es ist zu berücksichtigen, dass die Klimamodelle den Wärmeinseleffekt nicht erfassen, d.h. in innerstädtischen Bereichen eine höhere Anzahl an Tropennächten anzunehmen ist.

Die Zunahme der Heißen Tage lässt auf eine künftig steigende Häufigkeit von Hitzeperioden und Hitzewellen schließen. Für Hitzeperioden gibt es keine eindeutige Definition. Es handelt sich dabei im Wesentlichen um einen Zeitraum mit länger anhaltenden ungewöhnlich hohen Temperaturen. Wird eine Tageshöchsttemperatur von 30 °C verwendet und die Länge aufeinanderfolgender Tage betrachtet, die diesen Schwellenwert mindestens erreichen, zeigt sich, dass Hitzeperioden im Raum Ludwigshafen zukünftig länger andauern. Je nach Szenario erhöht sich die Länge von Hitzeperioden bis Ende des Jahrhunderts um ca. 1 bis 11 Tage (Tabelle 4).

Tabelle 4: Langjährige Änderung thermischer Kenntage sowie der Länge von Hitzeperioden in Ludwigshafen (P 15 / 85 = 15. / 85. Perzentil, P 50 = Median).

Kenntag	Szenario	Änderung im Zeitraum gegenüber 1971 – 2000								
		2031 – 2060			2041 – 2070			2071 – 2100		
		P 15	P 50	P 85	P 15	P 50	P 85	P 15	P 50	P 85
Sommertage (T_{max} ≥ 25°C) [n/Jahr]	RCP 2.6	17,7	**21,2**	34,9	19,2	**22,4**	37,6	11,3	**16,4**	31,8
	RCP 8.5	19,9	**27,8**	39,8	22,5	**35,8**	49	31,6	**48,8**	62,6
Heiße Tage (T_{max} ≥ 30°C) [n/Jahr]	RCP 2.6	7,3	**11,2**	16,9	7,1	**12,1**	19,4	3,6	**9,7**	17,2
	RCP 8.5	11,1	**15,8**	22,9	13,1	**19,1**	29,8	24,4	**33,4**	39,3
Tropennächte (T_{min} ≥ 20°C) [n/Jahr]	RCP 2.6	1,8	**2,6**	4,3	2,2	**3,1**	4,6	2	**3,2**	5,1
	RCP 8.5	4,3	**6,6**	9,2	6,6	**9,9**	13,9	13,3	**22,3**	29,4
Änderung der Länge von Hitzeperioden (aufeinanderfolgende Heiße Tage) [n]	RCP 2.6	1,2	**2,2**	3,2	1,8	**2,8**	3,7	0,8	**2,3**	4,9
	RCP 8.5	1,9	**3**	5,6	3,1	**4**	7,9	4,8	**8,5**	11,3

In Bezug auf die zukünftige Entwicklung von **Trockenperioden** sind nur bedingt Aussagen aus den EURO-CORDEX-Daten möglich, da der Parameter Bodenfeuchte nicht im Datensatz enthalten ist. Zudem wird zwar die Auftrittshäufigkeit von mittleren, langen oder extremen Trockenperioden untersucht (15-21, 22-28 oder mehr als 28 aufeinanderfolgende Tage mit weniger als 1 mm Niederschlag), doch treten diese so selten auf, dass die Änderungen sehr gering ausfallen und statistisch nicht signifikant sind.

Als geeigneter Indikator kann die klimatische Wasserbilanz als Differenz zwischen Niederschlag und potenzieller Verdunstung herangezogen werden. Bei einer saisonalen Betrachtung weist die klimatische Wasserbilanz

im RCP-Szenario 8.5 einen Rückgang in den Sommermonaten auf, der zum Ende des Jahrhunderts am deutlichsten ausfällt (Abbildung 16). Für den Herbst werden ebenfalls (leichte) Abnahmen der klimatischen Wasserbilanz projiziert, während für den Frühling und Winter Zunahmen erwartet werden, sodass im Jahresmittel kein eindeutiger Trend besteht.

In Bezug auf den Sommer zeichnet sich damit eine verschärfende Trockenheit ab, wobei davon auszugehen ist, dass sie sich auch auf die Bodenfeuchte auswirken wird. Für die RCP-Szenarien 2.6 und 4.5 gilt dieselbe Tendenz einer zunehmenden sommerlichen Trockenheit, wobei die Änderungssignale (insbesondere zum Ende des Jahrhunderts) weniger deutlich ausfallen (ohne Abbildung).

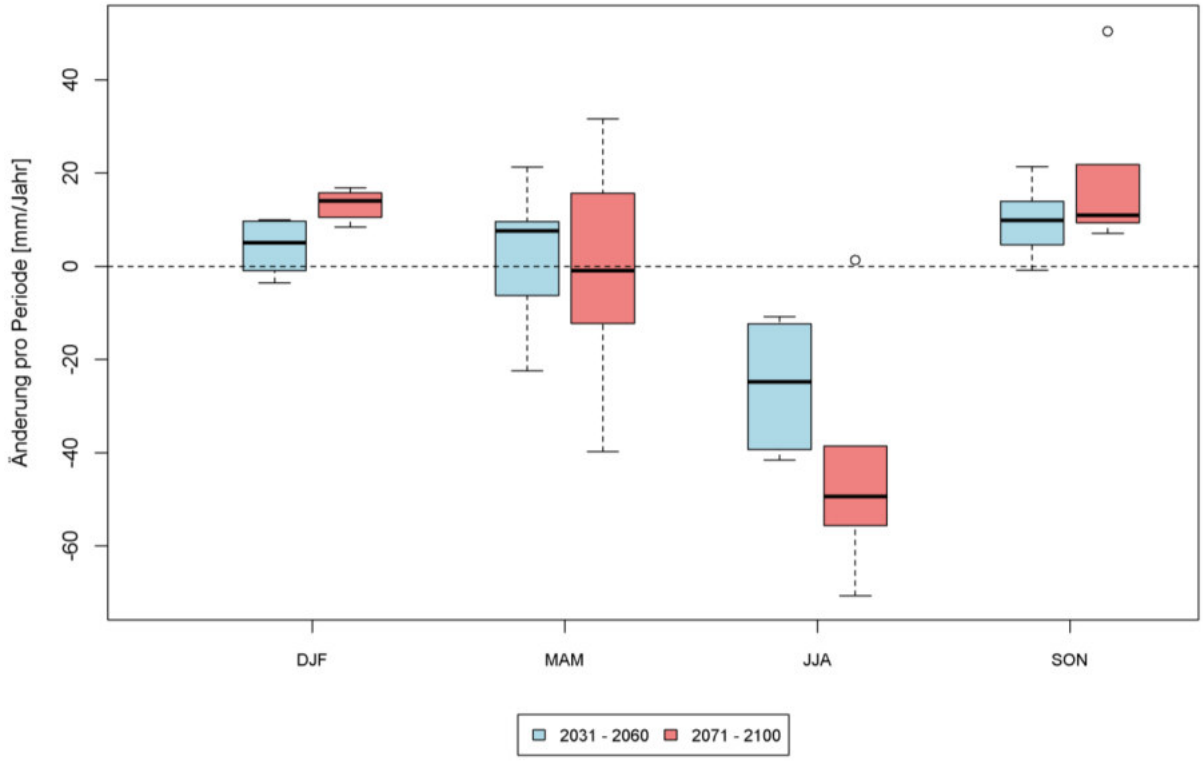


Abbildung 16: Änderung der saisonalen klimatischen Wasserbilanz in den zwei Zukunftsperioden in Ludwigshafen (RCP 8.5)

3.2 ANALYSEMETHODEN

3.2.1 DAS STADTKLIMAMODELL FITNAH-3D

Die Produkte der vorliegenden Stadtklimaanalysen basieren auf numerischen Modellsimulationen. Eingesetzt wurde das etablierte hochaufgelöste Stadtklimamodell FITNAH-3D. Die Grundgleichungen von FITNAH sind in der Literatur beschrieben (Groß 1992). Seit der Veröffentlichung zum Basismodell in den 1990er Jahren wurde FITNAH in einer Kooperation zwischen Prof. Günter Groß und der GEO-NET Umweltconsulting GmbH fortlaufend durch neue Funktionen, Module und Auswerteroutinen weiterentwickelt (u.a. Groß 2002, Groß et al. 2002, Groß 2012a, Groß 2012b, Groß 2013, Groß 2017).

Das Grundgerüst des dreidimensionalen Modells FITNAH besteht aus den Erhaltungsgleichungen für Impuls, Masse und innerer Energie sowie Bilanzgleichungen für Feuchtekomponenten und Luftbeimengungen. Die verschiedenen turbulenten Flüsse werden mit Hilfe empirischer Ansätze mit den berechenbaren mittleren Größen verknüpft. Der dabei auftretende turbulente Diffusionskoeffizient wird aus der turbulenten kinetischen Energie berechnet, für die eine zusätzliche Gleichung gelöst wird.

Die Erwärmungs- und Abkühlungsraten in der Atmosphäre aufgrund der Divergenz der langwelligen Strahlungsflüsse werden über ein Verfahren berechnet, bei dem die Emissivität des Wasserdampfes in der Luft berücksichtigt wird. Bei detaillierten Simulationen im realen Gelände müssen neben der Orographie insbesondere der Einfluss von Wäldern und urbanen Strukturen auf die Verteilung der meteorologischen Größen realitätsnah berücksichtigt werden. Hierzu sind in FITNAH besondere Parametrisierungen vorgesehen.

Ein Wald oder Baumbestand findet über bestandsspezifische Größen wie Baumhöhe oder Bestandsdichte Eingang in das Modell. Damit gelingt es u.a., die Reduzierung der mittleren Geschwindigkeit im Bestand, die Erhöhung der Turbulenz im Kronenbereich und die starke nächtliche Abkühlung im oberen Kronendrittel in Übereinstimmung mit verfügbaren Beobachtungen zu simulieren. Unter Berücksichtigung der stadtspezifischen Größen Gebäudehöhe, Versiegelungs- sowie Überbauungsgrad und anthropogene Abwärme kann die typische Ausbildung der städtischen Wärmeinsel bei verringerter mittlerer Strömung simuliert werden (vgl. Groß 1987).

Das gesamte Gleichungssystem einschließlich der Parametrisierungen wird in ein dem Gelände folgendes Koordinatensystem transformiert. Damit gelingt es insbesondere, die Randbedingungen der verschiedenen meteorologischen Größen am unteren Rand, dem Erdboden, problemspezifisch zu formulieren. Die Berechnung der Erdoberflächentemperatur erfolgt über eine Energiestrom-Bilanz, bei der fühlbarer und latenter Wärmestrom, der Bodenwärmestrom, kurz- und langwellige Strahlungskomponenten sowie der anthropogene Wärmestrom Berücksichtigung finden.

Die Lösung der physikalischen Gleichungssysteme erfolgt in einem numerischen Gitter. Die Rasterweite muss dabei so fein gewählt werden, dass die lokalklimatischen Besonderheiten des Untersuchungsraumes vom jeweiligen Modell erfasst werden können. FITNAH-3D erfüllt die in der VDI-Richtlinie 3787, Bl.7 (VDI 2015) definierten Standards für mesoskalige Windfeldmodelle im Zusammenhang mit dynamisch und thermisch bedingten Strömungsfeldern.

Die Anwendungsbereiche von FITNAH reichen von teilstädtischen Analysen zu den klimaökologischen Auswirkungen von Stadtentwicklungsvorhaben über gesamtstädtische und regionale Klimaanalysen bis hin zu sehr großräumigen Anwendungen für ganze Bundesländer oder Staaten. Die horizontale Auflösung in einem regelmäßigen Gitter reicht dabei von 5 m bis 200 m. Die vertikale Gitterweite ist nicht äquidistant und in der bodennahen Atmosphäre besonders dicht angeordnet, um die starke Variation der meteorologischen Größen realistisch zu erfassen. So liegen die untersten Rechenflächen in Höhen von 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 40 und 70 m über Grund (ü. Gr.). Nach oben hin wird der Abstand immer größer und die Modellobergrenze liegt in einer

Höhe von 3000 m ü. Gr. In dieser Höhe wird angenommen, dass die am Erdboden durch Relief und Landnutzung verursachten Störungen abgeklungen sind. Modellanwendungen mit FITNAH 3D benötigen spezifische Eingangsdaten, die charakteristisch für die Landschaft des Untersuchungsgebiets sind. Dabei müssen für jede Rasterzelle folgende Informationen in der jeweils gewählten Auflösung vorliegen:

- Gelände / Orographie
- Landnutzung / Versiegelungsgrad
- Strukturhöhe

Grundsätzlich gilt dabei, dass je höher die horizontale räumliche Auflösung ist, desto mehr Details der Erdoberfläche können im Modell berücksichtigt werden und desto hochwertiger sind die Modellergebnisse. Den limitierenden Faktor stellt dabei nicht die Größe des zu untersuchenden Modellgebietes, sondern einzig die Rechenzeit dar. Die Wahl der „richtigen“ Modellauflösung muss also stets über eine Abwägung zwischen der zu erfüllenden Analyseaufgabe, den bereitgestellten zeitlichen und sonstigen Ressourcen sowie den zur Verfügung stehenden Eingangsdaten erfolgen.

Für die Analysen im vorliegenden Projekt wurde eine horizontale Modellauflösung von 5 m gewählt, das entspricht für das gewählte Modellgebiet von Ludwigshafen inkl. des angrenzenden Umlandes rd. 9,3 Mio. Rasterzellen. Entsprechend große Gebäude- und Grünstrukturen werden dabei explizit aufgelöst. Es handelt sich demzufolge um einen Modellansatz am Übergangsbereich von der Meso- zur Mikroskala. Mit dieser Auflösung lassen sich alle für gesamtstädtische und quartiersbezogene Fragestellungen relevanten Aussagen ableiten.

Tabelle 5: in FITNAH implementierte Landnutzungsklassen bei einer horizontalen Modellauflösung von 5-10 m.

Nutzungsklasse	Beschreibung	Strukturhöhe [m]
1	Gebäude	individuell
2	unbebaut versiegelt	0
3	Gewässer	0
4	Gleisfläche	0
5	Freiland, niedrige Vegetation	0,5
6	Sand, Geröll	0
7	Baum über Versiegelung	individuell
8	Baum über Freiland	individuell
9	naturferner Boden*	0,5
10	Baum auf naturfernem Boden	individuell
11	Photovoltaik	individuell

* naturferne Böden sind anthropogen stark überprägte, aber unbebaute städtische Oberflächen

Mit Blick auf die benötigten Eingangsdaten besteht bei der gewählten hohen Auflösung erfahrungsgemäß die größte Herausforderung in der Erzeugung des Landnutzungsrasters und der Zuweisung einer individuellen Hö-

heninformation. Das Raster sollte die reale Hauptnutzung innerhalb einer 25 m² großen Rasterzelle hinreichend gut abbilden. Im Modell können dabei die in Tabelle 5 aufgelisteten Realnutzungsklassen unterschieden werden. Für Bäume besteht die Besonderheit, dass ihnen zusätzlich noch ein Attribut für den Untergrund, auf dem sie stehen, zugewiesen wird. Auf diese Weise können beispielsweise die Wirkungen von Parkbäumen über Rasenflächen von Effekten unterschieden werden, die sich unter Alleen im Straßenraum ergeben. Jede Nutzungsklasse ist im Modell mit diversen Eigenschaften (u.a. Rauigkeit, Wärmeleitfähigkeit) verbunden, auf deren Basis die notwendigen physikalischen Gleichungen gelöst werden.

Abbildung 17 zeigt zur Schaffung eines grundsätzlichen Modellverständnisses typische Tagesgänge der Oberflächentemperaturen ausgewählter Nutzungsklassen während hochsommerlicher Strahlungswetterlagen, die in klimaökologischen Analysen dem Stand der Technik entsprechend regelmäßig als meteorologische Randbedingung verwendet werden. Die drei ausgewählten Nutzungsklassen – niedrige Vegetation, unbebaut versiegelt und Baum über niedriger Vegetation – zeigen grundsätzliche ähnliche Kurvenverläufe mit Minima in den (frühen) Nachtstunden sowie Maxima um den Zeitpunkt des Sonnenhöchststandes (modelliert wurde hier der 21.06.). Die höchsten Oberflächentemperaturen treten im Tagesgang durchgängig an unbebaut versiegelten Oberflächen auf. Sie haben die größte Wärmespeicherkapazität der ausgewählten Strukturen. Die geringsten Oberflächentemperaturen in der Nacht werden für die niedrige Vegetation um 04:00 morgens – also kurz vor Sonnenaufgang – modelliert. Hier zeigt sich die Wirkung einer ungehinderten nächtlichen Ausstrahlung bei wolkenlosem Himmel. Tagsüber zeigen sich die niedrigsten Temperaturen an den Bodenoberflächen unter dem Baum. Die relative Temperaturabsenkung ist insbesondere auf die verschattende Wirkung des Baumes sowie die Verdunstungskühlung zurückzuführen.

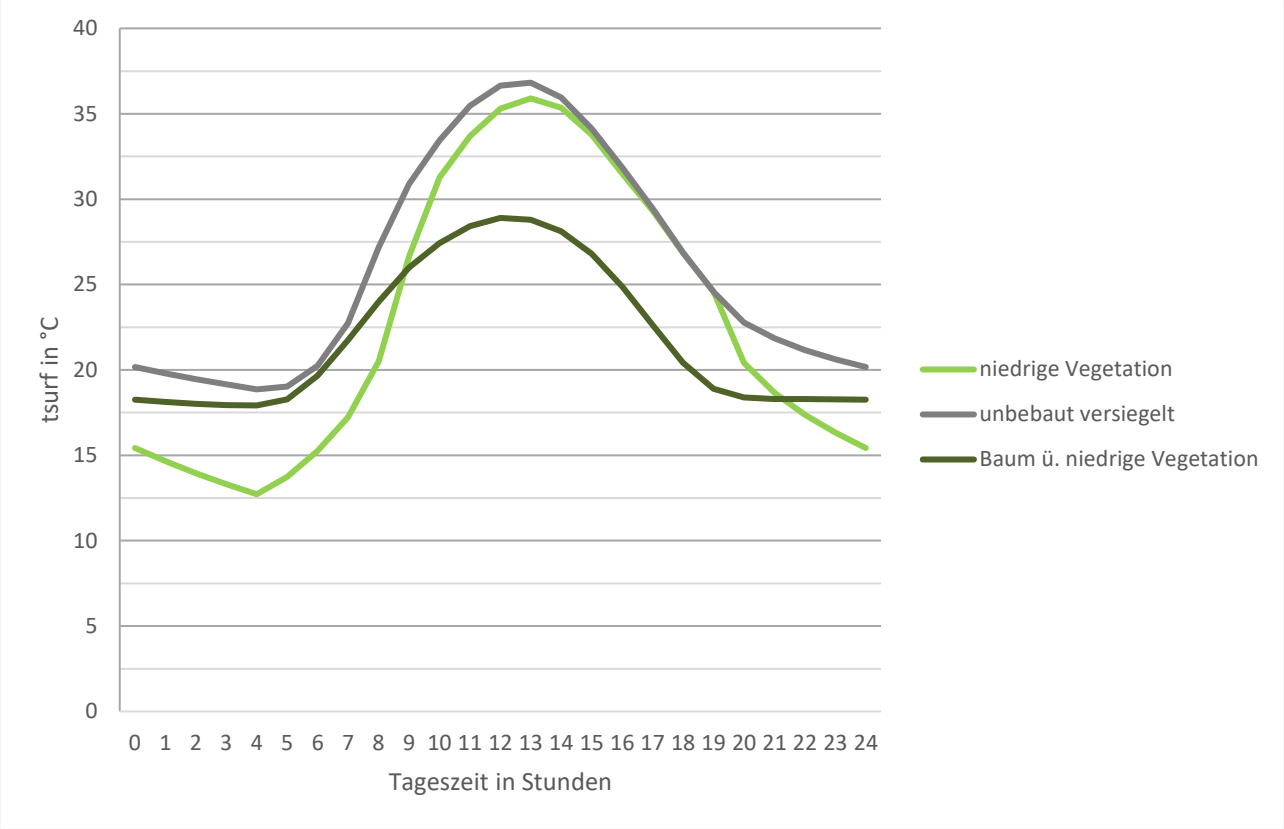


Abbildung 17: typische Tagesgänge der Oberflächentemperaturen (‘Tsurf‘) für ausgewählte Nutzungsklassen von FITNAH-3D

Nachts reduziert die Baumkrone allerdings die Ausstrahlung und damit die Abkühlung der Oberfläche, sodass die Temperatur mehrere Grad Celsius (°C) über denen der ebenerdig grünen Freifläche und nur wenige °C

unter der unbebaut versiegelten Oberfläche liegt. Diese idealtypischen Muster werden im gesamtstädtischen Kontext durch komplexe lokalklimatische Effekte (nachbarschaftliche Wirkungen, horizontale und vertikale Strömungsprozesse) überprägt und können sich somit im konkreten räumlichen Fall auch (komplett) anders darstellen. Dennoch sind die skizzierten Phänomene grundlegend für das Verständnis des Modells und seiner Ergebnisse.

Im Hinblick auf die stadtklimatischen Auswirkungen von verschiedenen Bodenfeuchten ist im Modell zu beachten, dass sich diese in der Realität über längere Zeiträume einstellen, also ähnlich wie größere Wasserkörper deutlicher langsamer auf Änderungen der meteorologischen Bedingungen reagieren als die Lufttemperatur. In Trockenzeiten sinkt die Bodenfeuchte je nach Ausgangsniveau also erst im Verlauf mehrerer Tage oder Wochen unter den Welkepunkt des Stadtgrüns ab, während sich spürbare Änderungen der Lufttemperatur innerhalb von Stunden ergeben. Daraus folgt, dass die Bodenfeuchte in einem modellierten Tagesgang nicht explizit berechnet werden kann, sondern vorgegeben werden muss. Standardmäßig liegt die Bodenfeuchte deutlich über dem Welkepunkt. Es wird also eine Situation vorgegeben, in der die Stadtvegetation weitgehend optimal verdunsten kann. Dies führt tagsüber dazu, dass die kurzwellige Einstrahlung zu einem Teil nicht in fühlbare Wärme (vereinfacht ausgedrückt also in eine Erhöhung der bodennahen Lufttemperatur) umgewandelt wird, sondern für die Verdunstung aufgewendet wird und sich damit als latenter Energiefluss nicht temperaturerhöhend auswirkt. Wie Abbildung 18 am Beispiel eines idealisierten Tagesganges u.a. der bodennahen Lufttemperatur zeigt, führt diese Verdunstungskühlung tagsüber über einem mit Rasen bewachsenen Boden zu einer Reduktion von 1-2 Kelvin[6] (K) gegenüber einem ausgetrockneten Boden (Bodenfeuchte unter dem Welkepunkt) mit demselben Bewuchs. Nach Sonnenuntergang dreht sich dieser Effekt in deutlich abgeschwächter Form allmählich um. Der feuchte Boden verfügt gegenüber seinem trockenen Pendant über eine höhere Wärmespeicherkapazität und ist nachts folglich geringfügig (ca. 0,5 K) wärmer. Die Abbildung verdeutlicht aber auch, dass die Unterschiede zwischen einem trockenem und einem feuchten Boden mit demselben Bewuchs bei Weitem nicht so groß sind, wie die Unterschiede der beiden Bodenfeuchtevarianten zu asphaltierten Flächen. Hier ergeben sich im Maximum Abweichung von 6-7 K und die Kurve bleibt im gesamten Tagesgang über denen der rasenbewachsenen Flächen. In der Realität hat also eine Entsiegelung eine deutlich stärkere Wirkung auf die thermische Komponente als eine Erhöhung der Bodenfeuchte (z.B. durch Bewässerung). Die skizzierten Zusammenhänge und Prozesse spielen im Modell insbesondere für niedrige Vegetation und offenen Boden eine bedeutsame Rolle. Für Bäume bzw. Baumgruppen sind die Effekte der Verdunstungskühlung insbesondere im bodennahen Temperaturfeld deutlich geringer. Hier führen vorrangig Verschattungseffekte bzw. eine Reduktion der kurzwelligen Einstrahlung zu geringeren gefühlten Temperaturen im Vergleich zu nicht verschatteten Räumen.

Ähnlich wie für die Bodenfeuchte gilt für das vertikale Stadtgrün, dass dessen Vitalität sich über längere Zeiträume entwickelt und die klimatisch-meteorologischen Aspekte lediglich einen Teil des Gesamtwirkungskomplexes darstellen. Insofern muss im Modell – zumeist im Rahmen von Szenarien-Betrachtungen oder Sensitivitätsstudien – vorgegeben werden, was mit dem Bestandsgrün im Falle einer Trockenperiode bzw. einer sich klimwandelbedingt verstärkenden Sommertrockenheit passieren soll.

[6] Kelvin (K) ist die physikalische Einheit für Temperatur. Bei Temperaturunterschieden entspricht 1 Kelvin genau 1 Grad Celsius.

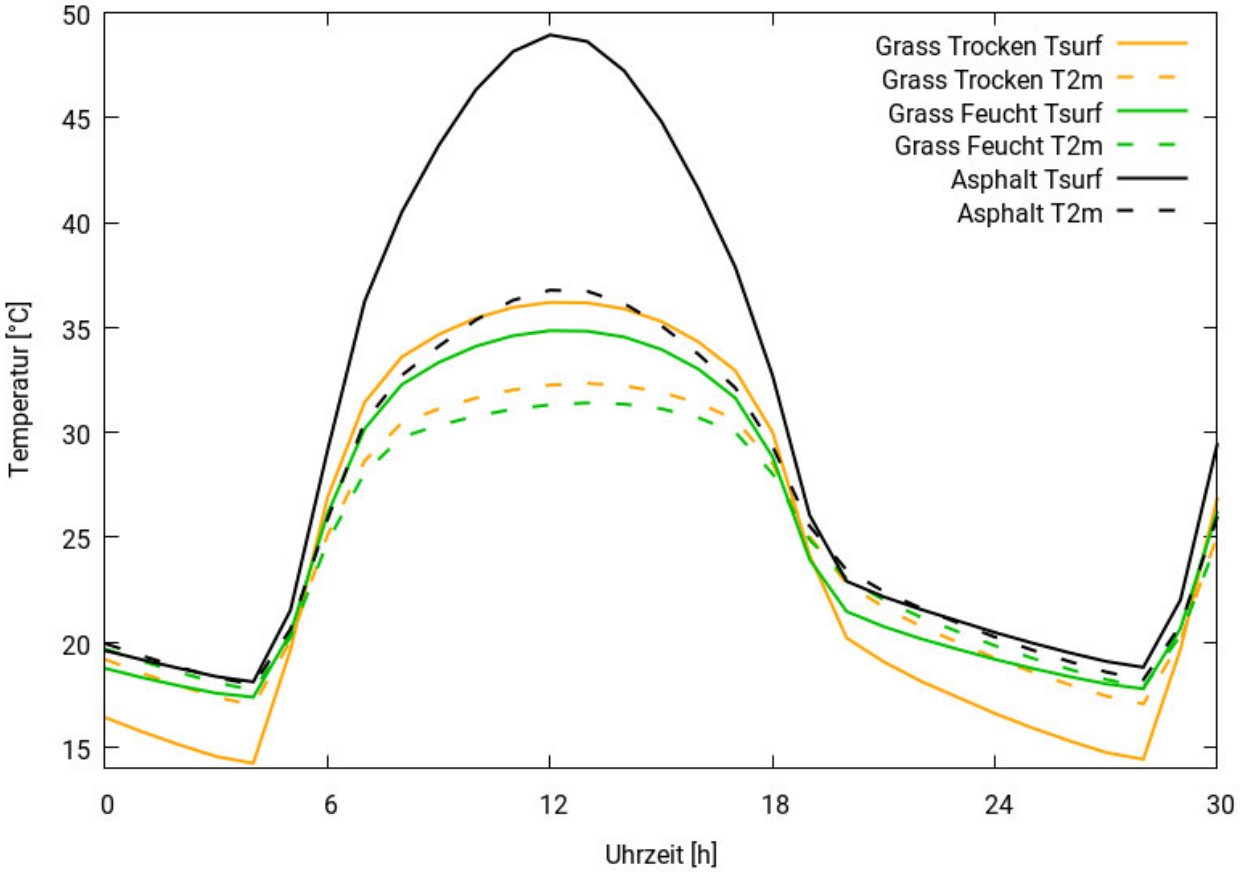


Abbildung 18: Idealisierter Tagesgang der Oberflächentemperatur (´Tsurf‘) sowie der bodennahen Lufttemperatur (´T2m‘) von bzw. über Asphalt sowie von bzw. über einem feuchten und einem trockenen grasbewachsenen Boden während eines hochsommerlichen Strahlungstages.

3.2.2 SZENARIEN-ENTWICKLUNG

Das Grundgerüst des analytischen Vorgehens im Projekt bildet die sogenannte Delta-Methode. Die Delta-Methode ist ein von GEO-NET entwickeltes, ebenenunabhängiges Methodenpaket zur szenarienbasierten Untersuchung der Zukunftsperspektive in modellgestützten stadt- und regionalklimatischen Analysen. Der Einsatzbereich ist die Unterstützung formeller und informeller raumkonkreter Planungs- und Entscheidungsprozesse zur Klimafolgenanpassung in den Handlungsfeldern urbane Hitzevorsorge und urbaner Kaltlufthaushalt auf Landes- und Regionalebene sowie bei gesamt- und teilstädtischer Betrachtung.

Im Kern basiert die Delta-Methode auf einem Vergleich zwischen der gegenwärtigen stadt- bzw. regionalklimatischen Referenzsituation (vor allem Belastungsschwerpunkte im Wirkungsraum, Bedeutung des Kaltluftprozessgeschehens im Ausgleichsraum) und einem individuellen Set an Vergleichsszenarien der zukünftigen Situation. Über diesen Analyseansatz hinaus ist die planerische Inwertsetzung der Erkenntnisse z.B. im Rahmen einer Planungshinweiskarte oder eines Masterplans Stadtklimawandel erweiterter Bestandteil des Methodenpaketes.

In der angewandten Klimafolgenanpassung – und insbesondere beim Einsatz von sogenannten Wirkmodellen – hat sich die Fokussierung auf die Analyse von Extremszenarien etabliert. Dabei wird nicht die Gesamtheit aller denkbaren Zukünfte betrachtet, sondern eine Auswahl vorgenommen. Es werden die Szenarien gewählt, die den Analysezielen entsprechend Aussagen liefern. Dies sind oftmals besonders herausfordernde oder eine große Bandbreite aufweisende Szenarien, um mögliche Entwicklungspfade aufzuzeigen.

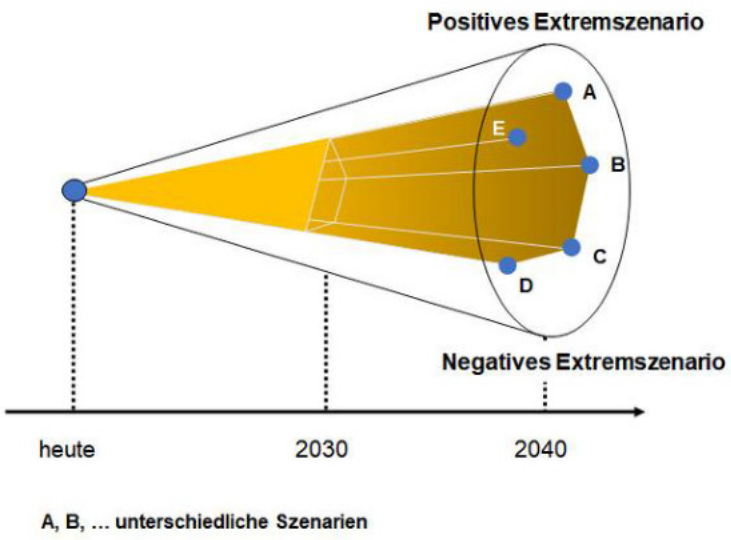


Abbildung 19: Der Szenario-Trichter (Quelle: Business Wissen 2023).

Im vorliegenden Fall wurden zwei Zukunftsszenarien sowie ein Vergangenheitsszenario festgelegt. Zielhorizont der beiden Zukunftsszenarien ist die Periode 2031 – 2060, mit Fokusjahr 2045. Beide Szenarien repräsentieren einen „starken Klimawandel“, basierend auf dem 85. Perzentil des RCP-Szenarios 8.5, wobei sich beide Szenarien lediglich anhand der im zweiten Zukunftsszenario angenommen Stadtentwicklung unterscheiden. Auf diese Weise sind unterschiedliche stadtklimatische Entwicklungen in Abhängigkeit von einer sich verändernden Stadtstruktur zu erkennen, was eine gute Hilfestellung hinsichtlich einer stadtklimatisch günstigen Stadtentwicklung darstellt.

Die Temperaturdifferenz der Sommerperiode im Zielhorizont 2031–2060 gegenüber dem Referenzzeitraum 1971–2000 wurde als Antriebstemperatur für die Modellläufe der beiden Zukunftsszenarien mit FITNAH-3D angesetzt (+2,4 K). Für den Ist-Zustand wurde die Differenz zwischen den Referenzzeiträumen 1971–2000 und 1991–2020 als Temperaturantrieb berücksichtigt. Dadurch ergibt sich für den Ist-Zustand sowie für beide Zukunftsszenarien ein Temperaturdelta von jeweils 1,7 K. Die Starttemperatur des Szenarios „Vergangenheit 2000“ entspricht entsprechend dem Mittelwert der Referenzperiode 1971–2000 (.

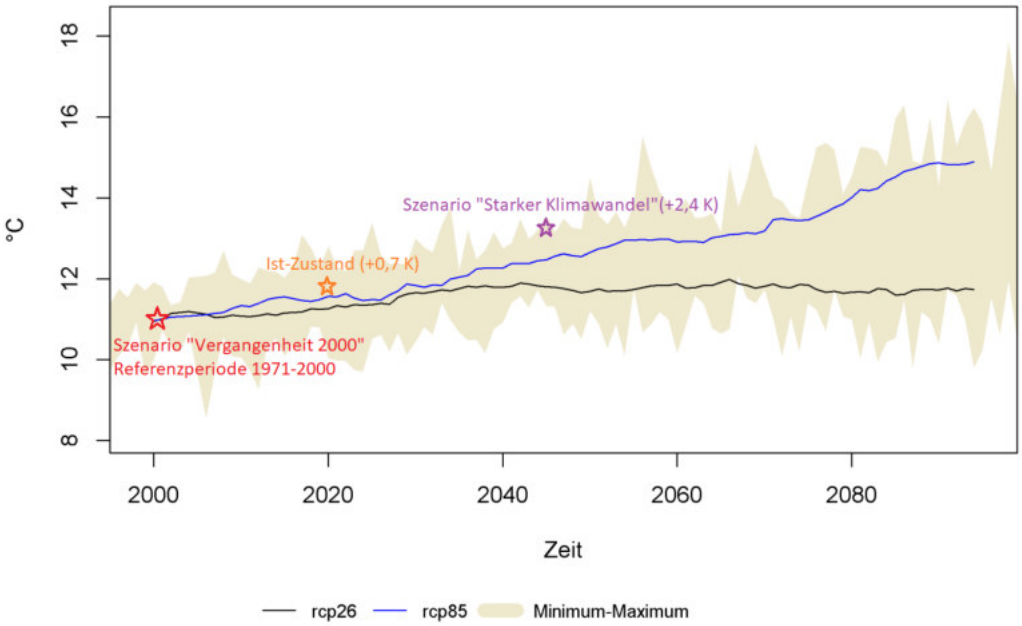


Abbildung 20: Darstellung der Modellantriebstemperaturen anhand der Darstellung zum zeitlichen Trend der jährlichen Mitteltemperaturen in Ludwigshafen (RCP-Szenarien 2.6 und 8.5).

Der bereits beobachtete Klimawandel wird anhand des Vergangenheitsszenarios berücksichtigt. Dieses Szenario stellt den klimatischen sowie Siedlungsstrukturellen Zustand des Jahres 2000 dar. Beim Jahr 2000 handelt es sich um den Zeitpunkt der letzten Stadtklimaanalyse in Ludwigshafen, welche noch ohne den Einsatz von Modellsimulationen erstellt wurde. Ein Vergleich der Modellergebnisse des Vergangenheitsszenarios mit jenen der aktuellen Situation (Referenzsituation „Ist“) soll vor allem die Wirksamkeit von seit dem Jahr 2000 umgesetzten Maßnahmen hinsichtlich einer stadtklimatisch angepassten Stadtentwicklung untersuchen.

Für die beiden Zukunftsszenarien wurden zusätzlich die Auswirkungen einer zunehmenden abnehmenden Bodenfeuchte berücksichtigt (vgl. Kap 3.1.3). In der Einheit % nFK (nutzbare Feldkapazität) bedeutet ein Wert < 30, dass Pflanzen unter Wasserstress stehen, und für niedrige Vegetation entsprechend am Tage der kühlende Effekt von Verdunstung ausfällt, während sie bei Werten > 50 % nFK optimal mit Wasser versorgt sind. Die nFK wurde in den Zukunftsszenarien auf 30 % gesetzt. Im Szenario „Vergangenheit 2000“ wurde die Bodenfeuchte konstant gehalten, entspricht also derjenigen im Referenzszenario / Ist-Situation, von 60 % nFK.

Die Entwicklung von Vegetation, besonders von Bäumen in der Stadt (Ausfall durch Hitzestress / Schädlinge / Unwetter einerseits, jährliches Wachstum andererseits) kann aus informationstechnischen Gründen bisher nicht abgebildet werden. Tabelle 6 fasst die wichtigsten Merkmale der Szenarien und der Referenzsituation zusammen.

Tabelle 6: entwickelte Szenarien und ihre zentralen Merkmale

Szenario	Zentrale Merkmale
Szenario 2000	■ Modellierung der Ludwigshafener Stadtstruktur im Jahr 2000 ■ Berücksichtigung eines Temperatursignals von -0,7 K im Vergleich zur Referenzperiode „heute“ 1991-2020. Dies entspricht dem Wert der Referenzperiode 1971-2000.
Referenzsituation, „Ist“	■ Modellierung mit aktueller FITNAH-3D Modellversion unter Verwendung einer Datenbasis von 2022 und 2023. ■ Referenzperiode „heute“ 1991-2020
(Zukunfts-)Szenario 1 „starker Klimawandel“ 2045	■ Berücksichtigung eines Temperatursignals von 1,7 K im Vergleich zur Referenzperiode „heute“ 1991-2020 (RCP 8.5), ■ Berücksichtigung der Auswirkungen einer zunehmenden Sommertrockenheit durch die Absenkung der Bodenfeuchte des Modells von 60 % auf 30 % nFK (nutzbare Feldkapazität)
(Zukunfts-)Szenario 2 „Starker Klimawandel“ 2045 mit Stadtentwicklung	■ Berücksichtigung eines Temperatursignals von 1,7 K im Vergleich zur Referenzperiode „heute“ 1991-2020 (RCP 8.5) ■ Berücksichtigung der Auswirkungen einer zunehmenden Sommertrockenheit durch die Absenkung der Bodenfeuchte des Modells von 60 % auf 30 % nFK (nutzbare Feldkapazität) ■ zusätzlich wurden 63 Bebauungspläne bzw. Bauprojekte eingepflegt, die zeitnah oder potenziell in Zukunft umgesetzt werden (Anhang A 3).

3.2.3 AUFBEREITUNG DER MODELLEINGANGSDATEN

Nach Abschluss der Szenarien- und Methodenentwicklung erfolgte die eigentliche Aufbereitung der Eingangsdaten für die Modellläufe. Ziel der Eingangsdatenaufbereitung ist es, aus in unterschiedlichen Auflösungen und Datenformaten vorliegenden Geoinformationen gerasterte Modelleingangsdaten mit einem regelmäßigen Gitter mit einer Gitterweite von 5 m zu erzeugen. Das Modell benötigt flächendeckende Informationen zu folgenden Parametern:

- Gelände / Orographie
- Landnutzung
- Strukturhöhe (Bäume und Baustruktur)

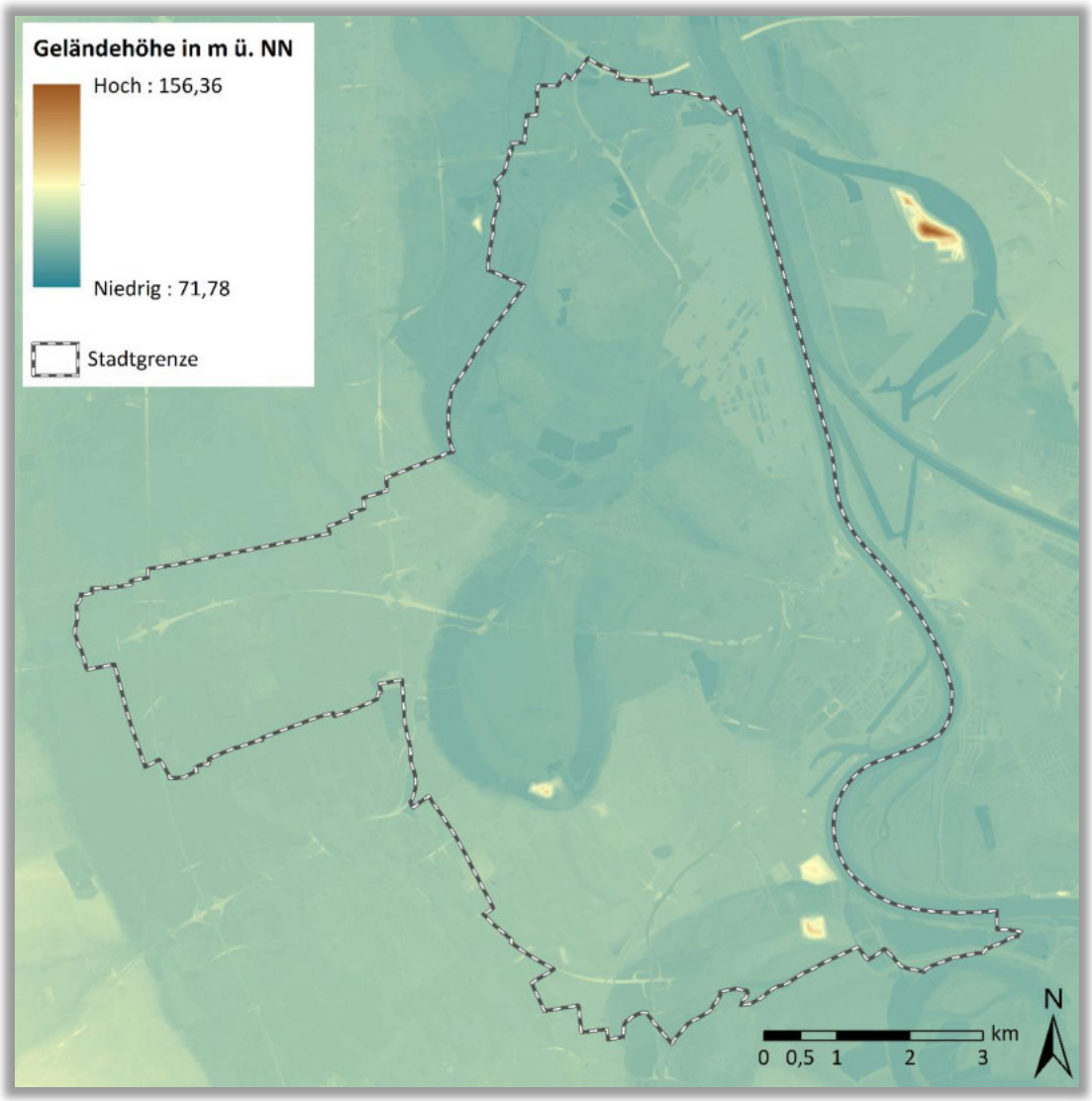


Abbildung 21: Digitales Geländemodell für das Untersuchungsgebiet.

Das Modellgebiet beinhaltet das gesamte Stadtgebiet sowie das angrenzende Umland. Die Abgrenzung erfolgte nach gutachterlich eingeschätzten Kaltlufteinzugsbereichen inkl. eines Sicherheitspuffers. Das Gebiet hat eine Größe von ca. 232 km² (Abbildung 21), weist also einen ca. dreifach so großen Flächeninhalt auf wie das zusammengenommene Stadtgebiet selbst (77,4 km²). Das Geländehöhenmodell liegt in einer Auflösung von 1 m vor.

Abbildung 21 verdeutlicht, dass das Relief im Stadtgebiet von Ludwigshafen sowie in dessen unmittelbarem Umland mit etwa 95 m über Normalnull weitgehend eben ist. Hinsichtlich der Kaltluftprozesse sind somit keine relevanten, reliefbedingten Hangabwinde zu erwarten. Stattdessen ist mit einer Dominanz thermisch induzierter Flurwindsysteme zu rechnen (vgl. Abbildung 7). Nennenswerte topografische Unterschiede innerhalb des Stadtgebiets treten lediglich in Form künstlicher Aufschüttungen (bis zu 124 m ü. NN) sowie durch die Rheinterrassen auf, die Höhenunterschiede von rund 5 m aufweisen.

Tabelle 6 fasst die wichtigsten Datenquellen für die Zuweisung der Nutzungsklassen sowie der Geländehöhe und Strukturhöhen zusammen. Die Primärdaten liegen in einer hohen räumlichen Auflösung bzw. Genauigkeit / Lagetreue vor. Dennoch kommt es bei der Übertragung ins Modellraster trotz der für gesamtstädtischen Modellanwendungen sehr hohen Auflösung zu Generalisierungseffekten. Diese können kleinräumig relevant sein, spielen für gesamtstädtische Fragestellungen aber eine untergeordnete Rolle.

Tabelle 7: Datenquellen zur Erstellung des Nutzungsrasters

Datenquelle	Aktualität	Datentyp	Auflösung	Verwendung
Geländehöhenmodell	2017	ASCII-Punkt-wolke „XYZ“	1 m	direkt Verwendung
ALKIS-Nutzung	2024	ESRI-Shapefile	-	Klassifikation zu FITNAH-Nutzungs-klassen
Werksdaten BASF	2023	ESRI-Shapefile		
Luftbilder CIR/RBGI-Luftbilder	1999/2022 2023	TIFF	0,05 bis 1 m	Berechnung NDVI für Vegetations-maske und versiegelte Flächen
Oberflächenmodell/ Laserscandaten (DOM)	2022	ASCII-Punkt-wolke „XYZ“	1 m	Berechnung eines normalisierten Oberflächenmodells (DOM minus DGM), Verschneidung mit NDVI für Vegetationshöhen und mit Gebäu-deumrissen für Gebäudehöhen
Baumkataster	2023	ESRI-Shapefile	-	Ergänzung zu den Vegetationshö-hen
Biotoptypenkartie-rung/Grünflächenka-taster	2022/2023	ESRI-Shapefile	-	Ergänzung von Vegetation/Grün-flächen

Hinsichtlich der Vegetationsbestimmung lagen neben einem Baumkataster (u.a. öffentlicher Raum, BASF-Werksgelände) hochaufgelöste RGBI-Luftbilder aus dem Jahr 2023 vor, die in einen Vegetationsindex (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index) überführt wurden. Ein NDVI-Schwellenwert von „0“ war geeignet, um die Bäume von vegetationslosen Flächen zu trennen. In Kombination mit der Strukturhöhe aus dem normalisierten Oberflächenmodell konnten auf diese Weise Baumstandorte identifiziert werden (Abbildung 22). Das erzeugte Raster bedurfte einer manuellen, visuellen Überprüfung, da beispielsweise Strommasten über Ackerflächen durch die ermittelte Strukturhöhe während der automatisierten Bearbeitung als Baum fehlinterpretiert wurden. Zudem haben Gebäudeschatten zu Fehlinterpretationen hinsichtlich versiegelter bzw. unversiegelter Flächen geführt. Zusätzlich war es aufgrund der gewählten 5 m x 5 m-Rasterauflösung nicht möglich, einzelne kleinkronige Bäume (Kronendurchmesser von etwa 3 Metern und kleiner) separat im Raster auszuweisen.

Abbildung 22: Ermittlung von Baumstandorten mittels Vegetationsindex und Strukturhöhe (Musterdarstellung)

Abbildung 23: Ausschnitt klassifizierte Landnutzung im 5 m Modell-Raster.

Die Modelleingangsdaten sollen den aktuellen Sachstand bzw. die Bebauungssituation in Ludwigshafen im Jahre 2023 repräsentieren. Schon im Bau befindliche Baustrukturen wurden größtenteils in die Modelleingangsdaten eingearbeitet. Abbildung 23 zeigt die in das Modell eingeflossenen Nutzungsklassen des Ist-Zustandes für das Ludwigshafener Stadtgebiet sowie dessen nähere Umgebung (ausgegraut).

Da für einen Großteil der insgesamt 63 im Zukunftsszenario 2 angenommenen Entwicklungsflächen (Anhang A 3) noch keine konkreten Bebauungsentwürfe existieren, wird für die Modellierung der sogenannte **Mischpixelansatz** als Approximationsmethode verwendet. Hierbei werden für die entsprechenden Flächen geeignete Bestandsflächen als Referenz definiert und deren anteilige Nutzungsstruktur ermittelt. Gemäß dem statistischen Anteil der zu erwartenden Nutzungen werden die zugehörigen Modellparameter in ihrer pixelhaften Ausprägung zufällig auf der Fläche verteilt. Hierdurch entstehen gegenüber einer sich später ergebenden tatsächlichen Umsetzung zwar Abweichungen der räumlichen Verteilung, nicht aber der bilanzierten planbedingten Beeinflussung der Klimafaktoren. Der Mischpixelansatz wird in diesem Sinne als geeignetes Näherungsverfahren zur Abbildung von Entwicklungsvorhaben in einem sehr frühen Planungsstadium aufgefasst. Die Abbildung 24 zeigt das Prinzip des Mischpixelansatzes.

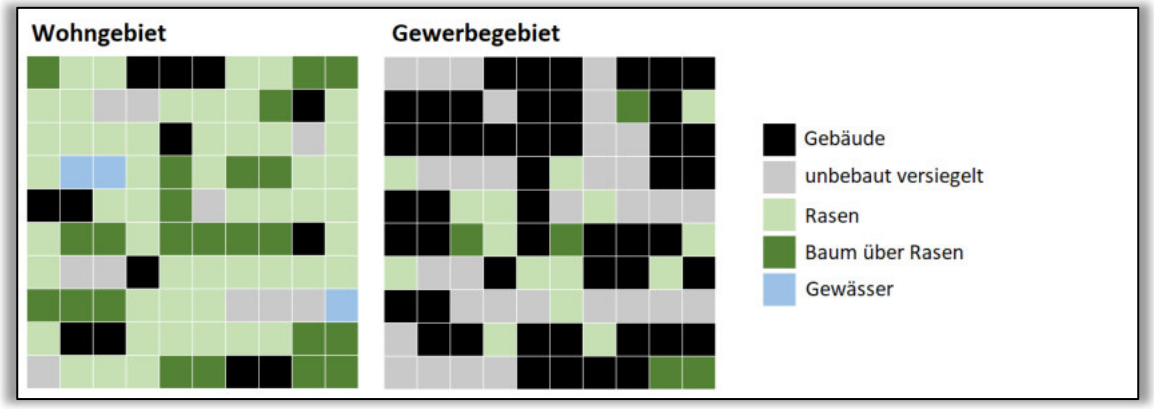


Abbildung 24: Prinzipskizze des Mischpixelansatzes. Verteilungsbeispiel für eine als Wohngebiet (links) und als Gewerbegebiet (rechts) umgesetzte Entwicklungsfläche.

3.2.4 RAHMEN- UND RANDBEDINGUNGEN

Sämtlichen Modellrechnungen liegt dem Stand der Technik entsprechend, ein sogenannter autochthoner Sommertag als meteorologische Rahmenbedingung zugrunde. Typischerweise führt ein autochthoner Sommertag aufgrund der hohen Einstrahlung und des geringen, großräumig (allochthon) bedingten Luftaustauschs zu Situationen, die im Jahresverlauf in Teilbereichen der Stadt die höchsten thermischen Belastungen mit sich bringen. Modelliert wurde ein Tagesgang mit Start um 21:00 bis 14:00 Uhr des Folgetages zum Datum des Sonnenhöchststandes (21. Juni). Die Wetterlage wird durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwach überlagernden synoptischen Wind gekennzeichnet, sodass sich die lokalklimatischen Besonderheiten in Ludwigshafen und Umgebung besonders gut ausprägen. Charakteristisch für solch eine sommerliche (Hochdruck-) Wetterlage sind die in Kapitel 2.2.2 beschriebenen Prozesse rund um den Wärmeinseleffekt und die Kaltluftdynamik.

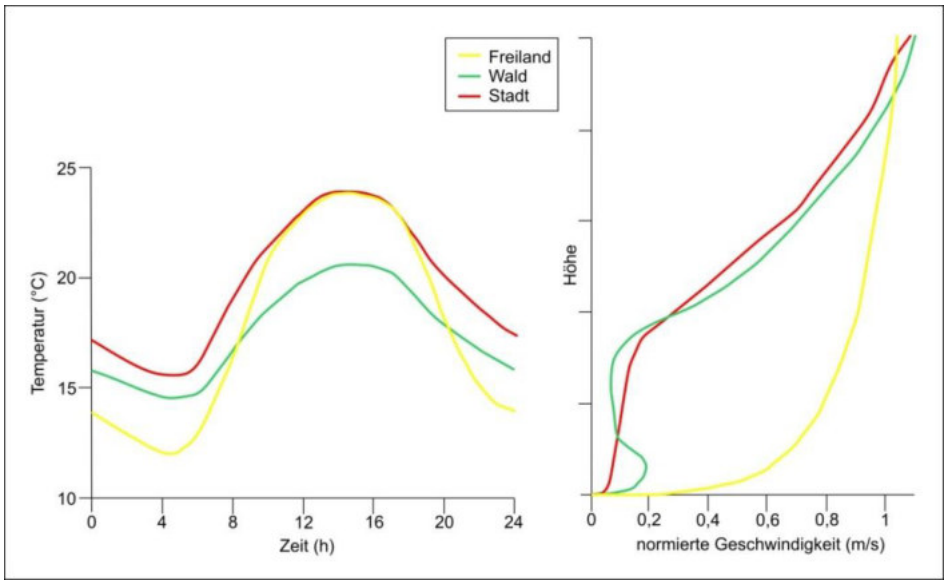


Abbildung 25: Schematische Darstellung des Tagesgangs der bodennahen Lufttemperatur und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit über verschiedenen Landnutzungen (eigene Darstellung nach Groß 1992).

In Abbildung 25 sind schematisch die für eine austauscharme sommerliche Wetterlage typischen tageszeitlichen Veränderungen der Temperatur und Vertikalprofile der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für die Landnutzungen Freiland, Stadt und Wald dargestellt. Beim Temperaturverlauf zeigt sich, dass unversiegelte Freiflächen wie z.B. Wiesen und bebaute Flächen ähnlich hohe Temperaturen zur Mittagszeit aufweisen können, während die nächtliche Abkühlung über Siedlungsflächen deutlich geringer ist (Wärmeinseleffekt). Waldflächen nehmen eine mittlere Ausprägung ein, da die nächtliche Auskühlung durch das Kronendach gedämpft wird. Hinsichtlich der Windgeschwindigkeit wird die Hinderniswirkung von Bebauung und Vegetationsstrukturen im Vertikalprofil deutlich.

Die Berücksichtigung der in Kapitel 3.1.3 beschriebenen Ausprägungen des regionalen Klimawandels in den Modellläufen für die Zukunftsszenarien erfolgt über eine Variation der Ausgangsbedingungen. Die Aufprägung des Temperatursignals für die beiden Modellrechnungen wird auf Basis des in der Literatur als „surrogate-climate-change“ beschriebenen Ansatzes vorgenommen (Schär et al. 1996). Das Delta wird dabei auf das Ausgangsprofil der Lufttemperatur auf allen Höhenniveaus addiert. Das 1D-Vertikalprofil zum Start der numerischen Simulation um 21 Uhr ist stabil geschichtet. Die absolute Temperatur nimmt mit 0,65 K/100m mit der Höhe ab. Die Windgeschwindigkeit in allen Höhen beträgt 0 m/s. Zum Simulationsstart beträgt die Temperatur am Boden 21,0 °C in der Ist-Situation bzw. 20,3 °C (Szenario „Vergangenheit 2000“) sowie 22,7 °C (Szenarien mit „starkem Klimawandel“).

Eine dauerhafte Erwärmung der Atmosphäre setzt sich auch im Erdboden fort, woraus höhere Bodentemperaturen resultieren. Gleichzeitig führen geringere Niederschläge in den Sommermonaten und eine stärkere Verdunstung zu einer erhöhten Austrocknung der Bodenschicht und damit zu einer etwas schlechteren Wärmeleitfähigkeit. Wie in Kapitel 3.2.2 beschrieben, wurde die Bodenfeuchte in den Zukunftsszenarien entsprechend auf 30 % nFK gesetzt, welches dem Welkepunkt entspricht. Nutzungsklassen mit niedriger Vegetation können dann nicht mehr verdunsten, sodass im Modell die einfallende kurzwellige Energie unmittelbar in fühlbare Wärme umgewandelt wird, was insbesondere in der Tagsituation zu einer Erhöhung der bodennahen Lufttemperatur beiträgt.

Die gewählten Startbedingungen repräsentieren eine zumindest für Teile der Stadt thermisch belastende Situation, nicht aber ein Extremereignis. Dieses Vorgehen wird gewählt, weil sich solche Lastfälle durch eine

nachhaltige Stadtentwicklung und entsprechende Maßnahmen im Außenraum noch positiv beeinflussen lassen. Extremereignisse sind zu selten und zu intensiv, um allein durch die in klassischen Stadtklimaanalysen betrachteten Maßnahmen bewältigt werden zu können.

3.2.5 MODELLAUSGABEGRÖSSEN

FITNAH gibt für den Themenkomplex thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt neun verschiedene physikalisch-meteorologische Ausgabegrößen für mehr als 20 Vertikalschichten und für stündliche – bei Bedarf für noch kürzere – Zeitschnitte aus (Tabelle 8). Insgesamt ergibt sich somit eine deutlich vierstellige Anzahl an Variablendimensionen als Ausgangpunkt für die aufgabenstellungsorientierte Weiterverarbeitung dieses Datensatzes mit einem Umfang von mehreren hundert Gigabyte. Zu den wesentlichsten Parametern zählen Strömungsparameter (U/V/W-Komponenten des Windes) sowie die die bodennahe Lufttemperatur beeinflussende Größen wie der fühlbare und latente Wärmestrom.

Tabelle 8: Von FITNAH zum Themenkomplex thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt berechnete Parameter.

Parameter und Einheit	Einheit	Dimensionalität
U-Komponente des Windes	[m/s]	Stündlich, dreidimensional für alle Vertikalschichten
V-Komponente des Windes	[m/s]	Stündlich, dreidimensional für alle Vertikalschichten
W-Komponente des Windes [m/s]	[m/s]	Stündlich, dreidimensional für alle Vertikalschichten
Potenzielle Lufttemperatur	[K]	Stündlich, dreidimensional für alle Vertikalschichten
Diffusionskoeffizient momentum	[m^2/s^2]	Stündlich, dreidimensional für alle Vertikalschichten
Turbulente kinetische Energie	[m^2/s^2]	Stündlich, dreidimensional für alle Vertikalschichten
Wärmestrom der Oberflächen	[W/s^2]	Stündlich, zweidimensional für die Oberflächen
Luftdruck	[N/m^2]	Stündlich, dreidimensional für alle Vertikalschichten
Spezifische Feuchte	[kg/kg]	Stündlich, dreidimensional für alle Vertikalschichten

Um die der Analyse zugrunde liegenden Fragestellungen bearbeiten zu können, hat sich in der gesamten Fachdisziplin eine gutachterliche Verdichtung und Weiterverarbeitung der vom Modell berechneten Parameter etabliert. In diesem sogenannten post-processing Schritt werden aus den o.g. Modellausgabegrößen standardisierte Kenngrößen abgeleitet, die von Anwendern in der Regional- und Stadtplanung mit entsprechenden Grundkenntnissen und von Fachgutachtern gleichermaßen verstanden und interpretiert werden. Dieses Vorgehen stellt den bestmöglichen Kompromiss zwischen aussagekräftigen, qualitativ hochwertigen und dennoch allgemeinverständlichen Ergebnissen dar. Für die FITNAH Ergebnisse hat sich in den letzten 20 Jahren ein Set aus zwölf abgeleiteten Ausgabegrößen für spezielle Auswerteniveaus und Auswertezeitpunkte entwickelt, von denen je nach Projektzielen ein individueller Parametersatz zusammengestellt wird (Tabelle 9).

In der Maximalvariante – die vor allem im Zusammenhang mit umfassenden Stadtklimaanalysen zum Tragen kommt – handelt es sich insbesondere um Windfelder, Kaltluftparameter, absolute Lufttemperaturen und humanbioklimatische Indizes. Bezüglich der zu betrachtenden Vertikalschichten liegt der Fokus auf dem bodennahen Niveau, was dem Aufenthaltsbereich des Menschen entspricht. Mit der Kaltluftvolumenstromdichte existiert hier eine Ausnahme, bei der bis zu einer spezifischen Höhe integriert wird. Die Auswertezeitpunkte liegen für die nächtlichen Kenngrößen um 04:00 Uhr morgens des modellierten Tagesgangs als Zeitpunkt der maximalen Abkühlung bzw. Ausprägung des Kaltluftprozessgeschehens sowie für die Indizes der Tagsituation um 14:00 Uhr als Zeitpunkt der maximalen Einstrahlung.

Tabelle 9: abgeleitete Ausgabegrößen von FITNAH zum Themenkomplex thermischer Komfort und Kaltlufthaushalt

Parameter und Einheit	Einheit	Höhenniveau	Zeitliche Dimension
Windgeschwindigkeit	[m/s]	2/10 m ü. Gr.	04:00 Uhr
Windrichtung [als geographische Rotation]	°	2/10 m ü.Gr.	04:00 Uhr
Absolute Lufttemperatur	[°C]	2 m ü. Gr.	04:00/14:00 Uhr
Kaltluftproduktionsrate	m^3/m^2 h	2 m ü. Gr.	04:00 Uhr
Kaltluftvolumenstromdichte	$m^3/(s*m)$	Integral bis 50 m ü. Gr.	04:00 Uhr
Physiologisch Äquivalente Temperatur	[°C]	1,1 m ü. Gr.	14:00 Uhr

3.2.6 QUALITÄTSSICHERUNG

Die Qualitätssicherung stellt den abschließenden Arbeitsschritt der Modellierung im engeren Sinne dar. Sie ist Bestandteil des zertifizierten Qualitätsmanagements nach DIN EN ISO 9001:2015, das bei GEO-NET für komplexere Modellanwendungen vorgesehen ist. In diesem Arbeitsschritt unterzieht das bearbeitende Projektteam die Modellergebnisse einem teilformalisierten Plausibilitäts-Check. Hierbei werden die Modellergebnisse zum einen anhand von ausgewählten Teilgebieten im Rahmen einer Teamsitzung fachlich diskutiert sowie ggf. geostatistischen ad hoc Analysen unterzogen bzw. mit vergleichbaren Ergebnissen aus anderen Projekten in Beziehung gesetzt. Die Teilgebiete sind so gewählt, dass sie alle im Rahmen vorheriger Arbeitsschritte identifizierten Besonderheiten sowie alle Abweichungen vom bisherigen Modellstandard abdecken. Die Modellergebnisse gelten dann als qualitätsgesichert, wenn das Projektteam durch einstimmiges Votum deren hinreichende Qualität erklärt. Werden signifikante Auffälligkeiten festgestellt, sind diese in einem ggf. iterativen Prozess kostenneutral für den Auftraggeber zu bereinigen.

Im vorliegenden Fall erfolgte die Qualitätssicherung getrennt nach den vier Modellläufen, wobei in den Szenarien insbesondere auch die angenommene Änderung durch dem Klimawandel in den Fokus genommen wurde. Alle Modellläufe durchliefen erfolgreich die Qualitätssicherung.

3.2.7 UNSICHERHEITEN UND HERAUSFORDERUNGEN

Die numerische Stadtklimamodellierung ist anderen analytischen Ansätzen der Fachdisziplin (Messungen, klimatopbasierte GIS-Analysen) aufgrund ihres physikalischen, flächendeckenden und das Kaltluftprozessgeschehen berücksichtigenden Outputs überlegen. Dennoch sind Modellanwendungen mit Unsicherheiten verbunden, auf die im Sinne eines umfassenden, auf Transparenz und Akzeptanz ausgerichteten Analyseansatzes hingewiesen werden muss. Die Unsicherheiten lassen sich unter den folgenden Überschriften einordnen:

- Unsicherheiten im Modell („interne Unsicherheiten“)
- Unsicherheiten in den Eingangsdaten („externe Unsicherheiten“)

Zunächst einmal sind Modelle per Definition unvollständige Abbilder der Wirklichkeit (Stachowiak 1973). Sie erheben damit keinen Anspruch, das zu modellierende System allumfassend abzubilden, sondern wollen dieses hinreichend gut repräsentieren. Den Maßstab zur Gütebeurteilung bildet dabei das anvisierte Einsatzgebiet des Modells. Dieser Ansatz gilt für (Stadt-)Klimamodelle aufgrund der Komplexität der in physikalischen Gleichungen abzubildenden (Stadt-)Atmosphäre in besonderem Maße. Folglich ist das hier eingesetzte Modell FITNAH-3D nicht mit der Ambition verknüpft, restlos alle ablaufenden Prozesse bis ins letzte Detail abbilden zu wollen, sondern jene Prozesse, die zur Erfüllung der speziellen Aufgabe notwendig sind. FITNAH-3D erfüllt dabei die in der VDI-Richtlinie 3787, Bl. 7 (VDI 2015) definierten Standards zur Windfeldmodellierung. Allerdings existieren Prozesse, deren Abbildung gemäß VDI-Richtlinien nicht zu gewährleisten ist, aus denen sich jedoch gewisse Unsicherheiten ergeben können. So wird FITNAH-3D dem Stand der Technik entsprechend beispielsweise im sogenannten RANS-Modus (Reynolds-averaged Navier-Stokes equations) betrieben, bei dem Turbulenzen nicht explizit, sondern mithilfe von vereinfachenden Gleichungen abgebildet werden. Demgegenüber steht der Turbulenzen auflösende sog. LES-Modus (Large Eddy Simulation), der im Zusammenhang mit Stadtklimaanwendungen noch Gegenstand von Forschungs- & Entwicklungs-Vorhaben ist.

Zu den internen Unsicherheiten gehört darüber hinaus auch das sogenannte „Modellrauschen“. Es beschreibt, in welchem Ausmaß die Ergebnisse zwischen mehreren Modellläufen mit demselben Antrieb bzw. denselben Randbedingungen über verschiedene räumliche und zeitliche Skalen variieren. Dieser Punkt ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn die entsprechende Analyse auch Szenarien-Rechnungen enthält, also z.B. die Auswirkungen des zukünftig erwarteten Klimawandels, von Stadtentwicklungsszenarien und/oder Maßnahmenszenarien abbildet. Für das bodennahe Temperaturfeld in FITNAH-3D liegt das Modellrauschen bei +/- 0,1 bis

0,2 K pro Rasterzelle und Zeitschnitt. Das ist eine sehr geringe Unsicherheit, die sich bei einer Mittelwertbildung auf größere Flächeneinheiten noch einmal verringert. Analog gilt das für die im Modell abgebildeten Parameter des Kaltlufthaushaltes. Bei der Kaltluftvolumenstromdichte liegt das Modellrauschen bei +/- 1 bis 2 % bezogen auf eine flächenhafte Betrachtung. Bei der Kaltluftproduktionsrate besteht aufgrund ihres primär empirisch hergeleiteten Wertes keine Unsicherheit. Insgesamt zeigt sich, dass zwar modellinterne Unsicherheiten bestehen, diese aber spätestens auf der Ebene der flächenhaft aggregierten Werte in der Basisgeometrie zu vernachlässigen sind.

Insbesondere kleinräumig stellen die zur Verfügung stehenden bzw. mit vertretbarem Aufwand erzeugbaren Modelleingangsdaten die relevantere Unsicherheitsquelle dar. Die Unsicherheiten können sich dabei ergeben aus

- der Art ihrer Weiterverarbeitung zur Verwendbarkeit im Rahmen der Analyse
- der Aktualität der Daten (bzw. ihrer Obsoleszenz), und
- ihrer Genauigkeit (bzw. Ungenauigkeit) bzw. ihres Informationsgehaltes

Im vorliegenden Projekt wurden zunächst sämtliche Eingangsdaten in der Analyse in ein regelmäßiges Raster überführt, bei dem ein Gitterpunkt die Hauptnutzung auf einer Fläche von 25 m² repräsentiert. Zwar liegen die Unsicherheiten dieses Gebäude und Grünstrukturen auflösenden Ansatzes deutlich unterhalb von mesoskaligen Ansätzen mit parametrisierten Landnutzungsklassen, dennoch werden sehr kleinteilige Strukturen auch in dieser hohen Auflösung noch unterschätzt. Städte haben besonders kleinteilige Strukturen, sodass oftmals gleich mehrere verschiedene Nutzungsstrukturen in ein und derselben Rasterzelle liegen. In den Eingangsdaten und damit auch im Modell wird jedoch nur die Nutzung berücksichtigt, die den größten Flächenanteil in der Rasterzelle einnimmt. So können z.B. besonders kleinkronige Einzelbäume in einem 5 m-Gitter nicht erfasst werden, was sich insbesondere auf die PET am Tag auswirkt. Es kann demnach vorkommen, dass eine Straße mit kleinkronigen Einzelbäumen nicht oder zumindest nicht durchgängig als Allee erkannt wird. Die betroffenen Teilräume sind in der Regel aber sehr klein mit sehr lokalen Effekten, sodass in der gesamtstädtischen Perspektive bzw. in den grundsätzlichen Schlussfolgerungen keine relevanten Auswirkungen zu erwarten sind. Dennoch empfiehlt sich im konkreten Anwendungs-/Zweifelsfall immer ein kritischer ortskundiger Blick auf die zugrunde liegenden Eingangsdaten.

Die bedeutsamste Unsicherheitsquelle ist die Informationstiefe der zur Verfügung stehenden Daten. Dies bezieht sich zum einen auf die Gebäude. Auf Basis der für dieses Projekt zur Verfügung stehenden Daten sind Gebäude in der vorliegenden Analyse anhand von Gebäudeumringen eingegangen– also mit ihrer exakten Lage im Raum. Die durchschnittliche Gebäudehöhe wurde dagegen aus der Differenz des digitalen Gelände- und Oberflächenmodells abgeleitet. Damit sind flächendeckend alle Informationen vorhanden, um die Gebäude im Modell als Strömungshindernis definieren zu können. Auch bzgl. ihres Wärmeemissionsgrades können Gebäude hinreichend gut im Modell abgebildet werden. Allerdings bestehen hier Unsicherheiten, die sich aus fehlenden (gesamtstädtischen) Informationen zu z.B. Baumaterialien, Oberflächenalbedo und Fensteranteilen ergeben. Der Wärmeemissionsgrad der Gebäude kann gegenwärtig somit im Modell ausschließlich über das Bauvolumen abgebildet werden.

Vergleichbares gilt für flächendeckende, kleinräumige Informationen zu Bodeneigenschaften wie der Wärmeleitfähigkeit oder der Bodenfeuchte. Diese könnten aus einer Stadtbodenkartierung abgeleitet und mit ihren speziellen Eigenschaften im Modell berücksichtigt werden. Da ein städtischer Geodatensatz i.d.R. und auch hinsichtlich dieser Analyse nicht verfügbar ist, können diese Informationen in einer gesamtstädtischen Analyse nicht mit vertretbarem Aufwand verwendet werden. Folglich wird im Modell mit einem einheitlichen Bodenprofil gearbeitet, dessen Oberflächeneigenschaften über die flächendeckend vorliegende Zusatzinformation „naturferner Boden“ über das Nutzungsraster modifiziert wird.

Studien deuten darauf hin, dass diese und andere Unsicherheiten in den Modelleingangsdaten im kleinräumigen Einzelfall einen Unterschied bei der Lufttemperatur in 2 m Höhe um die Mittagszeit von 1,5 K und in den Nachtstunden von 1,1 K betragen kann, was wiederum zu kleinräumigen Auswirkungen auf thermisch bedingte Strömungen führen kann (Groß 2016). Es sei noch einmal betont, dass diese Unsicherheiten nicht im Modell begründet liegen – in dem diese Informationen grundsätzlich verarbeitet werden könnten – sondern in nicht oder nicht flächendeckend zur Verfügung stehenden (Geo-)Basisinformationen. Angesichts der rasanten Entwicklung in der Fernerkundung und der Datenstandards (z.B. im Bereich des BIM - Building Information Modeling) ist damit zu rechnen, dass entsprechende Informationen mittelfristig (+/- 10 Jahre) für die gesamtstädtische Ebene bereitstehen und modelltechnisch abgebildet werden können.

Kapitel 3.2.3 legt die jeweils verwendeten Datenquellen und –erhebungszeitpunkte detailliert offen. So stammt das Geländehöhenmodell aus dem Jahr 2017 und das Oberflächenmodell aus einer Laserscanbefliegung im Jahr 2022. Während sich die Geländehöhe seitdem nicht (oder zumindest nicht in relevanter Größenordnung) verändert hat, bestimmt das Oberflächenmodell die Vegetations- und teilweise Gebäudehöhen. Die Vegetationshöhen der öffentlichen Baumbestände in Ludwigshafen wurden allerdings mit Informationen aus 2023 ergänzt. Die Infrarot-Luftbilder (RGBI/CIR), welche (neben der Festlegung der versiegelten Flächen) die Verortung von Vegetation definiert, sind aus 2022 und damit relativ aktuell. Hinsichtlich der Infrarot-Luftbilder ist ebenfalls das Datum der Aufnahme relevant, da aufgrund der Vegetationsperiode (Belaubung der Vegetation) sowie des Sonnenstands (Schattenwurf von Gebäuden und Bäumen) Vegetation unterschiedlich gut über den NDVI bestimmt werden kann. Die Datensätze zu Gebäuden, deren Höhen sowie der ALKIS-Nutzung stammen aus 2023/2024 und entsprechen somit nahezu dem Maximum an Aktualität. Zudem wurde der Geodatensatz mit aktuellen Werksgeländedaten (Bebauung, Versiegelung, Vegetation) der BASF ergänzt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass numerische Modellrechnungen – ebenso wie alle anderen Analysemethoden in der Umweltanalytik im Allgemeinen und der Angewandten Stadtklimatologie im Speziellen – mit gewissen Unsicherheiten verbunden sind. Es ist aber deutlich geworden, dass diese Unsicherheiten allenfalls kleinräumig relevant sind und folglich auf die zentralen Ergebnisse der vorliegenden Analyse einen zu vernachlässigenden Einfluss haben dürften. Nichtsdestotrotz wird es die Aufgabe des gesamten Fachgebiets der kommenden Jahre sein, die bestehenden Unsicherheiten weiter zu reduzieren und die Modellergebnisse auf einem sehr hohen Niveau noch weiter zu verbessern.

4. Klima- und Betroffenheitsanalyse

In der folgenden Klima- und Betroffenheitsanalyse ist hauptsächlich die thermische Belastung sowie die Kaltluftversorgung der städtischen Gebiete Gegenstand der detaillierten Untersuchungen. Weitere Betroffenheiten ergeben sich neben der Hitzethematik ebenfalls durch Starkregen, Hochwasser und Trockenheit/Niedrigwasser. Wie bereits zuvor erwähnt, bildet das parallel erarbeitete Starkregen- und Hochwasservorsorgekonzept die ausführliche Ergänzung zum vorliegenden Klimaanpassungskonzept. Eine kurze Übersicht zu den genannten Themenfeldern der klimatischen Betroffenheit in Ludwigshafen und zu einem klimatisch sowie naturschutzfachlich besonders wertvollen Gebiet innerhalb der Stadt, dem Maudacher Bruch, soll hier dennoch einleitend gegeben werden.

Hochwasser

Große Teile des Stadtgebietes Ludwigshafen liegen in der ehemaligen, heute ausgedeichten Rheinaue und sind damit - je nach Höhenlage - latent durch ein Versagen der Hochwasserschutzeinrichtungen gefährdet. Gleichzeitig stellen die Vorfluter Rehbach und Isenach aus dem Hinterland, in Verbindung mit Hochwasserereignissen des Rheines und Starkregenereignissen ebenfalls eine Gefahrenquelle für die Siedlungsbereiche dar.

Vor diesem Hintergrund wurden, insbesondere im Bereich des Rheines, seit 1984 die technischen Hochwasserschutzeinrichtungen der Stadt kontinuierlich weiterentwickelt.

Neben diesen technischen (Abwehr) Maßnahmen sind weitere Schritte zur Wasserrückhaltung notwendig, die u.a. im Rahmen des Gewässerkonzeptes 2020, das im Jahr 2002 verabschiedet wurde und kontinuierlich fortgeschrieben wird; zuletzt erfolgte Bericht im Umweltausschuss am 20.08.2020 und im BGA am 30.08.2021.

Im Wesentlichen bestehen drei Gefahrenschwerpunkte durch Hochwasser:

- Im Bereich des Rheines die Gefahr des Deichbruchs oder der Überströmung bei Extremereignis
- Im Bereich der Isenach die Gefahr der Überschwemmung bei Extremereignis (sehr starke Niederschläge im Einzugsgebiet, hauptsächlich Haardtrand und Pfälzer Wald)
- Im Bereich des Rehbachs die Gefahr des Deichbruchs oder der Überströmung bei Extremereignis (sehr starke Niederschläge im Einzugsgebiet, hauptsächlich Haardtrand und Pfälzer Wald)

Die vom Land Rheinland-Pfalz bereitgestellten Hochwasserrisikokarten liefern eine gute Basis für die Beurteilung der Gefährdung und möglicher Maßnahmen (https://hochwassermanagement.rlp.de/).

Im Rahmen der Hochwasserpartnerschaft „Nördliche Vorderpfalz, die 2010 gegründet wurde, werden Hochwasserschutzeinrichtungen sowie Alarm- und Einsatzpläne kontinuierlich verbessert. Dies soll nun unter Einbeziehung der Bevölkerung fortgesetzt werden, um das Bewusstsein und auch die Information der Bevölkerung für den Hochwasserschutz und die Eigenverantwortung zu stärken. Dies umso mehr, da in Ludwigshafen beim Versagen der Hochwassereinrichtungen rund 100.000 Menschen betroffen wären. Bei extremen Hochwasserereignissen können auch hinter gut ausgebauten Schutzanlagen große Schäden entstehen. Häufig sind damit auch Grundwasseranstiege verbunden.

Starkregen

Noch weniger kalkulierbar sind Starkregenereignisse, die auch zu erheblichen Schäden führen können. Bisher wurden von Land, Stadt, Industrie und Gewerbe erhebliche Anstrengungen gemacht, um entsprechend für solche Ereignisse gerüstet zu sein.

In einem verwaltungsinternen Arbeitskreis wurde ein Handlungskonzept für die Einbindung der Starkregenvorsorge in die Verwaltungsabläufe erarbeitet. Die Ergebnisse dieses Arbeitskreises wurden im Werkausschuss am 14.02.2020 vorgestellt und auf der städtischen Homepage veröffentlicht. Dieses Handlungskonzept gilt es durch ein Maßnahmenprogramm und eine umfassende Öffentlichkeitsarbeit zu ergänzen. Mittlerweile wurde vom Land Rheinland-Pfalz auch eine erweiterte Sturzflutgefahrenkarte zur Verfügung gestellt, die als weitere Grundlage für die Vorsorgeplanung bei extremen Starkregen herangezogen wird (https://hochwassermanagement.rlp.de/).

Für die Erstellung des Vorsorgekonzeptes hat das Land Rheinland-Pfalz Fördermittel zur Verfügung gestellt. Das Hochwasser- und Starkregenvorsorgekonzept wird mit Förderung des Landes Rheinland-Pfalz derzeit parallel zum Klimaanpassungskonzept erstellt. Dort werden die Maßnahmen ausführlicher dargestellt.

Trockenheit

Die Oberrheinebene zählt mit ihren geringen Jahresniederschlägen in einer Größenordnung von 500 mm zu den trockensten Gebieten Deutschlands. In Extremjahren wie Anfang der 70er Jahre und Anfang der 2000er Jahre fallen teilweise kaum mehr als die Hälfte des Niederschlags. Hinzu kommt eine deutliche Verschiebung der Niederschläge in das Winterhalbjahr Gerade in den Sommermonaten zeigt sich eine zunehmende Tendenz der Trockenheit.

Langanhaltende Trockenperioden können auch zu Niedrigwasserereignissen in den Gewässern führen. Durch geringe oberirdische Zuflüsse und erschöpfte Grundwasservorräte sinken die Wasserstände in den Gewässern. Grundsätzlich handelt es sich dabei auch um natürlich vorkommende Ereignisse. In Verbindung mit einer anthropogenen Absenkung der Grundwasserspiegel durch Versiegelung und Grundwasserentnahme gerade in den Sommermonaten führt dies aber zu einer Verschärfung der Trockensituation. Die Betroffenheit liegt bei einer Nutzung als Grünland grundsätzlich höher als bei einer Ackernutzung. Durch den Klimawandel und die daraus resultierende Häufung und Intensivierung von Hitzewellen und der Verschiebung des Jahresniederschlags, ist von einer Zunahme von Niedrigwasserereignissen auszugehen. Grundsätzlich können kleine und große Gewässer von Niedrigwasserereignissen betroffen sein. In Ludwigshafen ist als überregionales Gewässer insbesondere der Rhein mit seinem Einfluss auf die umliegenden Gewässer zu nennen. Mit geringen Wasserständen in Gewässern gehen häufig ein Anstieg der Wassertemperatur und ein Sauerstoffmangel einher.

Neben ökologischen Auswirkungen, die derartige Ereignisse haben, erfolgt auch eine negative Veränderung des Stadtklimas. Stadtbäume in den „Hot Spots“ der Innenstädte sind von solchen Situationen besonders betroffen. Sind städtische Grün- und Freiflächen nicht genügend mit Wasser versorgt und stark ausgetrocknet, können sie nicht mehr durch Verdunstung zur wichtigen und effektiven Abkühlung von städtischen Räumen beitragen. Zudem ergeben sich u. a. auch wirtschaftliche Herausforderungen (fehlende Schiffbarkeit) und die Aufenthaltsqualität an den Gewässern sinkt. Praxisbeispiele wie Unternehmen sich gegen die wirtschaftlichen Herausforderungen durch Niedrigwasser und zunehmende Temperaturen wappnen können finden sich in der Infobox *Beispiel: Klimaanpassung bei BASF* (Kapitel 4.5). Eine Betrachtung der räumlichen Betroffenheit durch Niedrigwasserereignissen im Rhein ist zum Beispiel anhand von Pegeldaten möglich.

Besondere Betroffenheit des Niedermoors Maudacher Bruch durch Trockenheit

Besonders betroffen durch Trockenheit sind in Ludwigshafen Feuchtgebiete wie das Maudacher Bruch. Das Maudacher Bruch ist ein ehemaliger Mäander des Rheines, der in der Hallstattzeit also etwa vor rund 2500 Jahren vom Rhein abgetrennt wurde. Danach setzte die Verlandung und Vermoorung des Gebietes ein mit Torfmächtigkeiten von bis zu rund zwei Metern. Es ist trotz aller Veränderungen eines der wertvollsten Biotope der Stadt Ludwigshafen.

Die Kultivierungsmaßnahmen der 20er und 30er Jahre des 20. Jahrhundert führten schon zu erheblichen Einschnitten in den Wasser- und Nährstoffhaushaltes des Maudacher Bruchs. Das Grabenentwässerungsprojekt führt zu Absenkungen von etwa 60 cm. Nach dem zweiten Weltkrieg beginnt in den 1950er Jahren zunehmend eine Intensivierung der Bodennutzung. Die feuchten, schlecht nutzbaren Wiesenbereiche verbrachen und verbuschen zunehmend. Aber es beginnen auch die ersten Aufforstungen der Wiesenflächen.

Nach den trockenen und heißen Sommern der 1970er Jahre brechen im Maudacher Bruch die Grundwasserstände drastisch ein. Mit einem Paukenschlag rückt das Thema Wasserhaushalt in das öffentliche Interesse. Ursache sind die Grundwasserentnahmen durch Landwirtschaft, Industrie und zur Trinkwassergewinnung im Großraum. Ab diesem Zeitpunkt finden vermehrt Moorsackungen (teilweise bis 60 Zentimeter) und eine starke Mineralisierung (d.h. der Zersetzung des Torfes durch Mikroorganismen) mit der Folge der Eutrophierung statt, also der Nährstofffreisetzung im Maudacher Bruch. Sichtbares und dominantes Zeichen ist die massive Ausbreitung der Brennnessel.

Voraussetzung für die Entstehung und den Erhalt des Niedermoortorfes ist die gleichmäßige Wasserversorgung des Standortes und relativ geringe Wasserstandsschwankungen. Ein Zentimeter Torf entsteht aus abgestorbenen Pflanzenmaterial unter Wasser in rund zehn Jahren. D.h. die Moormächtigkeiten im Maudacher Bruch entstanden in den letzten 1500 bis 2000 Jahren. Der Abbau bei Entwässerung ist deutlich schneller. So schwindet der Torfkörper in zehn- bis zwanzigfacher Geschwindigkeit und setzt dabei große Mengen an Kohlendioxid (bis zu 40 t/ha) frei. Es ist absehbar, dass ohne Gegenmaßnahmen das Niedermoor in absehbarer Zeit der Vergangenheit angehören könnte.

Seit Anfang der 1980er Jahre bemüht sich die Stadt, Teile des Bruchs in seiner Ursprünglichkeit weiterzuentwickeln. Eines der ersten Projekte waren gemeinsam mit den Technischen Werken Ludwigshafen (TWL) Wassereinleitungen aus Filterrückspülwasser. Bis heute werden rund 100.000 Kubikmeter pro Jahr eingeleitet. Dies ist möglich, da in großen Teilen unterhalb der Torfschicht des Bruchs eine wasserundurchlässige Bodenschicht liegt, die so genannte „Lehmwanne“. Das eingeleitete Wasser kann nur im geringen Umfang in den oberen Grundwasserleiter versickern. Es sammelt sich wie in einer Badewanne und steht so den Pflanzen länger als in den benachbarten Gebieten zur Verfügung.

In Trockenzeiten, wie gerade auch im Jahr 2003, als gerade etwas mehr als die Hälfte des Jahresniederschlages ankam, fällt auch der Bereich innerhalb der Lehmwanne immer wieder trocken. Über das Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz des BMUV wurde ein Förderprojekt zur Wiedervernässung des Maudacher Bruchs im Jahr 2024 bewilligt, was bis 2030 vor Ort umgesetzt werden wird.

4.1 ERGEBNISSE DER NUMERISCHEN MODELLIERUNGEN

Im Folgenden werden die rasterbasierten Modellergebnisse für den Ist-Zustand sowie die beiden Zukunftsszenarien dargestellt. Diese umfassen die Parameter Lufttemperatur, Kaltluftströmungsfeld und Kaltluftvolumenstrom (für die Nachtsituation) sowie die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) als Maß für die empfundene bzw. gefühlte Temperatur (für die Tagsituation). Die Ergebnisse basieren auf einer horizontalen räumlichen Auflösung von 5 m (pro Rasterzelle ein Wert) und einer autochthonen Sommerwetterlage (vgl. Kapitel 3.2.4). Mit Ausnahme des Kaltluftvolumenstroms gelten sie für den bodennahen Aufenthaltsbereich des Menschen und betrachten die Zeitpunkte 4 Uhr bzw. 23 Uhr für die Nachtsituation sowie 14 Uhr für die Tagsituation. Die Modellergebnisse werden in Kartenform sowie als Geodaten (georeferenzierte Raster (*.tif)) an die Auftraggeberin übergeben. Bei den nachfolgend dargestellten Karten handelt es sich in Hinblick auf eine bessere Lesbarkeit um Ausschnitte der jeweiligen Gesamtkarten. Letztere sind ergänzend dem Anhang zu entnehmen.

4.1.1 NÄCHTLICHES TEMPERATURFELD UND KALTLUFTPRODUKTION

Die Ermittlung der bodennahen nächtlichen **Lufttemperatur** ermöglicht es, überwärmte städtische Bereiche (sogenannte städtische Wärmeinseln) zu identifizieren, und die räumliche Wirksamkeit von Kaltluftströmungen abzuschätzen. Die aufgeführten Absolutwerte der Lufttemperatur sind exemplarisch für eine sommerliche Strahlungswetterlage zu verstehen. Die relativen Unterschiede innerhalb der Stadt bzw. zwischen verschiedenen Landnutzungen gelten dagegen weitgehend auch während anderer Wetterlagen.

In Abhängigkeit der Landnutzung bzw. Boden- und Oberflächeneigenschaften sowie beeinflusst durch die Lage und Höhe des Standorts, kühlen Flächen in den Abend- und Nachtstunden unterschiedlich stark ab. So reicht die bodennahe nächtliche Lufttemperatur im Modellergebnis in der Ist-Situation von ca. 14-15 °C über siedlungsfernen Freiflächen und Waldlichtungen bis über 20 °C in hoch versiegelten Bereichen und umfasst in Ludwigshafen damit eine Spannweite von mehr als 6 °C (Abbildung 26).

Die höchsten nächtlichen Temperaturen (um 20 °C in der Ist-Situation, und bis über 22 °C in den Szenarien mit einem „starkem Klimawandel“) treten vorwiegend in der Innenstadt, den hoch versiegelten Industrie- und Gewerbegebieten (z.B. BASF Werksgelände, Entwicklungsachse West, Rheinhafen) auf. Auch das Zentrum des Stadtteils Oggersheim sowie weitere dicht bebaute Siedlungslagen weisen deutlich höhere Temperaturen auf. Geringe nächtliche Lufttemperaturen sind dagegen vor allem in den überwiegend aufgelockerten Siedlungsbereichen der Stadtteile Niederfeld, Gartenstadt, Hochfeld sowie in den meisten Randlagen der weiteren Stadtteile (ca. 16 – 18 °C bzw. 17,5 bis 19,5 °C in den Szenarien mit „starkem Klimawandel“) verortet.

Grünflächen wirken ausgleichend auf die höheren Lufttemperaturen im Siedlungsraum, wobei sich hier ein differenziertes Bild ergibt. Freiflächen - vor allem die landwirtschaftlichen Flächen im Umland sowie größere innerstädtische Grünflächen – kühlen am stärksten aus und weisen überwiegend Werte zwischen 14 - 15 °C (bzw. 16 – 17 °C in den Szenarien mit „starkem Klimawandel“) auf. In Wäldern bzw. auf Flächen mit dichtem Baumbestand mindert dagegen das Kronendach die nächtliche Ausstrahlung und somit die Auskühlung der Oberfläche. Die bodennahen Temperaturen in den Waldgebieten des Maudacher Bruchs liegen je nach Art des Baumbestandes bei etwa 15 – 18 °C (bzw. in den Szenarien mit „starkem Klimawandel“ bis zu 20 °C) in der Nacht. Auch wenn dies teilweise höhere Temperaturen als in stark durchgrünten Siedlungsräumen zur Folge hat, nehmen Waldgebiete bzw. baumbestandene Flächen eine wichtige Funktion als Frischluftproduktionsgebiete ein, in denen sauerstoffreiche und wenig belastete Luft entsteht. Zudem kann sich Kaltluft auch über dem Kronendach bilden.

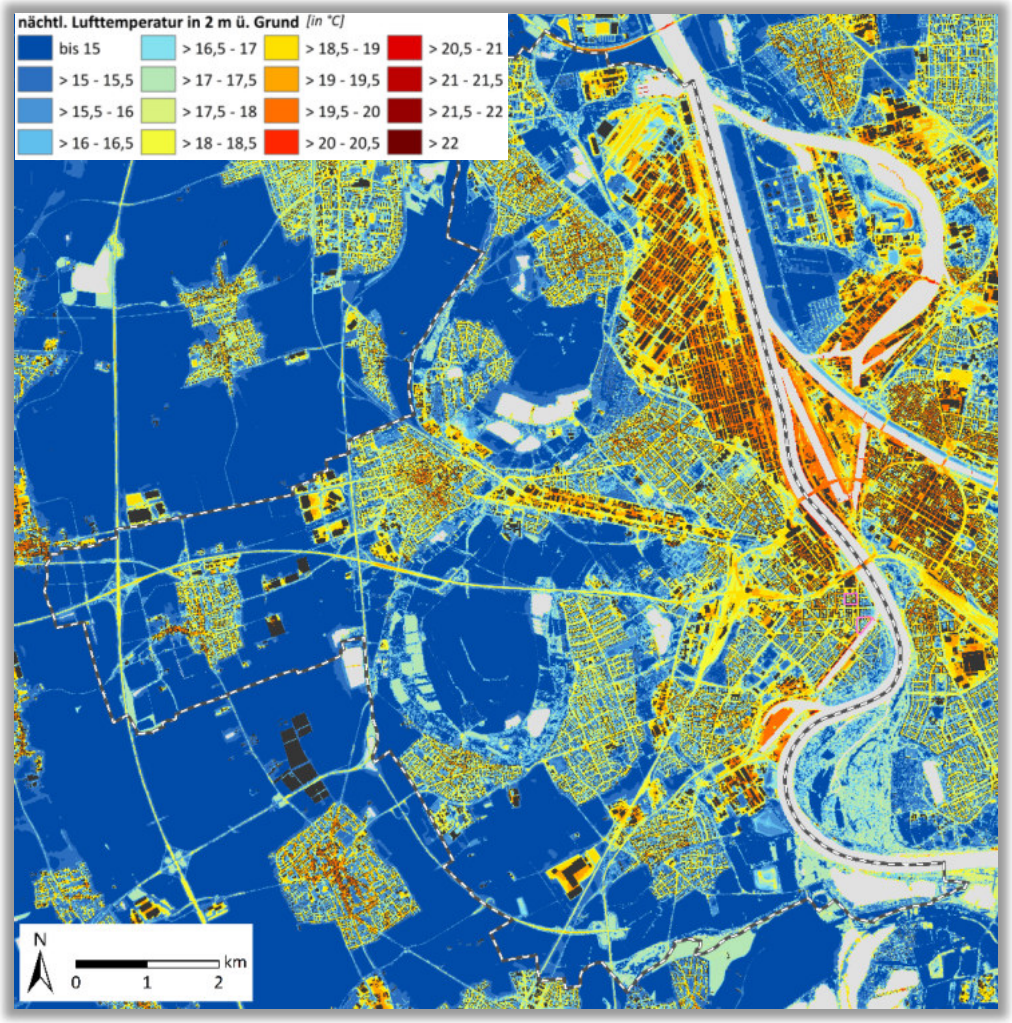


Abbildung 26: Bodennahe nächtliche Lufttemperatur um 4 Uhr im Ist-Zustand in Ludwigshafen (verkürzte Legende).

Die hohe spezifische Wärmekapazität von Wasser sorgt für einen verringerten Tagesgang der Lufttemperatur über Gewässern und deren unmittelbaren Nahbereich, sodass die nächtlichen Temperaturen um 4 Uhr häufig höher als in der Umgebung sein können. Dies trifft auch auf die Gewässerflächen im Untersuchungsgebiet, wie dem Rhein sowie den diversen Seen und Teichen (z.B. Jägerweiher, Holzscher Weiher, Großparthweiher) zu. Je nach Entfernung beeinflussen die Gewässer dabei auch die jeweils angrenzenden Siedlungslagen, was insbesondere für den Rhein gilt.

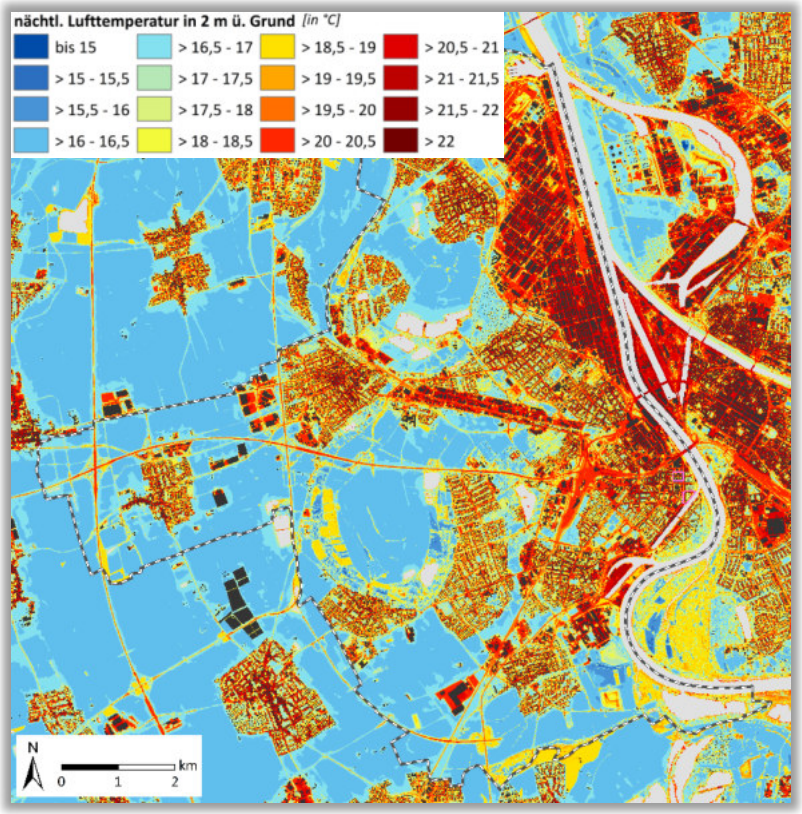


Abbildung 27: Bodennahe nächtliche Lufttemperatur um 4 Uhr im Szenario „starker Klimawandel“ in Ludwigshafen (gezoomte Ansicht, verkürzte Legende).

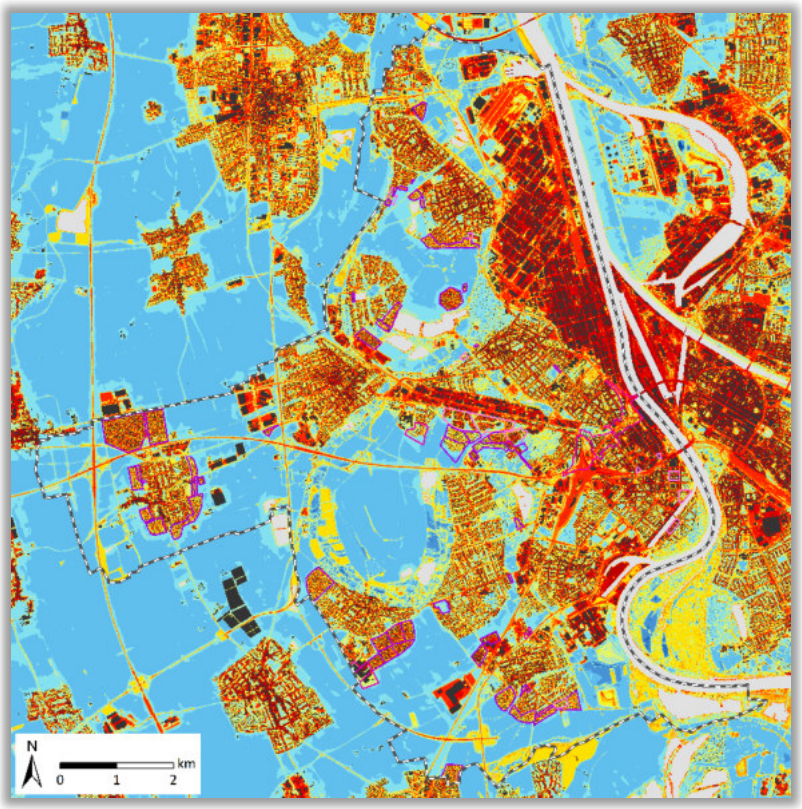


Abbildung 28: Bodennahe nächtliche Lufttemperatur um 4 Uhr im Szenario „starker Klimawandel mit Stadtentwicklung“ in Ludwigshafen (gezoomte Ansicht, verkürzte Legende).

Die Modellergebnisse der beiden Zukunftsszenarien zeigen entsprechend ihres Temperatursignals von 1,7 K ein entsprechend erhöhtes Temperaturniveau. Die Temperaturzunahmen finden dabei weitestgehend gleichmäßig über alle Landnutzungsklassen hinweg statt. Größere Unterschiede sind lediglich im Bereich der Entwicklungsflächen zu beobachten, was auf das zusätzliche Bauvolumen und die erhöhte Oberflächenversiegelung zurückzuführen ist. Die angenommenen Entwicklungsvorhaben zeigen dabei einen unterschiedlich starken Einfluss auf die umliegenden Siedlungslagen, wobei wesentliche Auswirkungen auf die nächtlichen Temperaturwerte im Umfeld der Entwicklungsflächen weitestgehend auf den direkten Nahbereich begrenzt sind. Eine detailliertere Bewertung der Entwicklungsvorhaben findet in Kapitel 4.3.4 statt.

Wie beschrieben, wirkt die Abkühlung der Bodenoberfläche maßgeblich auf das nächtliche Temperaturfeld. Als Maß für die Abkühlung kann die **Kaltluftproduktionsrate** verwendet werden, die anzeigt, wie viel Kaltluft über einer Fläche entsteht. Die Maßeinheit hier ist m³ pro m² pro Stunde. In Abbildung 29 bis Abbildung 31 wird die flächenhafte Verteilung der Kaltluftproduktionsrate zum Zeitpunkt 4 Uhr nachts für das Stadtgebiet und ihr direktes Umfeld dargestellt. Es wird deutlich, dass auf versiegelten Flächen nahezu keine Kaltluftproduktion stattfindet (< 5 m³/m²/h), wohingegen durchgrünte Wohngebiete sowie weitere grüngeprägte Räume, wie insbesondere die landwirtschaftlichen Freiflächen, eine erhöhte Kaltluftproduktivität aufweisen. Mit Bäumen bestandene Flächen zeigen i.d.R. aufgrund der gedämpften nächtlichen Ausstrahlung eine deutlich geringere Kaltluftproduktionsrate und nehmen so wie auch bei der nächtlichen Lufttemperatur eine Zwischenstellung ein.

In den beiden Zukunftsszenarien kommt es gegenüber dem Ist-Zustand abgesehen von den Entwicklungsflächen (orange-rote Rahmen) zu keinen wesentlichen Veränderungen der Kaltluftproduktionsrate. Innerhalb der Entwicklungsflächen ist dagegen entsprechend der angenommenen Neubebauung eine teils deutliche Reduktion der Kaltluftproduktion zu erwarten, was sich wiederum in den bereits gezeigten nächtlichen Lufttemperaturen widerspiegelt. Eine detailliertere Bewertung der Entwicklungsvorhaben findet in Kapitel 4.3.4 statt.

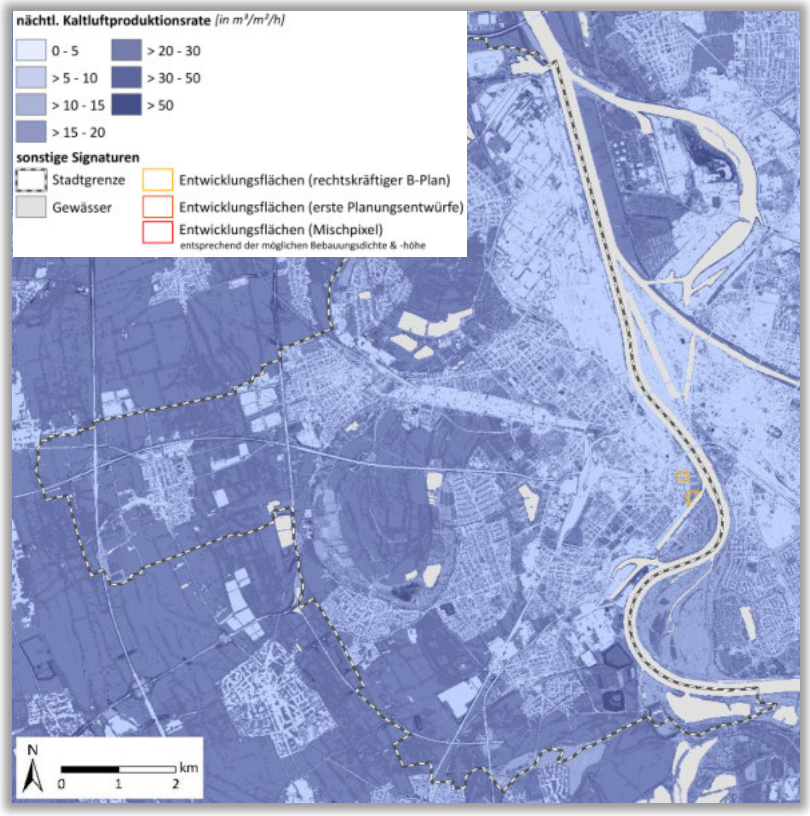


Abbildung 29: Nächtliche Kaltluftproduktionsrate um 4 Uhr im Ist-Zustand in Ludwigshafen (verkürzte Legende).

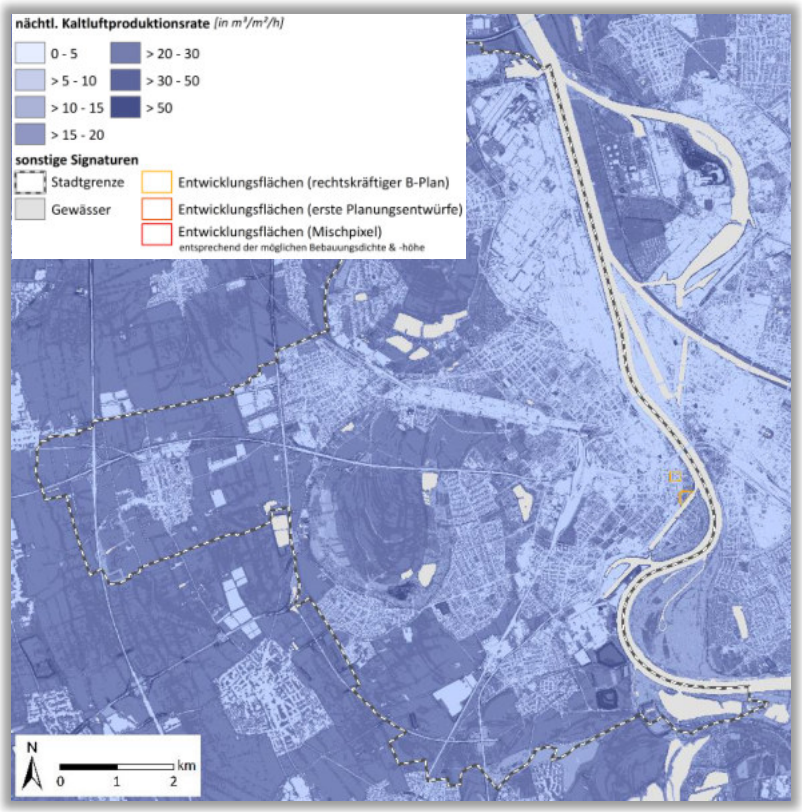


Abbildung 30: Nächtliche Kaltluftproduktionsrate um 4 Uhr im Szenario „starker Klimawandel“ in Ludwigshafen (verkürzte Legende).

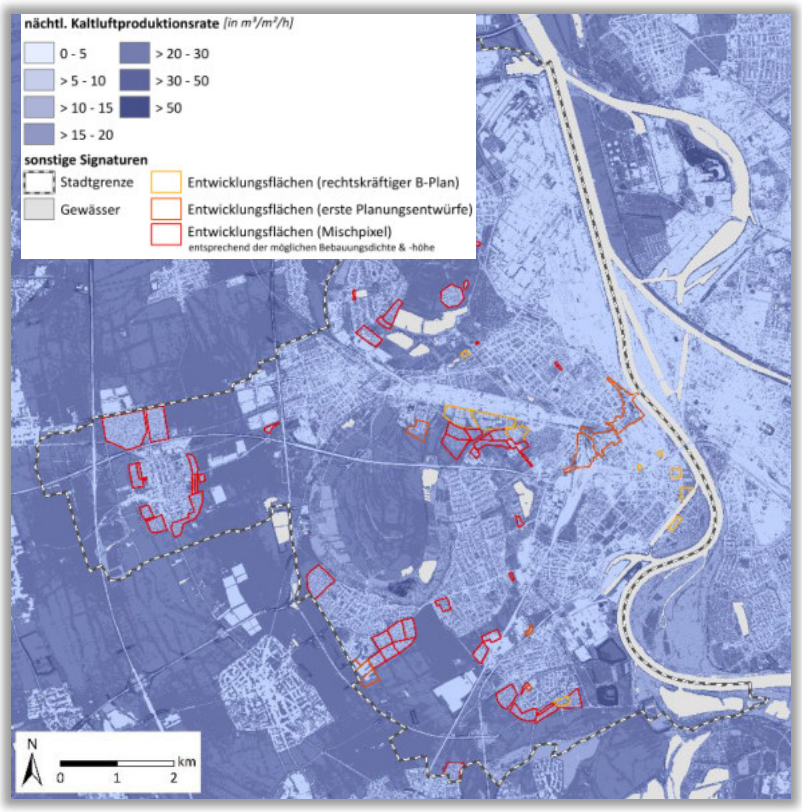


Abbildung 31: Nächtliche Kaltluftproduktionsrate um 4 Uhr im Szenario „starker Klimawandel mit Stadtentwicklung“ in Ludwigshafen (verkürzte Legende).

4.1.2 KALTLUFTSTRÖMUNGSFELD IN DER NACHT

Abbildung 32 zeigt die räumliche Verteilung des modellierten nächtlichen Kaltluftvolumenstroms im Ist-Zustand. Die Werte variieren stark und reichen von unter 5 m³/m/s in dicht bebauten Siedlungsbereichen bis zu 32 m³/m/s im Uferbereich des Rheins. Aufgrund des nur schwach ausgeprägten Reliefs wird die Kaltluftdynamik in Ludwigshafen primär durch lokale Temperaturunterschiede gesteuert, was zu einer hohen räumlichen Variabilität führt. Die stärksten Volumenströme mit über 20 m³/m/s treten im Nahbereich des Rheins sowie weiterer Gewässer im Stadtgebiet auf. Auch rauhigkeitsarme Freiflächen – etwa südlich der Entwicklungsachse West oder im Bereich des Friedensparks – zeigen lokal vergleichbare Werte.

Neben den Gewässern beeinflussen auch großflächig versiegelte und zusammenhängende Siedlungsbereiche den Kaltluftvolumenstrom. Die Fließrichtung der Kaltluft (vgl. Pfeilsignaturen in der Abbildung) ist hier, modifiziert durch vorhandene Strömungshindernisse, ins Zentrum der überwärmten Bereiche gerichtet. Im Bereich der wärmeren Industrieflächen, wie z.B. dem Werksgelände der BASF und dem Industriepark Ludwigshafen Süd, haben die ins Zentrum der Industrieflächen gerichteten Flurwinde und Kaltluftströme einen positiven Effekt auf die Lufthygiene der Umgebung.

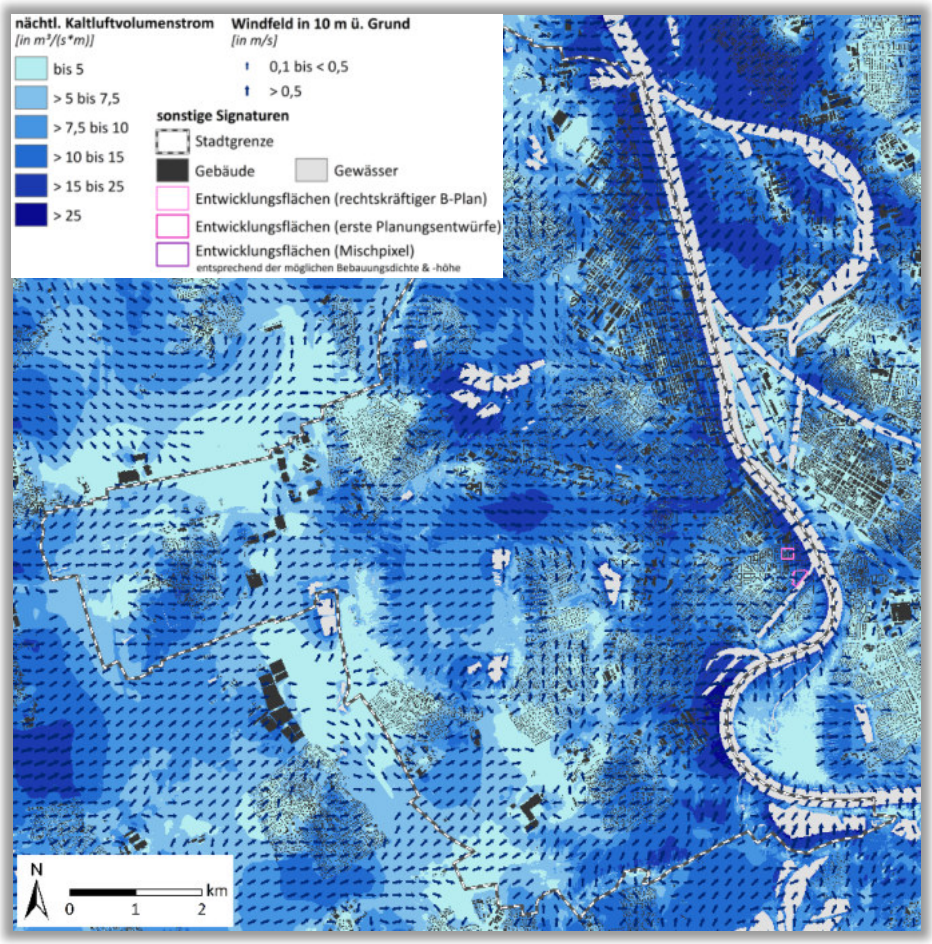


Abbildung 32: Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom um 4 Uhr im Ist-Zustand in Ludwigshafen (verkürzte Legende).

Aufgrund der hohen Bebauungsdichte ist ein Eindringen der Kaltluft in den urbanen Raum jedoch meist nur eingeschränkt möglich. Die höchsten Kaltluftvolumenströme konzentrieren sich daher überwiegend auf die Grünräume. Über Grünzüge – etwa südlich der Entwicklungsachse West oder östlich und westlich von Rheingönheim – kann die Kaltluft bis tief in die Siedlungsstruktur vordringen und dort für thermische Entlastung während der Nachtstunden sorgen. Bei ausreichender Kaltluftmächtigkeit ist auch ein Überströmen der Bebauung möglich, wie beispielsweise im Umfeld der Valentin-Bauer-Straße, in Ruchheim, Rheingönheim und

Mundenheim. In solchen Fällen bleibt der bodennahe Einfluss zunächst gering, kann aber im weiteren Strömungsverlauf über durchlässige Flächen wie den Friedenspark erneut in Bodennähe wirksam werden.

Die für den Siedlungsraum besonders relevanten Kaltluftprozesse werden in der Klimaanalysekarte u. a. durch die Darstellung von Kaltluftleitbahnen und Ventilationskorridoren visualisiert (vgl. Kapitel 4.1.3).

Besonders geringe Kaltluftvolumenströme sind in weiten Teilen von Oggersheim, Pfingstweide, Edigheim, dem nordwestlichen Maudach sowie in weiteren dicht bebauten Siedlungsbereichen zu beobachten. Aufgrund der dichten Bebauung und der geringen Kaltluftmächtigkeit ist hier weder mit einer bodennahen Durchlüftung noch mit einem nennenswerten Überströmen von Kaltluft zu rechnen.

Im Szenario „starker Klimawandel“ (ohne Stadtentwicklung) bleibt aufgrund der gleichbleibenden Reliefsituation und Temperaturgegensätze zwischen dem Siedlungsraum und dem landwirtschaftlich geprägten Umland das Kaltluftprozessgeschehen grundsätzlich unverändert. Im Zukunftsszenario mit Stadtentwicklung führt die angenommene Bebauung der Entwicklungsflächen dagegen lokal zu einer teils deutlichen Modifikation der Kaltluftströmung (Abbildung 33). Deutliche Abweichungen sind aufgrund der großflächigen Überplanung insbesondere im Bereich der Entwicklungsachse West und südlich von Maudach zu erwarten. Aber auch die meisten weiteren Entwicklungsflächen zeigen zumindest innerhalb des Gebiets deutliche Abnahmen der Kaltluftströmung. Eine detailliertere Bewertung der Entwicklungsvorhaben u.a. hinsichtlich ihres Einflusses auf die Kaltluftprozesse findet in Kapitel 4.3.4 statt.

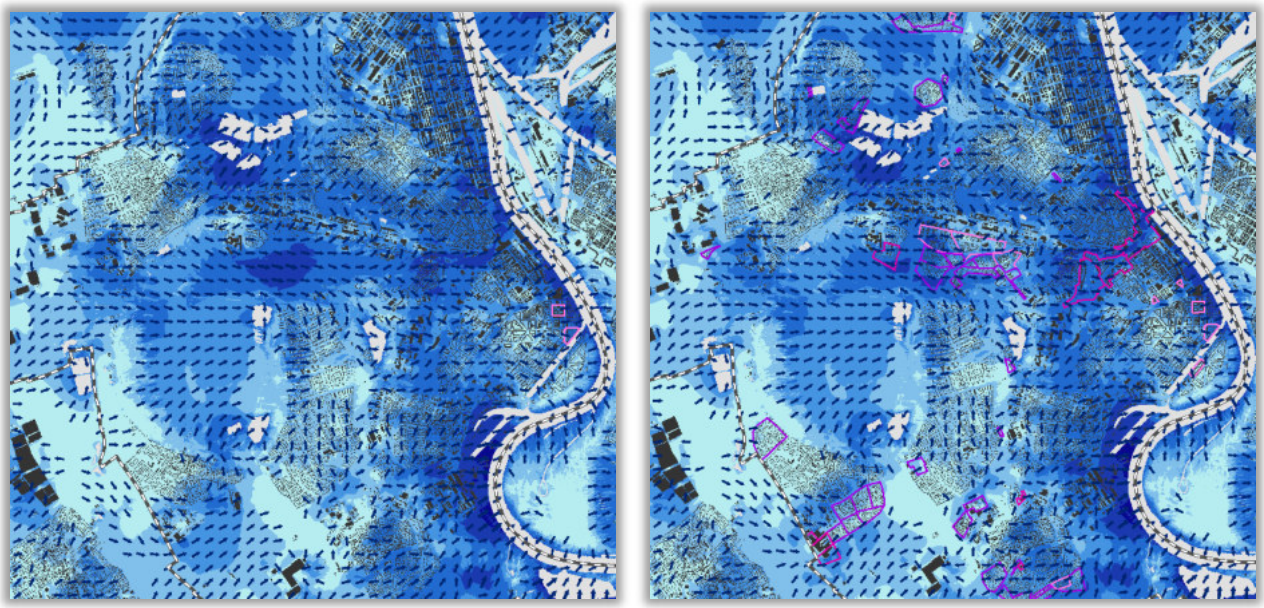


Abbildung 33: Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom um 4 Uhr in den Zukunftsszenarien ohne (links) und mit (rechts) Stadtentwicklung (gezoomte Ansicht, Legende siehe Abb. 31).

Die geschilderten Kaltluftabflüsse treten über die komplette untere Luftschicht bis ca. 50 m Höhe auf. Für das bodennahe Kaltluftgeschehen wird der Parameter Strömungsgeschwindigkeit herangezogen. In den Abbildung 34 bis 36 ist für einen Ausschnitt des Siedlungsgebietes die Strömungsgeschwindigkeit und -richtung der Kaltluftströmung in 2 m über Grund dargestellt.

Die hochauflösende Darstellung in den Modellergebnissen zeigt, dass die bodennahe Kaltluftströmung auf Hindernisse erwartungsgemäß deutlicher reagiert und lokaler auftritt als die eher flächenhaften Kaltluftvolumenströme. So wird deutlich, dass die Kaltluft bodennah aufgrund der vorherrschenden Bebauungsdichte kaum in die einzelnen Siedlungskörper eindringen kann. Im Vergleich zum Kaltluftvolumenstrom zeigt sich demnach ein sehr deutlicher Kontrast, da dieser auch für weite Teile der Siedlungslagen eine vergleichsweise hohe Kaltluftdynamik zeigt. Dagegen zeigt das bodennahe Strömungsfeld vorrangig im Bereich der offenen

Grünflächen eine potenziell wahrnehmbare Kaltluftbewegung. So sind Windgeschwindigkeiten ab 0,1 m/s gerade noch auf der Haut spürbar. Eine bodennahe Durchlüftung ist nur im Bereich offen strukturierter Siedlungsränder, wie beispielsweise im Westen von Niederfeld, zu beobachten. Hier wirkt sich die Ausrichtung der Straßenzüge und Gebäudeabstandsflächen positiv auf den Kaltluftaustausch aus.

Auch in bewaldeten Bereichen fällt die bodennahe Fließgeschwindigkeit der Kaltluftluft gering aus, da sich die relevante Betrachtungsebene in 2 m über Grund unterhalb des Kronendachs befindet und somit innerhalb eines strömungsdämpfenden Raums liegt. Zwar ist die Kaltluftströmung gegenüber offenen Freiflächen deutlich reduziert, jedoch finden auch in den Baumkronen Kaltluftbildungsprozesse statt, die eigenständige Strömungen erzeugen und zur nächtlichen Kaltluftdynamik beitragen.

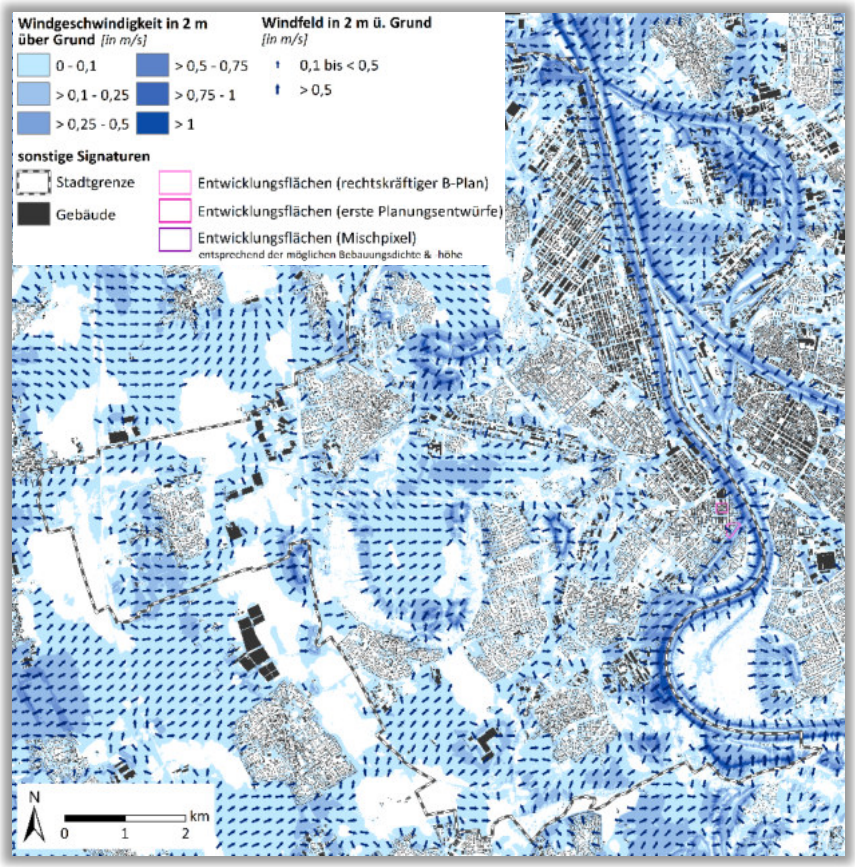


Abbildung 34: Bodennahes Strömungsfeld um 4 Uhr nachts im Ist-Zustand in Ludwigshafen (gezoomte Ansicht, verkürzte Legende).

In Zukunft wird sich zwar das Temperaturfeld verändern, die Temperaturunterschiede zwischen den einzelnen Oberflächenstrukturen werden aber im Allgemeinen keine signifikanten Veränderungen erfahren. Das Strömungsfeld der Austauschprozesse und die Menge der strömenden Kaltluft unterscheidet sich daher im Vergleich zwischen Ausgangssituation und Zukunftsszenarien nicht signifikant. Wie bei den zuvor beschriebenen Klimaparametern sind lediglich innerhalb und im direkten Umfeld der städtebaulichen Entwicklungsflächen Modifikationen der bodennahen Kaltluftströmung zu erwarten. Insbesondere die Planungen im Bereich der Kaltluftleitbahnen und Ventilationsbahnen können in diesem Zusammenhang zu größeren Beeinträchtigungen führen.

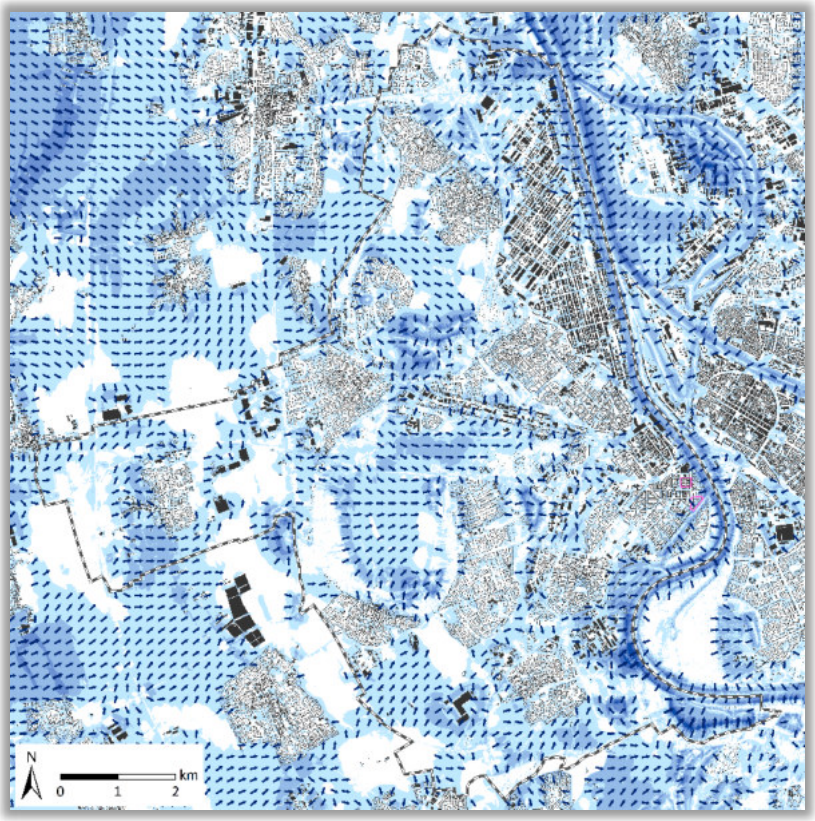


Abbildung 35: Bodennahes Strömungsfeld um 4 Uhr nachts im Szenario „starker Klimawandel“ (Legende siehe Abb. 33).

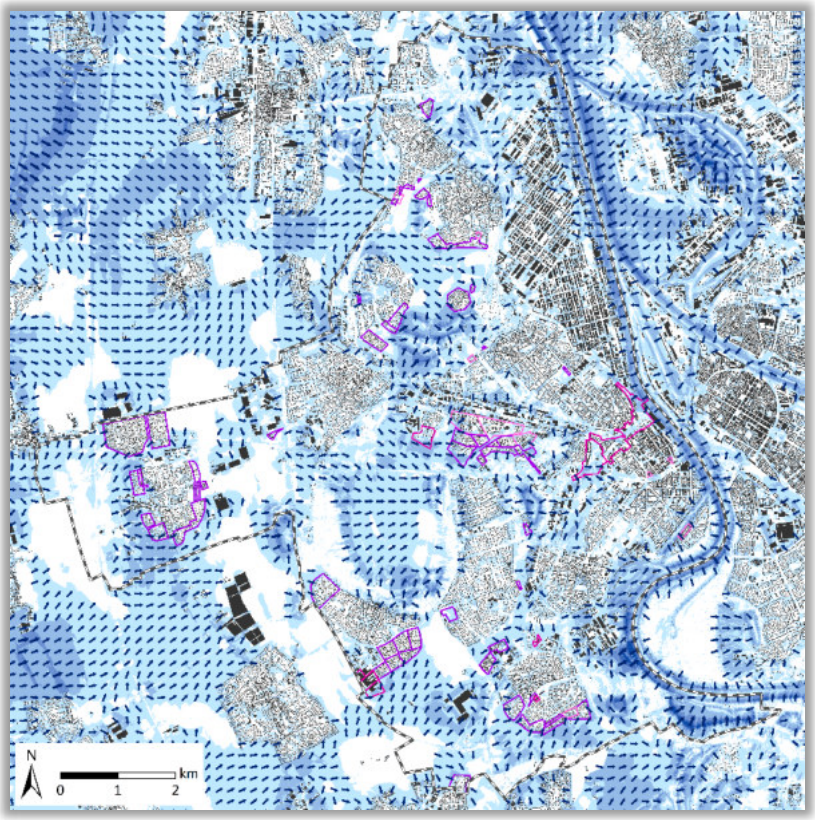


Abbildung 36: Bodennahes Strömungsfeld um 4 Uhr nachts im Szenario „starker Klimawandel mit Stadtentwicklung“ (Legende siehe Abb. 33).

4.1.3 KLIMAANALYSEKARTEN

Gemäß VDI-Richtlinie 3787, Bl.1 hat die Klimaanalysekarte die Aufgabe, *„…die räumlichen Klimaeigenschaften wie thermische, dynamische sowie lufthygienische Verhältnisse einer Bezugsfläche darzustellen, die sich aufgrund der Flächennutzung und Topografie einstellen“* (VDI 2015, 4). Die Klimaanalysekarte synthetisiert demnach die wesentlichen Aussagen der Analyseergebnisse für die Nachtsituation in einer Karte und präzisiert das Kaltluftprozessgeschehen mit zusätzlichen Legendeninhalten zu den Themenfeldern Überwärmung, Kaltluftentstehung und Kaltluftfluss.

Des Weiteren heißt es in der Richtlinie: *„Klimaanalysekarten bieten einen flächenbezogenen Überblick über die klimatischen Sachverhalte des betrachteten Raums und bilden die Grundlage zur Ableitung von Planungs- und Handlungsempfehlungen in einer Stadt“* (VDI 2015, 13). Der Bezug auf die „Sachverhalte“ verdeutlicht, dass die Klimaanalysekarte bewertungstheoretisch der Sachebene angehört. Diese beschreibt *„[…] Gegebenheiten, statistische Zusammenhänge, Sachverhalte, Prognosen, Naturgesetze. Sachaussagen beschreiben die Umwelt wie sie ist oder war“* (Gaede & Härtling 2010, 32). Daraus folgt, dass aus den Klimaanalysekarten noch keine unmittelbaren Wertaussagen (z.B. über das Ausmaß von Belastungen im Wirkungsraum sowie Wertigkeiten des Ausgleichsraums) abgeleitet werden dürfen. Der „Sprung“ auf die Wertebene erfolgt anschließend über die Bewertungskarten und die Planungshinweiskarte. Mit diesem Verständnis wurden für Ludwigshafen folgende Klimaanalysekarten erstellt (Abbildungen 38 und 39 und Anhang A 28 bis Anhang A *30*):

- Klimaanalysekarte für die Bestandssituation
- Klimaanalysekarte für das Szenario „starker Klimawandel (2045)“
- Klimaanalysekarte für das Szenario „starker Klimawandel (2045) mit Stadtentwicklung“

Zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit der drei Klimaanalysekarten wurde eine einheitliche Legende entwickelt (Abbildung 37). Diese gliedert sich in die Elemente Wirkungsraum, Ausgleichsraum und Kaltluftprozessgeschehen. Im Ausgleichsraum ist die gutachterlich klassifizierte Kaltluftvolumenstromdichte flächenhaft dargestellt. Dabei gilt grundsätzlich: je höher die Werte, desto dynamischer ist das Kaltluftpaket. Die räumliche Auflösung der Darstellung entspricht unmittelbar der Modellausgabe[7] (5 m x 5 m). Im Wirkungsraum ist der sogenannte Wärmeinseleffekt für den bodennahen Bereich (2 m über Grund) flächenhaft dargestellt, wobei gilt: je höher die Werte, desto stärker ist die nächtliche Überwärmung ausgeprägt. Die Abgrenzung des Siedlungsraums ist wie in der Planungshinweiskarte vektorbasiert und beruht auf dem ATKIS-Basis DLM. Die Entwicklungsflächen wurden, wie bei den Darstellungen der Einzelparameter rasterbasiert, dargestellt.

Die flächenhaften Darstellungen im Wirkungs- und Ausgleichsraum werden durch vier Elemente des Kaltluftprozessgeschehens grafisch überlagert, die mit individuellen Methoden abgeleitet worden sind (Tabelle 10). Das Strömungsfeld bzw. die Fließrichtung der Kaltluft wurde für eine bessere Lesbarkeit der Karte auf eine Auflösung von 200 m aggregiert und ab einer als klimaökologisch wirksam angesehenen Windgeschwindigkeit von 0,1 m/s mit einer Pfeilsignatur visualisiert. Kleinräumigere und/oder schwächere Windsysteme (z.B. Kanalisierungseffekte in größeren Zufahrtsstraßen im Übergang zwischen Ausgleichs- und Wirkungsraum) werden aus der Karte lediglich anhand der definierten Kaltlufteinwirkbereiche dargestellt. Hierbei handelt es sich um Bereiche, welche hinsichtlich des Kaltluftvolumenstroms ein überdurchschnittliches Niveau und eine bodennahe Windgeschwindigkeit von mindestens 0,1 m/s aufweisen. Sind beide Kriterien erfüllt, kann von einer effektiven Kaltluftversorgung der jeweiligen Fläche ausgegangen werden.

[7] Bei der Visualisierung erfolgte eine graphische Glättung über die Funktion „bilineare Interpolation“, die den Wert der vier naheliegendsten Eingabezellzentren nutzt, um den Wert auf dem Ausgabe-Raster zu bestimmen. Der neue Wert für die Ausgabezelle ist ein gewichteter Durchschnitt dieser vier Werte.

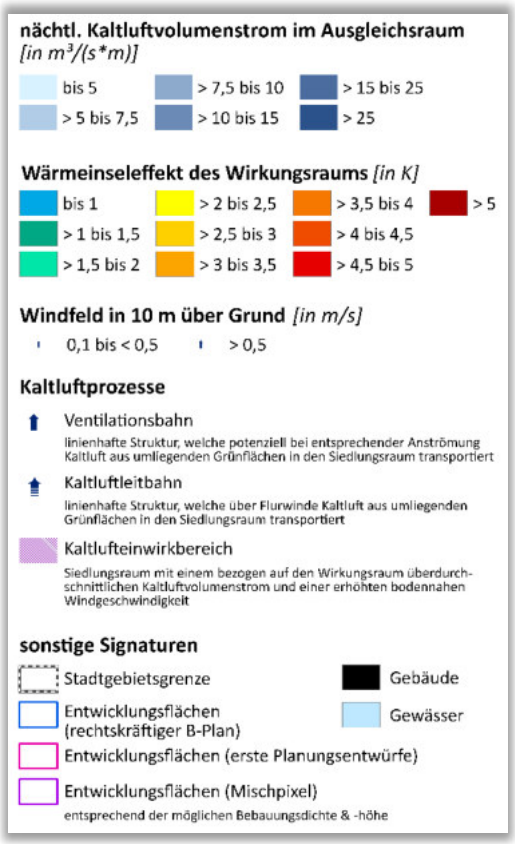


Abbildung 37: Einheitliche Legende der Klimaanalysekarten.

Neben dem modellierten Strömungsfeld sind in den Karten bestimmte Kaltluftprozesse hervorgehoben, die in Ludwigshafen von besonderer Bedeutung sind. Hierzu zählen zum einen die linienhaften Kaltluftleitbahnen. Kaltluftleitbahnen verbinden kaltluftproduzierende Ausgleichsräume und Wirkungsräume miteinander und sind mit ihren meist hohen Kaltluftvolumenströmen elementarer Bestandteil des Kaltluftprozessgeschehens. Gleichzeitig sind sie aufgrund ihrer räumlich begrenzten Breite (mindestens 50 m, vgl. Mayer et al. 1994) aber auch hochgradig anfällig gegenüber Flächenentwicklungen in ihren Kern- und Randbereichen, die zu einer Verengung des Durchflussquerschnittes und einer erhöhten Rauigkeit und damit zu einer Funktionseinschränkung bzw. zu einem Funktionsverlust führen können. Bei den ausgewiesenen ebenfalls linienhaften Ventilationsbahnen verhält es sich grundsätzlich ähnlich wie bei den Kaltluftleitbahnen. Der wesentliche Unterschied zwischen beiden Leitbahntypen ist, dass Ventilationsbahnen nur im geringen Maße anhand der modellierten Kaltluftströmung abzuleiten sind. So üben sie ihre Funktion nur bei einer entsprechenden übergeordneten Anstromsituation aus. Diese Situation sollte eine gewisse Auftretenswahrscheinlichkeit haben, was im Fall von Ludwigshafen anhand der 2021 erstellten Messkampagne ableitbar ist (Ökoplana 2021). In der Realität sind die hier vorgenommenen Abgrenzungen zwischen Kaltluftleitbahnen und Ventilationsbahnen nicht immer eindeutig und/oder gehen ineinander über, sodass den vorgenommenen gutachterlichen Einschätzungen ein Generalisierungseffekt innewohnt, der im konkreten Einzelfall ggf. intensiver zu prüfen ist. Die für Ludwigshafen festgestellten Kaltluftströmungen sind überwiegend thermisch bedingt und reagieren daher zumeist weniger robust auf bauliche Entwicklungen als reliefbedingte Hangabwinde. Dies gilt besonders für intensive Flächenentwicklungen.

Tabelle 10: Legendenelemente und ihre Ableitungsmethoden zum Kaltluftprozessgeschehen in den Klimaanalysekarten.

Legendenelement	Ableitungsmethode
Fließrichtung der Kaltluft	auf 200 m aggregiertes Windfeld mit einer Windgeschwindigkeit von > 0,1 m/s
Kaltlufteinwirkbereich	bodennahe Windgeschwindigkeit > 0,1 m/s sowie überdurchschnittlicher Kaltluftvolumenstrom
Kaltluftleitbahn (linear) in Richtung Siedlungsraum	gutachterlich auf der Basis der Kaltluftvolumenstromdichte, des Windfeldes sowie der Nutzungsklassen
Ventilationsbahn (linear) in Richtung Siedlungsraum	gutachterlich auf der Basis der Landnutzungsstruktur

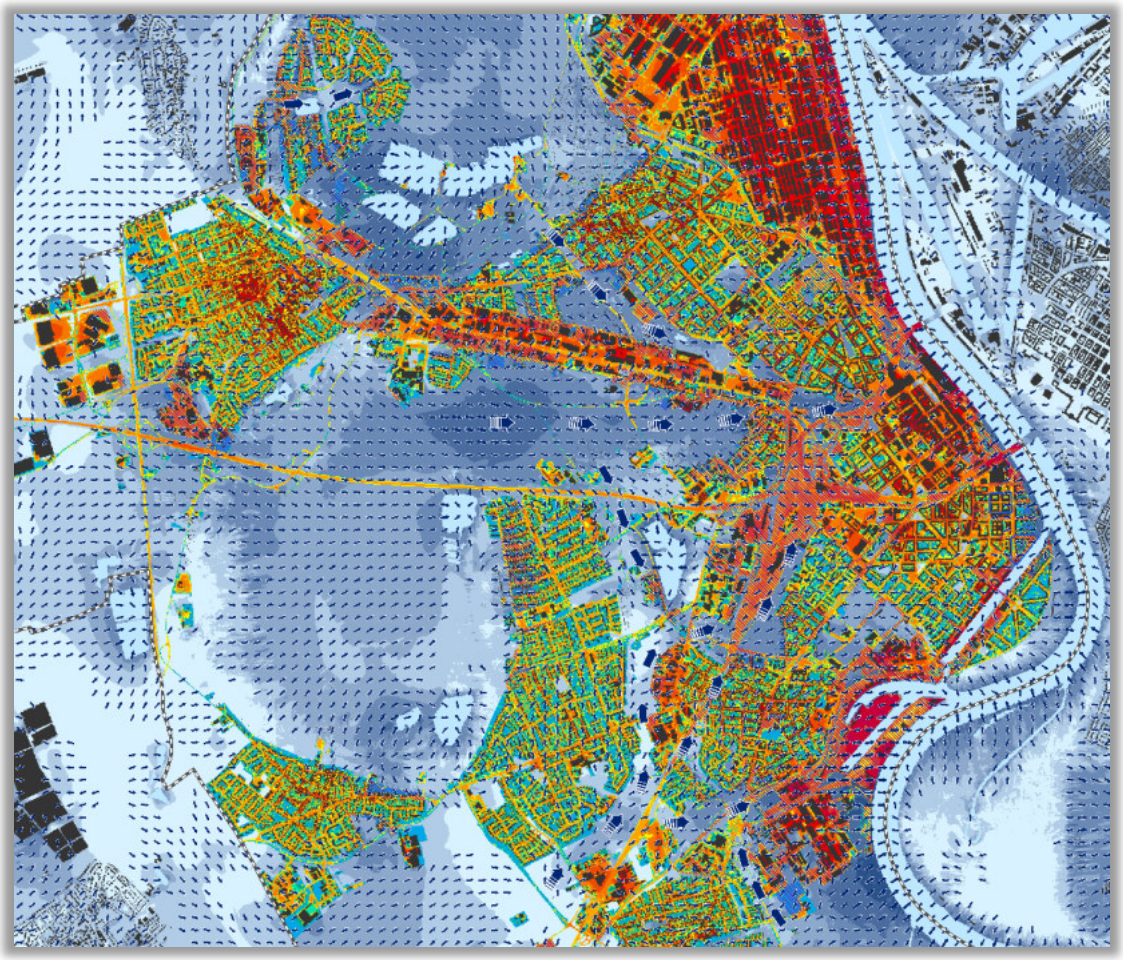


Abbildung 38: Ausschnitt aus der Klimaanalysekarte (4 Uhr-Situation) des Ist-Zustandes (Legende: siehe Abbildung 37)

Die Ausweisung der beiden Leitbahntypen erfolgte gutachterlich (das heißt „händisch“) unter Berücksichtigung der Kaltluftvolumenstromdichte, des Windfeldes sowie der Nutzungsklassen. Es ist für die Ausweisungen in der Klimaanalysekarte zunächst unerheblich, ob in den Wirkungsräumen eine besondere Belastung vorliegt oder nicht, da die Funktionen des Kaltlufttransports für beide Fälle eine besondere Relevanz besitzen. So können geringere Belastungen auftreten, gerade weil sie im Einwirkbereich der Kaltluft liegen bzw. können höhere Belastungen ganz besonders auf die Entlastungsfunktion der Leitbahnen angewiesen sein. Darüber hinaus ist die Ausweisung der beiden Kaltluftprozesselemente auch unabhängig von der tatsächlichen Flächennutzung im Wirkungsraum. Folglich sind zunächst auch solche Prozesse über die Pfeilsignaturen akzentuiert worden,

die auf reine Gewerbeflächen oder Sondernutzungen zielen. Eine Berücksichtigung dieser Nutzungsstrukturen erfolgte im Rahmen der planerischen Inwertsetzung für die Planungshinweiskarte.

Für den gesamten Untersuchungsraum sind im Ist-Zustand vier Kaltluftleitbahnen identifiziert worden (Abbildung 38 und Anhang A 28). Hierbei handelt es sich um eine Kaltluftleitbahn (1) beginnend im Nordwesten von Friesenheim mit einem Verlauf über den Ebertpark bis zum Friedenspark. An dieser Stelle läuft die Leitbahn mit der zweiten ausgewiesenen Kaltluftleitbahn zusammen. Diese hat ihren Ursprung auf den Freiflächen südlich der Entwicklungsachse West und verläuft von hier mit Unterbrechungen über den Hauptfriedhof und den Friedenspark bis in die Innenstadt. Südlich abzweigend von Kaltluftleitbahn 2 konnte zudem eine Ventilationsbahn identifiziert werden. Diese verläuft zwischen den Stadtteilen Niederfeld und Mundenheim bis ungefähr zur Raschigstraße.

Bei Kaltluftleitbahn 3 im Süden von Ludwigshafen handelt es sich um ein verzweigtes Netz aus Kaltluftleitbahnen und Ventilationsbahnen. Der Beginn der Leitbahnstruktur befindet sich zwischen den Stadtteilen Rheingönheim und Hochfeld nördlich des Joseph-Vögele-Geländes. Von hier verläuft die Leitbahn entlang der Bahnlinie bis in den Bereich des Hauptbahnhofs und verzweigt sich unterwegs in Richtung Giuliniplatz sowie Friedhof Mundenheim (Ventilationsbahn), wobei von hier über die Kleingartenanlage an der Christian-Weiß-Straße wieder eine Verbindung zur Hauptachse der Kaltluftleitbahn besteht. Darüber hinaus verläuft zwischen Rheingönheim und dem Betriebshof (Rhein-Neckar-Verkehr GmbH) eine weitere Ventilationsbahn in Richtung des Giuliniplatz.

Die vierte Kaltluftleitbahn befindet sich im nördlichen Stadtteil Oppau zwischen dem BASF-Werksgelände und der Siedlungslage Oppaus und verläuft in etwa vom Sticklerweiher bis zum Stadtpark Oppau.

Darüber hinaus befinden sich zwischen Oppau und Edigheim sowie innerhalb des Wohngebiets Melm noch zwei weitere Ventilationsbahnen.

Die Klimaanalysekarte zum Szenario „starker Klimawandel ohne Stadtentwicklung“ zeigt ein weitestgehend identisches Bild im Vergleich zum Ist-Zustand. Dies liegt daran, dass wie bereits zuvor beschrieben die Temperaturgegensätze in ihrer Ausprägung grundsätzlich konstant bleiben, wodurch es zu keiner wesentlichen Modifikation des Wärmeinseleffektes sowie der Kaltluftströmungen kommt. Die Karte befindet sich daher lediglich im Anhang (Anhang A 29).

Bei der Klimaanalysekarte des Szenarios „starker Klimawandel mit Stadtentwicklung“ (Abbildung 39) ist in den Bereichen der Entwicklungsflächen von teils deutlichen Modifikationen der klimaökologischen Situation auszugehen. So wird insbesondere die Kaltluftleitbahn im Bereich der Entwicklungsachse West durch eine Vielzahl an Entwicklungsflächen erheblich verengt bzw. stellenweise komplett unterbrochen und damit die Kaltluftversorgung u.a. von Teilen der Innenstadt eingeschränkt. Auch der Eintrittsbereich der Kaltluftleitbahn zwischen Rheingönheim und Hochfeld wird durch zwei angenommene Flächenentwicklungen beeinträchtigt.

Im Bereich der großflächigen Entwicklungsflächen am südlichen Rand von Rheingönheim ergibt sich durch eine Freihaltezone eine zusätzliche Ventilationsbahn, welche in nordöstlicher Richtung entlang des Riedlanggrabens bzw. Brückweggrabens in den Siedlungskörper führt. Auch entlang dieser relativ schmalen Ventilationsbahn sind kleinere teils aus klimaökologischer Perspektive kritisch zu sehende Flächenentwicklungen vorgesehen.

Darüber hinaus befinden sich im Bereich der Ventilationsbahnen im Wohngebiet Melm sowie zwischen Oppau und Edigheim kleinere bis mittelgroße Entwicklungsflächen, welche die Kaltluftfunktion je nach tatsächlicher Ausführung mehr oder weniger stark beeinträchtigen können.
Die weiteren Entwicklungsflächen befinden sich weitestgehend abseits spezieller Kaltluftfunktionen, führen aber teilweise allein aufgrund ihrer Größe wie insbesondere im Bereich „Neues Stadtquartier“ sowie südlich

von Maudach zu deutlichen Modifikationen des nächtlichen Kaltluftprozessgeschehens. Da es sich zudem bei einem Großteil der Entwicklungsflächen um umfangreiche Siedlungserweiterungen am Stadtrand (insbesondere in Rucheim, Rheingönheim, Maudach und Oppau) handelt, ist vor allem für die sich direkt anschließenden Bestandsquartiere eine veränderte bzw. verringerte Kaltluftversorgung zu erwarten. Vieles hängt in diesem Zusammenhang von der tatsächlichen Umsetzung ab, so können durch eine stadtklimatisch angepasste Planung nachteilige Auswirkungen reduziert bzw. sogar Verbesserungen gegenüber dem Status Quo erreicht werden.

Handlungsempfehlungen sowie planerische Hinweise zu den Entwicklungsflächen folgen im Kapitel 4.3.4.

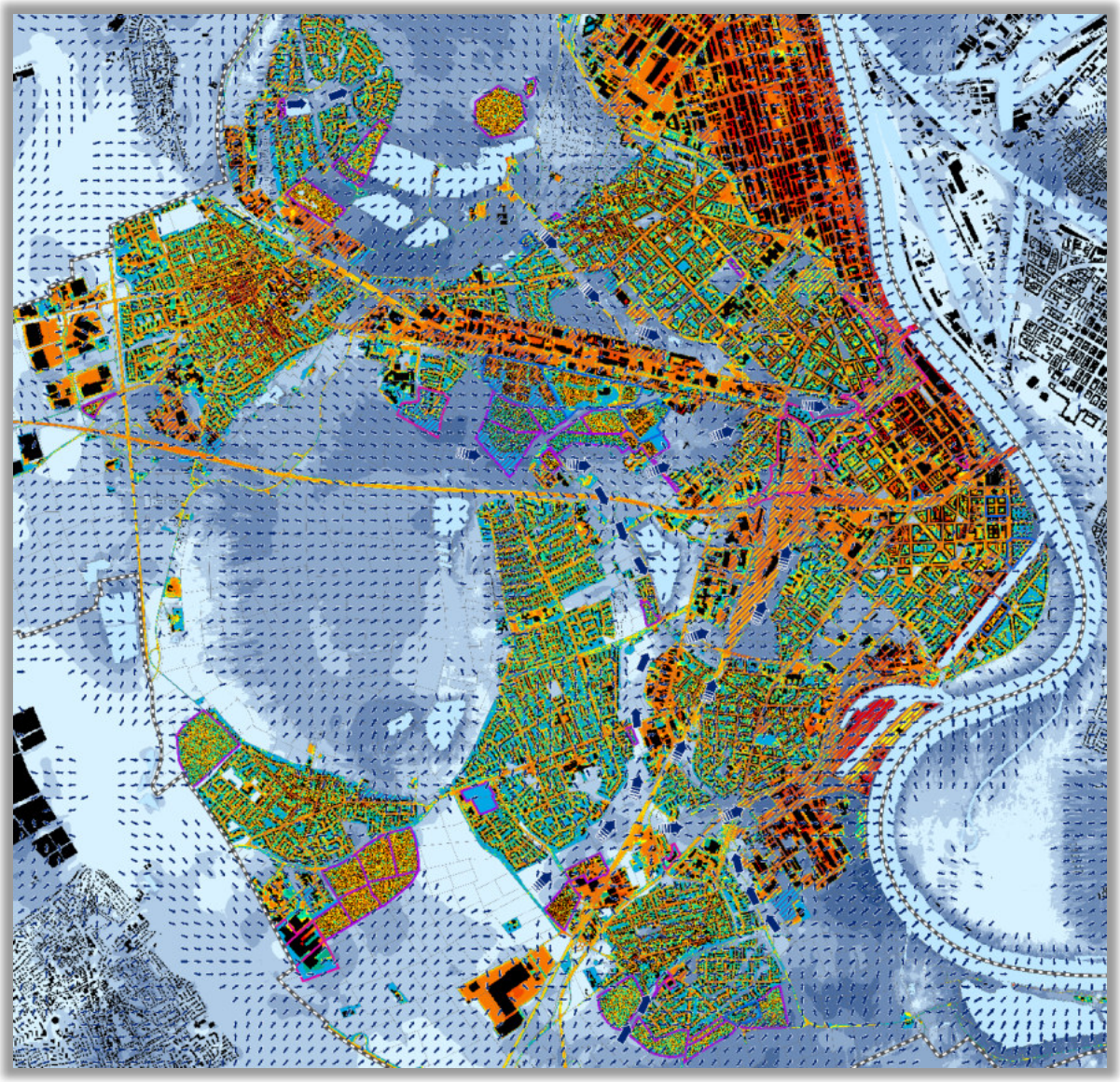


Abbildung 39: Ausschnitt aus der Klimaanalysekarte (4 Uhr-Situation) für das Szenario „starker Klimawandel mit Stadtentwicklung“ (Legende: siehe Abbildung 37)

4.1.4 WÄRMEBELASTUNG AM TAGE

Im Vergleich zur Lufttemperatur weist die „gefühlte Temperatur“ PET eine höhere Spannbreite im Untersuchungsgebiet auf. Flächenhaft heben sich Waldgebiete mit den geringsten PET-Werten von meist unter 26 °C ab (keine bis schwache Wärmebelastung; vgl. Legende in Abb. 39). Der Aufenthaltsbereich des Menschen liegt unterhalb des Kronendachs und ist somit vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt, sodass die Wald- und Gehölzstrukturen des Maudacher Bruchs sowie andere kleinere Waldgebiete als Rückzugsorte dienen können. Auch die Gewässer wirken am Tag kühlend auf ihre Umgebung, sodass die angrenzenden Grünflächen, besonders in Kombination mit Vegetation entsprechender Höhe überwiegend eine schwache bis mäßige Wärmebelastung aufweisen und damit – zumindest vom PET-Wert her – eine gute Aufenthaltsqualität am Tage bieten.

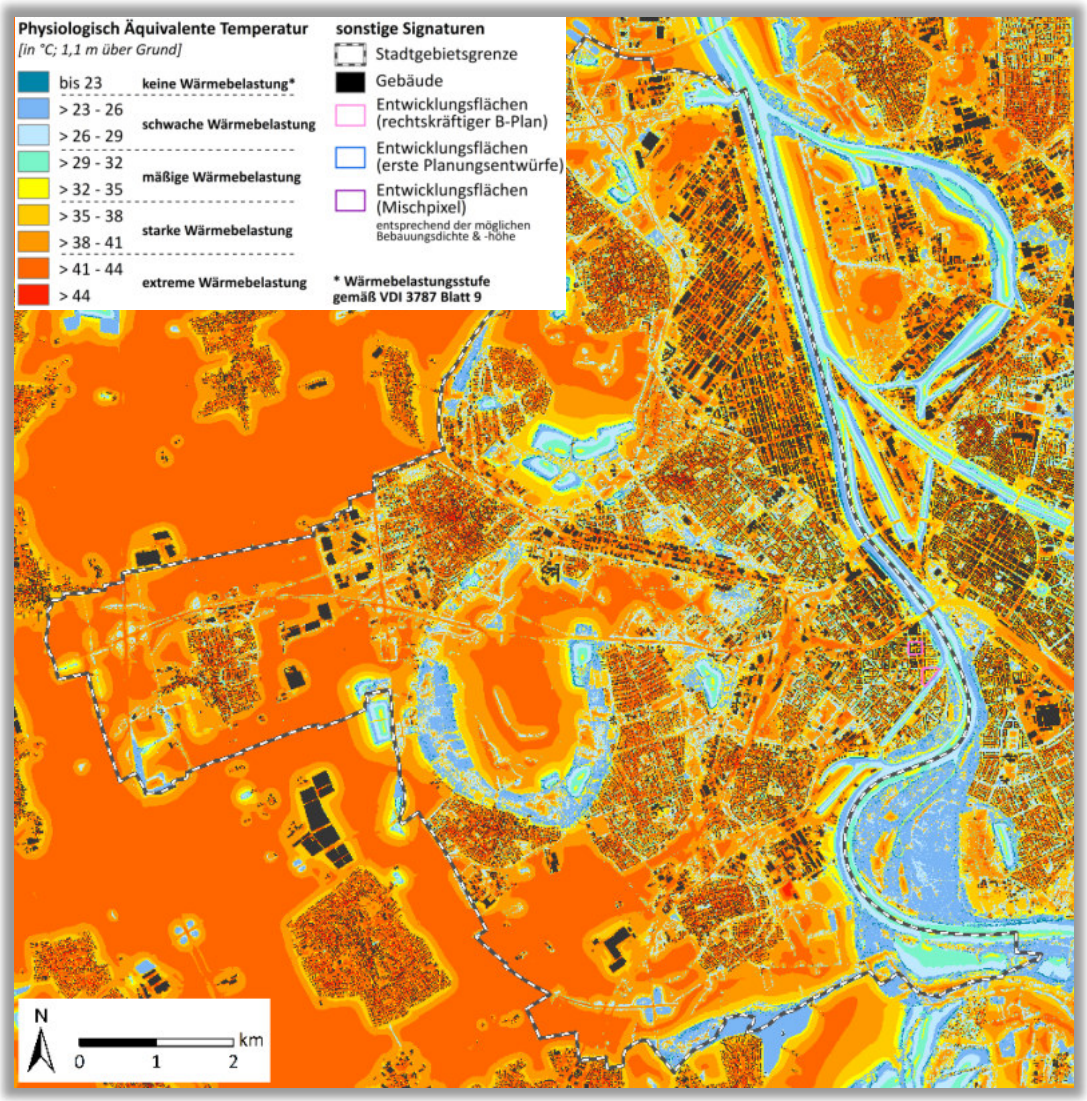


Abbildung 40: Wärmebelastung am Tag (PET) im Ist-Zustand (verkürzte Legende).

Im Siedlungsraum zeigt sich eine heterogene Verteilung der Wärmebelastung. Die ungünstigsten Bedingungen treten über versiegelten Plätzen und Straßen ohne Verschattung auf (ca. 41 bis 44 °C PET in der Ist-Situation, bzw. > 44 °C PET in den Zukunftsszenarien). Auf der Nord- bis Nordost-Seite von hohen Gebäuden ist durch den Schattenwurf zum Zeitpunkt 14 Uhr entsprechend die PET deutlich kühler als auf den Flächen, welche sich in der vollen Sonneneinstrahlung befinden. Besonders in der Ludwigshafener Innenstadt macht sich dies aufgrund der vergleichsweise hohen Gebäude bemerkbar, so sind z.B. in Straßenzügen mit Gebäudeschatten teils über 10 °C kühlere PET-Werte als benachbarte Straßen ohne Verschattung. Auch in übrigen Siedlungsgebieten gestaltet sich die Verteilung der PET-Werte mosaikartig je nach Baumasse, Versiegelung, Gewässernähe sowie

Schatten durch Bäume oder Gebäude. Auffällig ist die überwiegend hohe Wärmebelastung in einigen Randbezirken. Die Wohngebiete bieten zwar meist einen hohen Grünanteil (daher in der Nacht überwiegend günstige Bedingungen), doch gibt es gerade in den Gärten häufig einen nur geringen Bestand großkroniger (und damit schattenspendender) Bäume. Dabei ist zu beachten, dass ein Baum mit kleiner Krone durch das Modell nicht erfasst werden kann (weil er „durch das 5 m-Raster fällt“), mitunter aber ausreichend ist, um den Bewohnern von Häusern mit Gärten einen verschatteten Bereich bieten zu können.

Die größtenteils landwirtschaftlich genutzten Freiflächen im Außenraum zeigen zum Auswertezeitpunkt 14 Uhr PET-Werte um 41 °C (Ist-Situation) bzw. um 44 °C (Zukunftsszenarien „starker Klimawandel“). Aufgrund der modellierten reduzierten Bodenfeuchte ist auf Grün- und Freiflächen für die Zukunft die höchste Zunahme der Hitzebelastung am Tage zu erwarten. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass für die Beurteilung der zukünftigen Hitzebelastung nicht vorrangig die absolute Zunahme der Temperatur, sondern vielmehr die Zunahme der Häufigkeit von heißen Tagen (vgl. Tabelle 4 in Kapitel 3.1.3) entscheidend ist.

Als Bereiche relativ hoher Aufenthaltsqualität (um 29 °C in der Ist-Situation, bzw. rund 2-3 °C wärmer in den Zukunftsszenarien stellen zum Beispiel der Stadtpark Ludwigshafen, der Friedenspark, der Stadtpark Oppau, der Alwin-Mittasch-Park sowie die von Bäumen bestandenen Flächen im Bereich der Friedhöfe in Ludwigshafen dar.

Durch die im Modell berücksichtigten Entwicklungsflächen kommt es zu lokalen Erhöhungen und Reduktionen der PET. Die Art der Modifikationen hängt dabei im Wesentlichen davon ab, ob durch die Planvorhaben der Baumbestand reduziert wird oder nicht. Das zusätzliche Bauvolumen kann sich bei weitestgehend gleichbleibendem Baumbestand aufgrund des zusätzlichen Gebäudeschattens sogar positiv auf die PET auswirken. Gut sichtbar wird dies in Abbildung 42, wo die PET im Bereich von ehemaligen unverschatteten Freiflächen durch die Bebauung abnimmt. Bei zusätzlicher Planung neuer Baumstandorte können sich Entwicklungsflächen auch noch deutlicher von unverschatteten Freiflächen abheben und zu einer Verbesserung der bioklimatischen Situation am Tage beitragen. Eine detailliertere Bewertung der Entwicklungsvorhaben findet in Kapitel 4.3.4 statt.

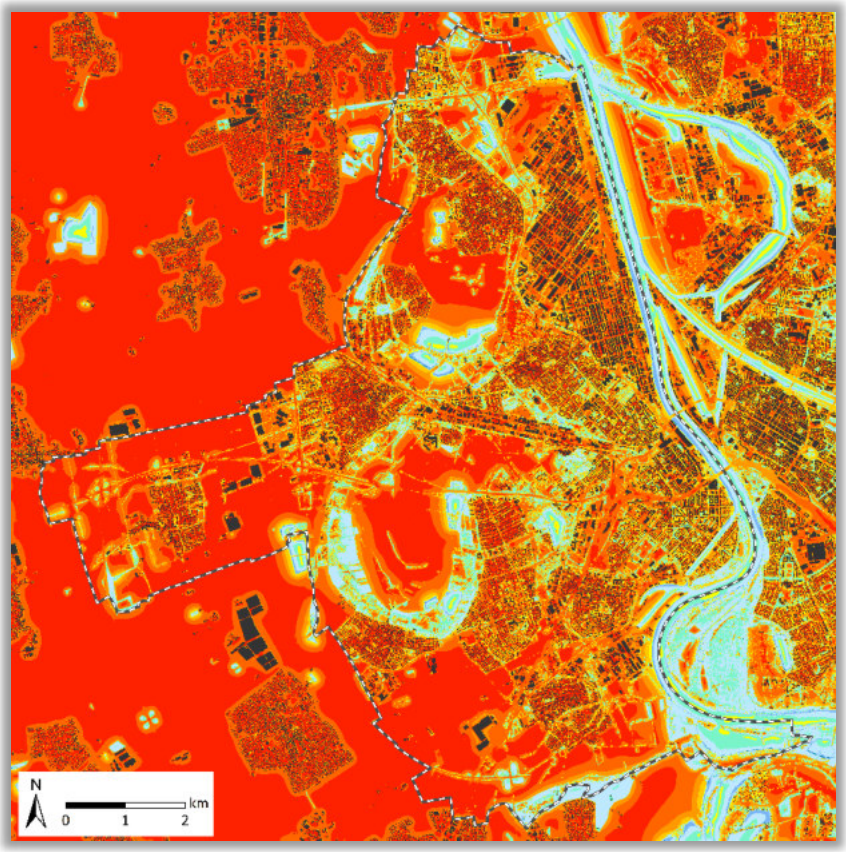


Abbildung 41: Wärmebelastung 14 Uhr im Szenario „starker Klimawandel ohne Stadtentwicklung“ (Legende in Abb. 40).

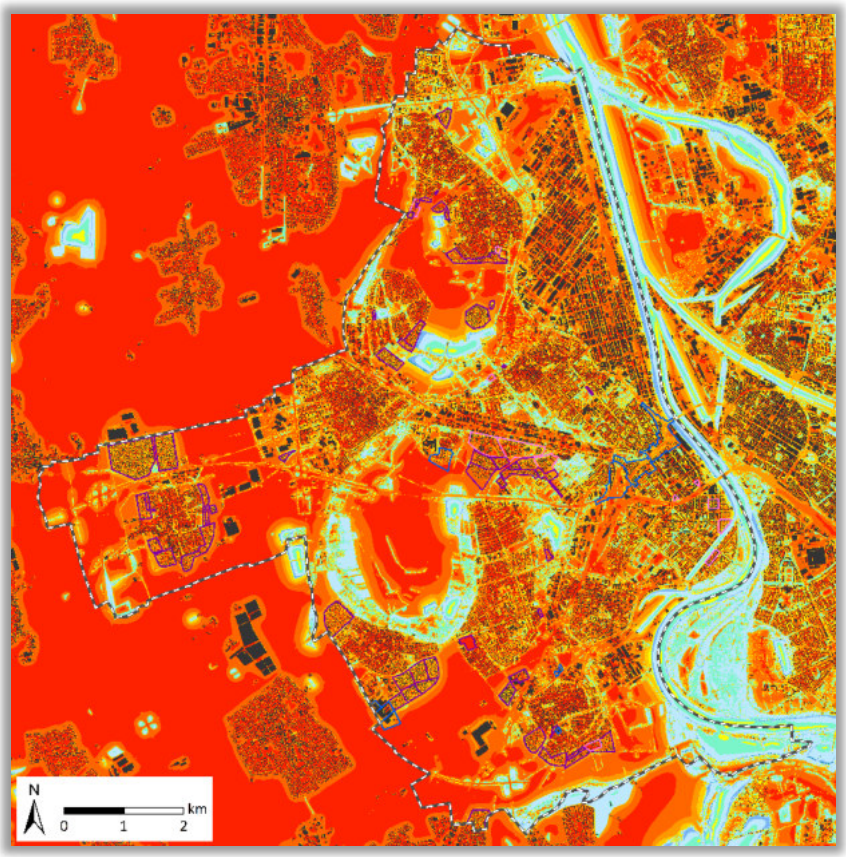


Abbildung 42: Wärmebelastung 14 Uhr im Szenario „starker Klimawandel mit Stadtentwicklung“ (Legende in Abb. 40).

4.1.5 VERGLEICH DER NUMERISCHEN MODELLIERUNG MIT DER MESSKAMPAGNE LUDWIGSHAFEN

Die in den Isothermenkarten (Messfahrten am 22./23.07.2021) sowie den rasterbasierten Karten der numerischen Ist-Zustands-Modellierungen dargestellten nächtlichen Temperaturfelder zeigen grundsätzlich übereinstimmende, nutzungsbedingte Muster des Wärmeinseleffekts – sowohl in ihrer räumlichen Verteilung als auch in ihrer Intensität. Die im Detail auftretenden Unterschiede sind systembedingt und stellen keinen Widerspruch dar. Während die numerische Modellierung von einem idealisierten atmosphärischen Zustand ausgeht – also eine ungestörte Strahlungswetterlage ohne Einflüsse durch Großwetterlagen oder mesoskalige Prozesse simuliert – spiegeln die Isothermenkarten (Anhang A 31) die reale Situation während der Messkampagne wider. Die gemessenen Temperaturverteilungen wurden dabei durch regionale Einflussfaktoren mitbestimmt (ÖKOPLANA 2021).

Gerade der erweiterte Untersuchungsraum um Ludwigshafen wird typischerweise durch nächtliche Regionalwindsysteme geprägt, die in den Modellrechnungen nur eingeschränkt abgebildet werden können. In der Folge werden in der Modellierung lokale Flurwindeffekte – etwa durch thermische Kontraste zwischen bebauten und unbebauten Flächen – teils stärker hervorgehoben als in der Realität, wo sie von regionalen Windströmungen überlagert werden. Besonders deutlich wird dies bei den berechneten Temperaturwerten über dem Rhein und einzelnen Baggerseen im Stadtgebiet, die aufgrund der verwendeten hohen Wassertemperaturen in den Eingangsdaten wärmer dargestellt werden als in den Messwerten der Messkampagne.

Ein weiterer Unterschied ergibt sich aus den methodischen Grundlagen: Die Modellkarten basieren auf digital gerasterten Eingangsdaten, während die Isothermenkarten eine analoge, interpretativ-räumliche Umsetzung der Profilmessfahrten darstellen – gestützt durch langjährige, ortsspezifische Kenntnisse des Stadtklimas in Ludwigshafen.

Trotz dieser systembedingten Differenzen zeigen beide Darstellungen die gleichen großräumigen Muster: So treten die höchsten Temperaturen in den zentrumsnahen Lagen Ludwigshafens inkl. der einzelnen Stadtteile (z.B. Zentrum von Oggersheim), dem BASF-Werksgelände, dem Hafengebiet sowie den weiteren großflächigen Gewerbegebieten auf. Die kühlsten Temperaturen finden sich in den offenen Freiflächen im Norden, Westen und Süden der Stadt, insbesondere in Senkenlagen. Auch innerstädtische Grünzüge wie der Ebertpark oder der Friedenspark werden in beiden Ansätzen als kühlere Zonen erkennbar. Die Modellierungen weisen dabei ein höheres Differenzierungsniveau auf, insbesondere bei sehr schwacher nächtlicher Luftzirkulation, also bei stark reduzierten kleinräumigen Ausgleichseffekten. In solchen Situationen zeigen sich modellbasiert selbst kleine Grünflächen als klimawirksam, während diese in den Messfahrten – abhängig von der realen Wetterlage – weniger deutlich hervortreten. Ein Beispiel: Während der Messfahrten wurde in den großen innerstädtischen Grünanlagen wie dem Friedenspark eine merkliche, aber räumlich begrenzte Abkühlung festgestellt. Die Modellrechnungen hingegen weisen diesen Bereich als deutlich kühler aus, was angesichts der Flächenausdehnung nachvollziehbar ist. Gleichzeitig zeigen die Modellrechnungen auch das Wirkpotenzial idealer Bedingungen auf, etwa in Bezug auf kühlende Effekte bei optimaler Strahlungslage. Die während der Messkampagne gemessenen höheren Temperaturen im Bereich zwischen Mannheim und Ludwigshafen deuten darauf hin, dass diese Effekte durch die Hitzeinseln der zusammenhängenden Siedlungsstrukturen teilweise kompensiert wurden.

Insgesamt ergibt sich aus der Kombination von gemessenen und modellierten Temperaturverteilungen ein realistisches und differenziertes Bild der nächtlichen thermischen Bedingungen im Stadtgebiet von Ludwigshafen.

4.1.6 VERGLEICH DES IST-ZUSTANDES MIT DER STADTSTRUKTUR VON 2000

Wie in der Einleitung beschrieben, wurden bereits im Rahmen der Stadtklimaanalyse im Jahr 2000 erste stadtplanerische Maßnahmen für die Flächennutzungsplanung abgeleitet, um der sommerlichen Überwärmung im Stadtgebiet entgegenzuwirken. Um die Wirksamkeit nachfolgend durchgeführter Begleitmaßnahmen beim Bau von Wohn- und Gewerbeflächen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit bewerten zu können, wurde eine modellbasierte klimatische Rückschau vorgenommen. Hierfür wurde, wie in Kapitel 3.2.2 beschrieben, ein Modellszenario auf Grundlage der Stadtstruktur des Jahres 2000 entwickelt und die Modellergebnisse analog zu den Modellergebnissen der weiteren Szenarien kartographisch aufbereitet (siehe Anhang). Die Abbildung 43 zeigt in diesem Zusammenhang eine Gegenüberstellung der Klimaanalysekarten des „Vergangenheits-Szenarios 2000“ und des Ist-Zustandes. Flächen, auf denen es nach dem Jahr 2000 zu baulichen Veränderungen gekommen ist, sind mit einem violetten Rahmen hervorgehoben. Größere bauliche Veränderungen gab es demnach u.a. in Form des Wohngebietes Melm, dem Gewerbegebiet westlich von Oggersheim (auch „westlich B9“ genannt), dem Wohngebiet nördlich Hoher Weg in Rheingönheim sowie dem Werksgelände der Joseph Vögele AG.

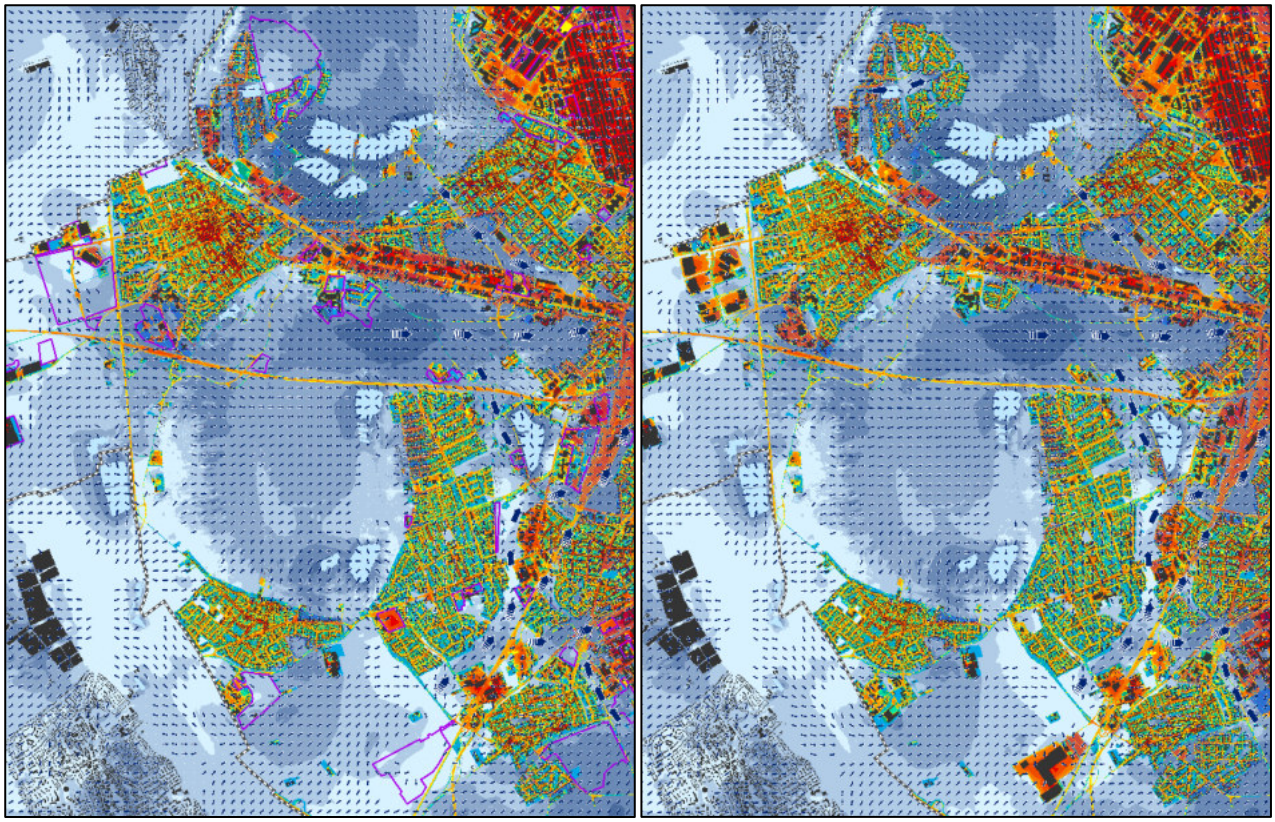


Abbildung 43: Gegenüberstellung der Klimaanalysekarten (4-Uhr-Situation) des Ist-Zustandes (rechts) mit der Klimaanalysekarte des Szenarios Vergangenheit 2000 (links) für einen zentralen Ausschnitt des Ludwigshafener Stadtgebietes (Legende siehe Abbildung 37).

Das Wohngebiet Melm zeichnet sich durch eine vergleichsweise offene Baustruktur aus. So gibt es eine größere zentrale Grünfläche, von welcher begrünte Ausläufer sternförmig mit den umliegenden Freiräumen in Verbindung stehen. Dieser öffentliche Grünraum zeichnet sich durch heterogene Struktur aus offenen und mit Bäumen bestandenen Arealen aus und zeigt anhand der Modellergebnisse eine überwiegend hohe Aufenthaltsqualität und besitzt zudem die Funktion einer kaltluftliefernden Ventilationsbahn, insbesondere bei einer überordneten westlichen Anströmung. Im Westen des Grünraums fügt sich zudem der Badesee Melm an, welcher durch seine teils offenen und teils verschatteten Ufer ein Nacherholungsziel mit hoher Aufenthaltsqualität darstellt.

Auch das Wohngebiet selbst zeichnet sich durch einen relativ hohen Grünflächenanteil aus, was zu einer weitestgehend geringen nächtlichen Überwärmung während heißer Sommertage führt. Die Wärmebelastung am Tag ist dagegen ähnlich wie in vielen anderen Wohngebieten noch recht stark ausgeprägt. Zwar ist bei der Planung des öffentlichen Raums ein relativ hoher Baumbestand umgesetzt worden, jedoch muss sich dessen Wirkung über die nächsten Jahrzehnte erst noch weiter entfalten. Die oft recht kleinen Grundstücke weisen in weiten Teilen einen eher geringen Baumbestand auf.

Bei der Gewerbefläche im Westen von Oggersheim wurde durch eine ca. 100 m breite zentrale Grünachse entlang des Affengraben sowie durch schmalere Grünpuffer zwischen den einzelnen Einzelhandelsfachmärkten einer Ausbildung einer größeren zusammenhängenden Wärmeinsel entgegengewirkt. Zudem konnte durch die zentrale Grünachse ein Durchlüftungskorridor geschaffen werden, welche die östlich angrenzende Wohnbebauung mit dem Freiraum im Westen verbindet. Bei Betrachtung des in der Abb. 43 dargestellten nächtlichen Wärmeinseleffektes ist dieser zwar im Bereich der Parkierungsflächen relativ stark ausgeprägt, allerdings ist im Vergleich zu anderen Gewerbeflächen ein dämpfender Effekt durch die umgesetzten Maßnahmen erkennbar. Auch die Wärmebelastung am Tag, welche aus klimaökologischer Sicht für Gewerbeflächen besonders relevant ist, zeigt sich insgesamt leicht reduziert. Vor allem aber wurden durch die Durchgrünungen eine Reihe lokaler „Cool-Spots“ geschaffen, welche die Aufenthaltsqualität im Gebiet deutlich erhöhen.

4.2 BEWERTUNGSKARTEN STADTKLIMA

4.2.1 GRUNDLAGEN

Zentrales Produkt der Stadtklimaanalyse ist die Planungshinweiskarte (PHK). Gemäß der VDI Richtlinie 3787, Bl.1 handelt es sich dabei um eine *„informelle Hinweiskarte, die eine integrierende Bewertung der in der Klimaanalysekarte dargestellten Sachverhalte im Hinblick auf planungsrelevante Belange enthält"* (VDI 2015, 5). Der Begriff der Planungsrelevanz wird in der Richtlinie noch weiter konkretisiert als *„Bewertung von (Einzel-)Flächen hinsichtlich ihrer Klimafunktionen, aus der Maßnahmen zum Schutz oder zur Verbesserung des Klimas abgeleitet werden. Planungsrelevant sind dabei alle thermischen und lufthygienischen Phänomene, die als teil- oder kleinräumige Besonderheiten oder Ausprägungen signifikant abweichen […] und die Auswirkungen auf Gesundheit und Wohlbefinden von Menschen haben"* (VDI 2015, 5-6).

Kerngegenstand der Planungshinweiskarte ist die klimaökologische Bewertung von Flächen im Hinblick auf die menschliche Gesundheit bzw. auf gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse. Gemäß dem in der Richtlinie definierten Stand der Technik ist zwischen Flächen im Ausgleichsraum (Grün- und Freiflächen, landwirtschaftliche Flächen sowie Wälder mit ggf. schützenswerten Klimafunktionen) und Flächen im Siedlungsraum (mit potenziellen Handlungserfordernissen aufgrund von Belastungen, im Folgenden „Wirkungsraum" genannt) zu unterscheiden. Die Richtlinie schlägt eine 3-stufige Bewertung im Ausgleichsraum sowie eine 4-stufige Bewertung im Wirkungsraum (inkl. RGB-Farbcodes für die verschiedenen Klassen) vor und gibt qualitative Hinweise zu ihrer Ableitung. Ferner wird empfohlen, den flächigen Bewertungen punktuell „raumspezifische Hinweise" zu Begrünungsbedarfen im Stadt- und Straßenraum sowie zu verkehrlich bedingten Schadstoffbelastungspotentialen für Hauptverkehrsstraßen an die Seite zu stellen. Als „erweiterte Aufgaben" definiert die VDI-Richtlinie seit ihrer letzten Überarbeitung die Berücksichtigung des Klimawandels sowie der Umweltgerechtigkeit. Eine über den Hinweis, dies ggf. über eigenständige Themenkarten zu lösen, hinausgehende Hilfestellung wird jedoch nicht gegeben.

Die Planungshinweiskarte entfaltet – anders als beispielsweise Luftreinhalte- oder Lärmaktionspläne – keinerlei rechtliche Bindungskraft und unterliegt keiner Planzeichenverordnung. Daraus folgt zum einen, dass begründet auch von den Vorschlägen in der Richtlinie abgewichen werden kann, solange der Grundgedanke erhalten bleibt. Zum anderen bedeutet dies, dass Inhalte und Hinweise vollumfänglich der Abwägung zugänglich sind, sofern sie nicht gänzlich oder in Teilen in verbindliche Planwerke übernommen werden (z.B. dem Flächennutzungsplan oder insbesondere dem Bebauungsplan). Es wird jedoch vorausgesetzt, dass bei entsprechender Abwägung die Abweichung auch fundiert begründet werden kann.

Aufgrund der Komplexität der Planungshinweiskarte, die sowohl Informationen zur Tag- und Nachtsituation als auch zu Ist- und Zukunftsszenarien in einer einzigen Flächenkulisse bereitstellen muss, ist es nötig, vorgelagert sog. Bewertungskarten zu erstellen. In den sechs Bewertungskarten wurde getrennt für die Tag- und Nacht-Situation jeweils eine stadtklimatische Bewertung für die drei Szenarien Status quo, starker Klimawandel mit und ohne Stadtentwicklung vorgenommen. Die Planungshinweiskarte fasst die Ergebnisse dieser sechs Bewertungskarten zusammen, sodass auf den ersten Blick ersichtlich wird, welche Flächen einen hohen Schutzbedarf haben und wo in Ludwigshafen Maßnahmen zur Anpassung vorrangig umgesetzt werden sollten.

4.2.2 GEOMETRISCHE BASIS

Die auf Rasterebene ausgewerteten Modellergebnisse (vgl. Kap.4.1) erlauben eine detaillierte Darstellung der wichtigsten klimaökologischen Prozesse im Untersuchungsgebiet. Bewertungen und daraus abgeleitete planerische Aussagen (z.B. zum Grad der thermischen Belastung innerhalb der Wirkungsräume sowie die humanbioklimatische Bedeutung bestimmter Areale im Ausgleichsraum) müssen sich hingegen auf eindeutig im Stadtraum abgrenzbare räumliche stadtklimatische Funktions-/Nutzungseinheiten beziehen. Diese sog. „Basisgeometrie“ muss gleich mehrere Bedingungen erfüllen. Sie muss

- flächendeckend für das Stadtgebiet vorliegen
- möglichst aktuell sein und einer standardisierten Fortschreibung unterliegen
- eine eindeutige Einteilung zwischen klimaökologischen Ausgleichs- und Wirkungsräumen erlauben
- passfähig sowohl für den gesamtstädtischen Maßstab als auch für den hochauflösenden Analyseansatz sein, also weder zu kleinteilig noch zu grob ausfallen

Ein entsprechender Datensatz existiert auf kommunaler Ebene in der Regel nicht. Mit den im städtischen Amtlichen Liegenschaftskataster Informationssystem (ALKIS) definierten und räumlich zugewiesenen Nutzungsarten existiert aber eine Grundlage, die gutachterlich weiterqualifiziert und zudem durch detaillierte Daten zum BASF-Werksgelände ergänzt wurde. Dabei wurden sowohl sehr kleinräumige Strukturen zusammengefasst (vorrangig im Außenbereich bzw. Ausgleichsraum) als auch größere zusammenhängende Flächen in kleinere Funktionseinheiten aufgeteilt (vorrangig im Wirkungsraum). Es kann unter Umständen vorkommen, dass kleinere Freiflächen in der Karte nicht als solche ausgewiesen sind, oder Überbauungen mit einem hohen Grünanteil nicht als Siedlungsflächen ausgewiesen sind. Im Falle zusätzlicher Bebauung auf Grün- und Freiflächen kann sich deren Funktion ändern und muss gegebenenfalls neu bewertet werden.

Alle rasterbasierten Modellergebnisse werden zur Erstellung der Bewertungskarten und der Planungshinweiskarte (zur Ableitung von Wertstufen) mithilfe eines statistischen Raummittels aus allen, die jeweiligen Flächen schneidenden Rasterpunkten übertragen. Aufgrund dieser Vorgehensweise liegen die Ergebnisse der Stadtklimaanalyse in zweifacher Form vor: zum einen als rasterbasierte Verteilung der Klimaparameter im räumlichen Kontinuum, zum anderen als planungsrelevante und maßstabsgerechte, räumlich in der Realität abgrenzbare Flächeneinheiten. Da alle Teilflächen der Basisgeometrie einen größeren Flächeninhalt als 25 m² (also die Flächen einer einzelnen Rasterzelle des Modells) aufweisen, treten auf der Rasterebene innerhalb einer Fläche in aller Regel sowohl höhere als auch niedrigere Werte auf, als in der statistischen Generalisierung zu erkennen ist (Abbildung 44).

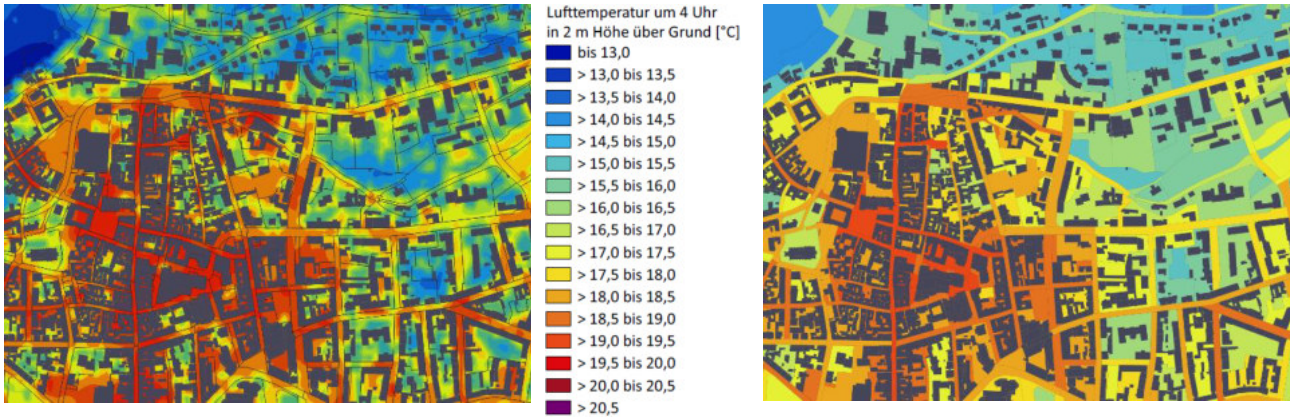


Abbildung 44: links das Ausgangsraster und rechts das Ergebnis der räumlichen Mittelwertbildung auf Ebene der Basisgeometrie (Musterdarstellung).

4.2.3 BEWERTUNG DES WIRKUNGSRAUMS

Im Wirkungsraum wird die thermische Belastungssituation dargestellt. Wertgebend dabei ist in der Nacht die bodennahe Lufttemperatur als starker Indikator für den Schlafkomfort in Gebäuden sowie am Tag die Wärmebelastung im Außenraum (Physiologisch Äquivalente Temperatur, PET). Bei der Lufttemperatur und der PET, die auf die Flächen der Basisgeometrie gemittelt wurden, handelt es sich zunächst um absolute Werte, die ausschließlich für den gewählten meteorologischen Antrieb „sommerliche autochthone Wetterlage“ gültig sind. Tatsächlich existieren innerhalb eines Sommers sowie selbst innerhalb der zu betrachtenden Wetterlage auch deutlich wärmere oder kühlere Situationen. Die Planungshinweiskarte muss den Anspruch haben, repräsentativ für die Grundgesamtheit dieser Situationen zu sein, was eine unmittelbare Bewertung auf Basis der modellierten Absolutwerte – z.B. die Belastungsstufen an der Über- oder Unterschreitung einer Tropennacht (nächtliche Tiefsttemperatur > 20 °C) festzumachen – verbietet.

In der VDI-Richtlinie 3785, Bl.1 (VDI 2008) wird daher ein methodischer Standard zur statistischen Normalisierung der modellierten (in anderen Fällen gemessenen) Werte definiert. Bei der sogenannten z-Transformation wird die Abweichung eines Klimaparameters von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsraum als Bewertungsmaßstab herangezogen. Mathematisch bedeutet dies, dass von jedem Ausgangswert der Variablen das arithmetische Gebietsmittel abgezogen und durch die Standardabweichung aller Werte geteilt wird. Die resultierende z-Werte werden gemäß definiertem Standard mithilfe von statistischen Lagemaßen (Mittelwert = 0 sowie positive und negative Standardabweichungen davon als obere und untere S1-Schranke) in vier Bewertungskategorien zwischen „1 - sehr günstig“ und „4 - ungünstig“ eingestuft (Abbildung 45).

$$z = \frac{\chi - \mu}{\sigma}$$

Dabei ist

z standardisierter Wert der Variablen x
χ Ausgangwert der Variablen x
μ arithmetisches Mittel
σ Standardabweichung

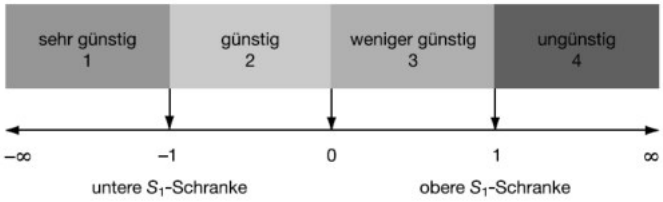


Abbildung 45: Verfahren der z-Transformation zur statistischen Standardisierung von Parametern und sich daraus ergebende Wertstufen (Quelle: VDI 2008)

Dem Bewertungsverfahren liegt also ein relativer Ansatz zugrunde, bei dem nicht nach universell gültigen (ggf. rechtlich normierten) Grenzwerten gefragt wird, sondern bei dem das auftretende Wertespektrum konkret für den analysierten Raum den Bewertungsmaßstab bildet. Das grundsätzliche Vorliegen von (hier: thermischen) Belastungen muss dabei als Prämisse zuvor abgeleitet worden sein. Andernfalls bestünde die Gefahr, Situationen als ungünstig zu bewerten, die eigentlich unkritisch sind (beispielsweise würde eine analoge Anwendung der Methode in den Wintermonaten keine sinnvollen Ergebnisse liefern).

Durch die Abstraktion von konkreten Absolutwerten ist das Verfahren passfähig für die Bewertung der thermischen Belastungssituation im Wirkungsraum in der vorliegenden Planungshinweiskarte. Die Methode ist für die vergleichende Bewertung von räumlich variablen Klimaparametern innerhalb eines festen Zeitschnitts ausgelegt (typischerweise den Status quo). Sollen mehrere zeitliche Dimensionen miteinander verglichen werden, muss die Methode adaptiert werden. Durch die insgesamt drei Modellrechnungen (Status quo und die beiden Zukunftsszenarien) mit ihren im Niveau voneinander abweichenden Temperatur- bzw. PET-Werten ist dies im vorliegenden Fall gegeben. Daher wurden zunächst die Statistiken des Status quo (als kühlste Situation) und

des Szenarios Starker Klimawandel mit Stadtentwicklung (als wärmste Situation) als Bandbreiten des „Szenario-Trichters“ miteinander verknüpft. Aus dieser neuen Grundgesamtheit über beide Situationen ergeben sich folgende statistische Werte für die z-Transformation[8]:

- Nächtliche Temperatur, Siedlung:
  Mittelwert = 18,33 °C Standardabweichung = 1,64 °C
- Wärmebelastung am Tag (alle Flächen):
  Mittelwert = 39,37 °C PET Standardabweichung = 5,03 °C PET

Das an den Bandbreiten der auftretenden Werte orientierte Vorgehen eröffnet die Möglichkeit, Bewertungen für beliebige Konstellationen innerhalb dieser Bandbreiten auch im Nachgang zu der vorliegenden Analyse durchzuführen.

Klassifizierung der bioklimatischen Situation

Abweichend von der in der VDI-Richtlinie 3785, Bl.1 vorgeschlagenen vierstufigen Bewertung (Abbildung 45) wurde in der vorliegenden Untersuchung die bioklimatische Situation im Wirkungsraum in fünf Klassen eingeteilt, um der hohen räumlichen Auflösung der Modellergebnisse und der damit verbundenen stärkeres Differenzierung der thermischen Belastung Rechnung zu tragen. Sowohl für die Nacht- als auch für die Tag-Situation wurden Siedlungsflächen und der öffentliche Raum (Wohn- und Gewerbegebiete, Straßen und Plätze) in die Klassen *sehr geringe – geringe – mittlere – hohe – sehr hohe* bioklimatische Belastung eingeteilt (Tabelle 11). Die Abgrenzung erfolgte über die z-Transformation mit gleich großen, um den Mittelwert (z = 0) schwankenden Klassen.

Tabelle 11: Grenzen der z-Transformation und zugehörige PET-Werte für die Klassifizierung der bioklimatischen Situation am Tag.

	Bioklimatische Belastung am Tag	Grenzen der z-Transformation	Zugehörige PET-Werte [°C]
	Sehr gering	z ≤ -1,0	PET ≤ 34,35
	Gering	-1,0 < z ≤ -0,33	34,35 < PET ≤ 37,70
	Mittel	-0,33 < z ≤ 0,33	37,70 < PET ≤ 41,05
	Hoch	0,33 < z ≤ 1,0	41,05 < PET ≤ 44,40
	Sehr hoch	z > 1,0	PET > 44,40

In der Darstellung der Nachtsituation wird neben der Überwärmung zusätzlich auf den Kaltlufthaushalt eingegangen. Zu einem gewissen Anteil wirkt sich die Kaltluft bereits auf die nächtliche Lufttemperatur in den einzelnen Flächen aus. Sie wird dennoch zusätzlich beleuchtet, da sich die Durchlüftung einer Fläche positiv auf angrenzende Flächen auswirken kann. Dazu wurden zunächst Siedlungsflächen mit einer überdurchschnittlich hohen Kaltluftvolumenstromdichte (≥ 8,12 m³/(s*m)) oder erhöhten bodennahen Windgeschwindigkeit (≥ 0,1 m/s) als sogenannter Kaltlufteinwirkbereich definiert. Liegt eine Fläche wertetechnisch hinsichtlich beider Parameter im definierten Bereich, so wird angenommen, dass die Fläche potenziell eine Gunstwirkung für angrenzenden Flächen haben kann. Diesen Flächen wird eine Klimafunktion zugeschrieben, sie sind über eine Schraffur in der Bewertungskarte (Nacht) sichtbar und fließen als Kriterium für die stadtklimatische Handlungspriorität in die Planungshinweiskarte ein.

[8] Zur Erzeugung dieser Werte wurden ausschließlich solche Gitterpunkte aus den Modellergebnissen verwendet, die innerhalb des Siedlungsraums liegen (Wohn- und Gewerbegebiete sowie Straßenraum), da sie die zu vergleichende Gebietskulisse zur Bewertung der thermischen Situation bilden. Die Temperaturen im Ausgleichsraum blieben demnach unberücksichtigt.

Tabelle 12: Grenzen der z-Transformation und zugehörige Lufttemperaturen für die Klassifizierung der bioklimatischen Situation in der Nacht

Bioklimatische Belastung in der Nacht	Grenzen der z-Transformation	Zugehörige Temperaturen (T04) [°C] Siedlung
Sehr gering	z ≤ -1,0	T04 ≤ 16,69
Gering	-1,0 < z ≤ -0,33	16,69 < T04 ≤ 17,79
Mittel	-0,33 < z ≤ 0,33	17,79 < T04 ≤ 18,88
Hoch	0,33 < z ≤ 1,0	18,88 < T04 ≤ 19,97
Sehr hoch	z > 1,0	T04 > 19,97

4.2.4 BEWERTUNG DES AUSGLEICHSRAUMS

Während in den Klimaanalysekarten die dem Ausgleichsraum zugehörigen Grün- und Freiflächen, landwirtschaftlichen Flächen und Wälder vornehmlich siedlungsunabhängig anhand ihres Kaltluftliefervermögens gekennzeichnet werden, steht in den Bewertungs- und der Planungshinweiskarte deren stadtklimatische Bedeutung sowie die Ableitung der Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen im Mittelpunkt.

Zur stadtklimatischen Bewertung des Ausgleichsraums in der Nacht rückt dessen Funktion für den Kaltlufthaushalt in den Fokus. So erhielten in Verbindung mit den besonderen Kaltluftprozessen (Kaltluftleitbahnen, Ventilationsbahnen) stehende Fläche eine *sehr hohe Bedeutung*, wenn sie einen unmittelbaren Siedlungsbezug aufweisen (Primärfunktion) und eine *hohe Bedeutung*, wenn sie Kaltluftproduktionsflächen darstellen, die die Kaltluftleitbahnen bzw. Kaltluftabflüsse unmittelbar speisen (Sekundärfunktion, direktes Einzugsgebiet).

Im Hinblick auf planungsrelevante Belange spielt zusätzlich der Siedlungsbezug der Flächen im Ausgleichsraum eine Rolle. Kaltluft, die während einer Strahlungsnacht innerhalb des Ausgleichsraums entsteht, kann nur dann von planerischer Relevanz sein, wenn den Flächen ein entsprechender Siedlungsraum zugeordnet ist, der von ihren Ausgleichsleistungen profitieren kann. Die folgende Abbildung 46 zeigt in schematisierter Form den dabei angewendeten hierarchischen Bewertungsschlüssel, wobei gilt:

- ‚*Hohe Kaltluftfunktion*‘: mindestens zwei der drei Werte: Kaltluftvolumenstrom / Kaltluftproduktion / Windgeschwindigkeit sind größer als der jeweilige Mittelwert/Schwellenwert (8,47 m³/(s m) bzw. ≥ 25,75 m³/(m² h) bzw. ≥ 0,1 m/s)
- ‚*Angrenzend an Wohngebiete*‘: Entfernung bis 30 m Luftlinie
- ‚*Agglomeration*‘: geschlossener Siedlungsraum (ohne Splitterflächen, Einzelhöfe etc. im Außenraum; gutachterliche Einteilung)
- ‚*Siedlungsbezug*‘: Entfernung bis 500 m Luftlinie

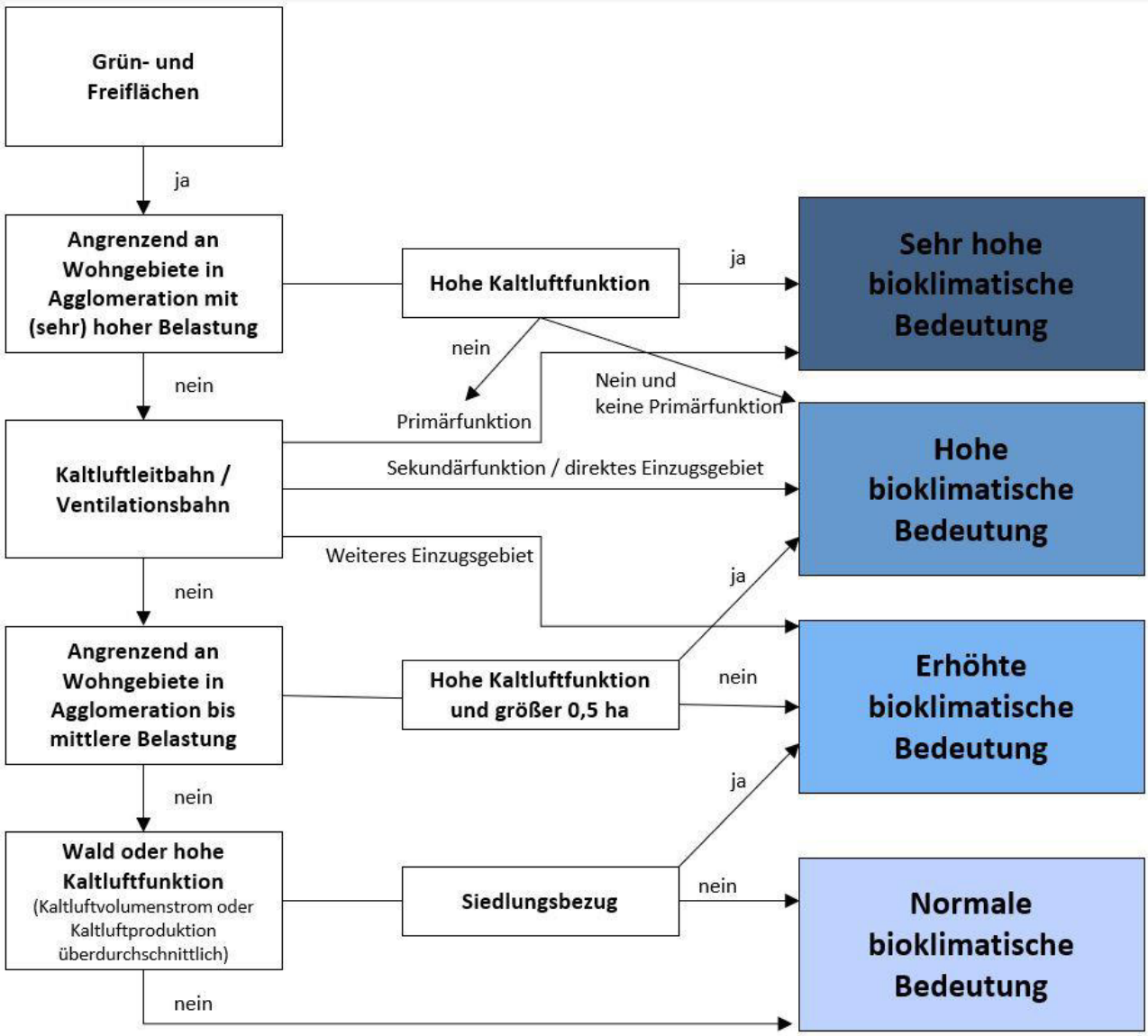


Abbildung 46: Schema der stadtklimatischen Bewertung von Flächen im Ausgleichsraum in der Nacht.

Für die Tag-Situation wird die bioklimatische Bedeutung (Aufenthaltsqualität) auf den Flächen im Ausgleichsraum ebenfalls in der fünfstufigen Skala von *sehr hoch* bis *sehr gering* bewertet.

Durch den Klimawandel steigt die Wärmebelastung am Tag flächendeckend im Stadtgebiet, sodass die Aufenthaltsqualität auf den Flächen im Ausgleichsraum sinken kann. Damit nimmt die Anzahl ungünstig bewerteter Flächen zu, was jedoch nicht meint, dass deren Bedeutung für das Stadtklima abnimmt. Vielmehr ist es ein Hinweis, dass die Wärmebelastung auf den Flächen ohne Aufwertung und angepasste Pflege zunehmen wird. Sie behalten jedoch eine wichtige stadtklimatische Ausgleichsfunktion für den stärker belasteten Siedlungsraum.

4.2.5 ERGEBNISSE DER BEWERTUNGSKARTEN

Abbildung 47 zeigt Ausschnitte aus den Bewertungskarten für die Nachtsituation. Während in der Ist-Situation die Flächen mit hoher bis sehr hoher Belastung - mit Ausnahme der größeren Industrie- und Gewerbegebiete - nur relativ vereinzelt und vorrangig in den hoch verdichteten Siedlungskernen (Innenstadt, Zentrum von Oggersheim) sowie den Gewerbegebieten und nur sehr vereinzelt in den weiteren Stadtteilen und Ortsbezirken zu lokalisieren sind, zeigt sich in den beiden Zukunftsszenarien erwartungsgemäß ein flächendeckender Anstieg derselben Kategorien. So sind in den beiden Szenarien, welchen jeweils ein „starker Klimawandel“ zugrunde liegt, ein Großteil der Siedlungsfläche mind. in die Kategorie hoher Belastung eingestuft. Tabelle 13 zeigt die Flächenanteile der jeweiligen Belastungskategorien.

Grundsätzlich unterliegen die Siedlungsgebiete am Rand von größeren Grünflächen den günstigsten bioklimatischen Bedingungen im Untersuchungsgebiet. Dies zeigt sich u.a. am nördlichen Siedlungsrand von Maudach und in den Randlagen von Hochfeld. Auffällig ist der sehr hohe Anteil an Flächen in der Belastungsstufe 1 bis 3 (Ist-Zustand) bzw. 3 bis 5 in den beiden Zukunftsszenarien. Dies ist auf das starke Klimaänderungssignal von +1,7 K in beiden Zukunftsszenarien zurückzuführen.

Auch in den Zukunftsszenarien mit „starkem Klimawandel“ überwiegen am Siedlungsrand mit insgesamt 36,8 % des Siedlungsgebiets vielerorts noch die Flächen mit einer „nur“ mittleren Belastung. Darüber hinaus sind allerdings bis auf relativ wenige Ausnahmen der Großteil der Siedlungsflächen den beiden höchsten Belastungsstufen zugeordnet (59,6 %, siehe Tabelle 13).

Die Grün- und Freiflächen variieren in den drei Szenarien weniger in ihrer Bedeutung in der Nacht. Das Bewertungsschema basiert auf den Kaltluftprozessen, und der jeweiligen Lagebeziehung mit umliegenden Wohnsiedlungsflächen (vgl. Abbildung 46). Folglich liegen die Flächen mit hoher oder sehr hoher bioklimatischer Bedeutung, in ihrer Funktion als Kaltluftaustauschflächen, direkt angrenzend an die Wohnsiedlungsflächen. Zusammen machen sie im Ist-Zustand 30,9 % des Ausgleichsraums aus, wobei der Anteil in den Zukunftsszenarien auf 31,3 % bzw. 33,6 % ansteigt. Der Flächenanteil des Ausgleichsraums mit einer „sehr hohen“ Bedeutung nimmt dabei überproportional stark zu, was vor allem daran liegt, dass durch die zunehmende Wärmebelastung im Wirkungsraum mehr Grünflächen direkt an stark oder sehr stark belastete Siedlungsflächen angrenzen.

Bei den Freiflächen mit einer „normalen“ bioklimatischen Bedeutung für das Stadtklima in den Wohnsiedlungen handelt es sich überwiegend um großflächige landwirtschaftlich genutzte Areale im städtischen Umland. Diese liegen in der Regel mehrere Hundert Meter von der geschlossenen Siedlungsstruktur entfernt – Einzelhöfe als Siedlungssplitter ausgenommen. Da im Ist-Zustand kein direkter Siedlungsbezug besteht, verändert sich ihr Flächenanteil erst im Zuge der im entsprechenden Zukunftsszenario angenommenen Siedlungserweiterungen. Die Reduktion fällt mit einem Rückgang von 20,8 % auf 16,4 % jedoch vergleichsweise moderat aus.

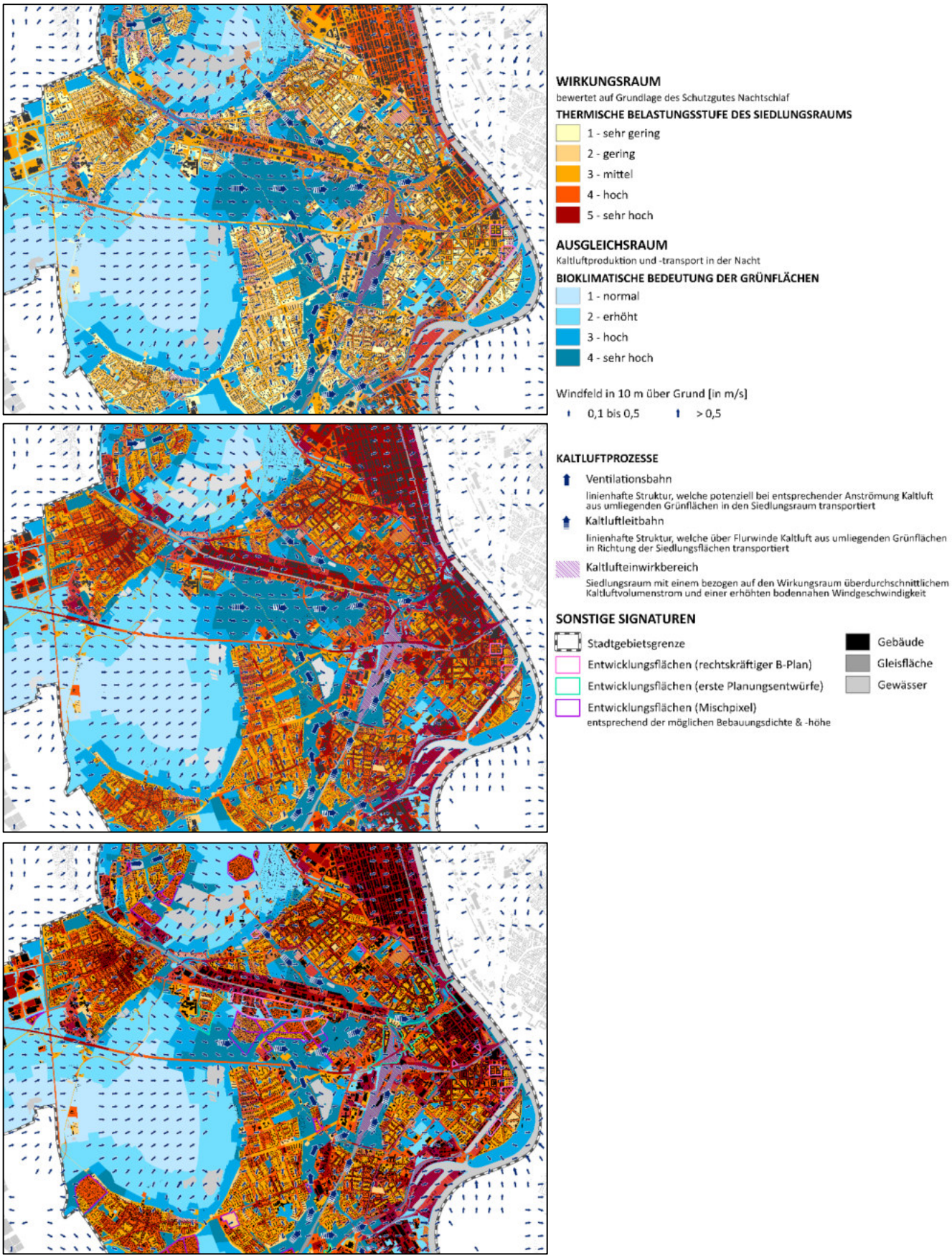


Abbildung 47: Ausschnitt aus den Bewertungskarten für die Nachtsituation um 4 Uhr (oben Ist-Situation, Mitte Zukunftsszenario „starker Klimawandel“, unten Zukunftsszenario „starker Klimawandel mit Stadtentwicklung“).

Tabelle 13: Flächenanteile der Klassifizierung der bioklimatischen Belastung in der Nacht, nach Modellierungsszenario

Bioklimatische Belastung in der Nacht	Flächenanteil Ist-Situation	Flächenanteil Szenario „starker Klimawandel“	Flächenanteil Szenario „starker Klimawandel + SE“
Sehr gering	18,2 %	0,3 %	0,2 %
Gering	44,2 %	4,2 %	3,4 %
Mittel	23,3 %	37,6 %	36,8 %
Hoch	14,3 %	32,2 %	36,8 %
Sehr hoch	0,1 %	25,7 %	22,8 %

Tabelle 14: Flächenanteile der Klassifizierung der bioklimatischen Bedeutung in Bezug auf die Wohnsiedlung in der Nacht, nach Modellierungsszenario

Bioklimatische Bedeutung in der Nacht	Flächenanteil Ist-Situation	Flächenanteil Szenario „starker Klimawandel“	Flächenanteil Szenario „starker Klimawandel + SE“
Normal	20,8 %	20,8 %	16,4 %
Erhöht	48,3 %	47,9 %	49,9 %
Hoch	20,2 %	14,4 %	13,9 %
Sehr hoch	10,7 %	16,9 %	19,7 %

Auch die Bewertungskarten für die Tagsituation werden in Ausschnitten gezoomt auf das zentrale Stadtgebiet in Abbildung 48 dargestellt. Grundsätzlich verteilen sich Flächen unterschiedlichen bioklimatischen Belastungsgrades mosaikartig im gesamten Stadtgebiet, meist abhängig von Verschattungsgrad durch Bäume und Baustrukturen sowie Baumasse, Versiegelungsgrad und Gewässereinfluss. Ebenso wie in der Nacht sind u.a. die Wohngebiete angrenzend an den Maudacher Bruch sowie an andere Grünflächen mit erhöhtem Baumbestand (z.B. Stadtpark Ludwigshafen) mit der geringsten Hitzebelastung belegt. Darüber hinaus zeigen auch Siedlungslagen im Nahbereich des Rheins sowie der Seen und Teiche eine insgesamt gedämpfte Wärmebelastung, insbesondere dann, wenn zusätzlich noch ein gewisser Baumbestand im jeweiligen Quartier vorhanden ist. Abseits der genannten Einflussfaktoren treten auch im sonstigen Stadtgebiet Bereiche mit vergleichsweise günstigen stadtklimatischen Bedingungen auf. So ist das nähere Umfeld des Schützenplatzes, Bayernplatzes, Prälat-Husse-Platzes sowie Koschatplatzes (Innenstadt Süd) durch einen relativ hohen Baumbestand geprägt, was sich besonders an den begrünten Plätzen sowie überwiegend begrünten Innenhöfen zeigt. Dagegen sind weite Teile der Siedlungsflächen, die in der Nacht noch relativ niedrig belastet sind, am Tage aufgrund geringer oder fehlender Verschattung bereits in der Ist-Situation mittel oder hoch belastet (z.B. Niederfeld). Eine mittlere bis hohe Hitzebelastung findet sich u.a. auch in der Innenstadt Mitte, im Großteil der Gewerbegebiete, dem BASF-Werksgelände sowie in den auch in der Nacht überwiegend stark wärmebelasteten Zentren von Oggersheim und Rheingönheim.

Tabelle 15 zeigt, dass sich in der Ist-Situation 10,9 % der Siedlungsflächen in der Belastungsklasse „hoch“ befinden. In den Szenarien „starker Klimawandel“ und „starker Klimawandel mit Stadtentwicklung“ nimmt dieser Anteil mit rund 55 bzw. 50 % erheblich zu. Die Klasse „sehr hohe bioklimatische Belastung“ hat auch in den Szenarien mit „starkem Klimawandel“ mit rund 2,5 % nur einen verhältnismäßig kleinen Flächenanteil. Bei diesen Flächen handelt es sich im Wesentlichen um einige zentrale dicht bebaute Blockflächen in den Stadtteilen Friesenheim, Oggersheim, Rheingönheim, Oppau und Maudach. Die Innenstadt weist u.a. aufgrund der vergleichsweise hohen Gebäude keine Flächen mit der höchsten Wärmebelastung auf.

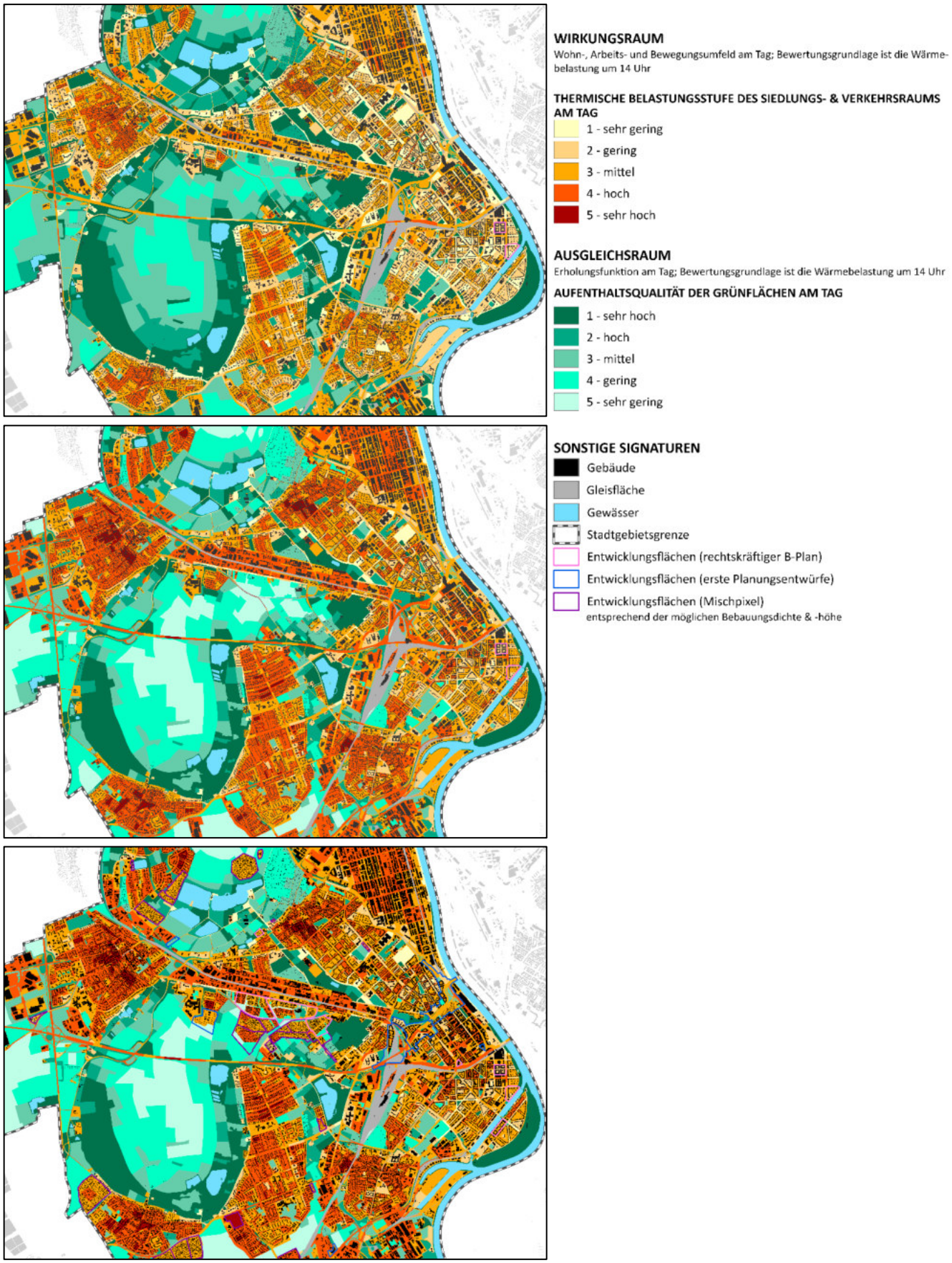


Abbildung 48: Ausschnitt aus den Bewertungskarten für die Tagsituation um 14 Uhr (oben Ist-Situation, Mitte Zukunftsszenario „starker Klimawandel“, unten Zukunftsszenario „starker Klimawandel mit Stadtentwicklung“).

Die Grün- und Freiflächen verlieren in Folge der Zunahme der PET-Werte in den Zukunftsszenarien an Erholungsfunktion für den Menschen am Tage. In der Ist-Situation werden über 40 % der Grünflächen mit einer hohen oder sehr hohen bioklimatischen Bedeutung eingestuft – hierbei handelt es sich ausnahmslos um Wald bzw. Flächen mit erhöhtem Baumbestand sowie um Flächen im direkten Nahbereich von Gewässern. In den Zukunftsszenarien belegen nur noch rund 25 bis 27 % eine der beiden höchsten Einstufungen. Die baumlosen Freiflächen mit niedriger Vegetation verlieren aufgrund der in den Zukunftsszenarien modellierten reduzierten Bodenfeuchte am deutlichsten an Erholungsfunktion, da sie der stärksten Zunahme von PET-Werten unterliegen. Ca. 60 bzw. 55,5% der Grün- und Freiflächen werden in den Zukunftsszenarien mit „starkem Klimawandel“ nur noch eine geringe oder sehr geringe bioklimatische Bedeutung zugeordnet (Ist-Situation: 24,5 %).

Tabelle 15: Flächenanteile der Klassifizierung der bioklimatischen Belastung am Tage, nach Modellierungsszenario

	Bioklimatische Belastung am Tag	Flächenanteil Ist-Situation	Flächenanteil Szenario „starker Klimawandel“	Flächenanteil Szenario „starker Klimawandel + SE“
	Sehr gering	7,9 %	1,1 %	0,9 %
	Gering	26,6 %	8,2 %	7,5 %
	Mittel	54,6 %	32,8 %	39,4 %
	Hoch	10,9 %	55,4 %	49,7 %
	Sehr hoch	< 0,1 %	2,5 %	2,4 %

Tabelle 16: Flächenanteile der Klassifizierung der bioklimatischen Bedeutung am Tage in Bezug auf den Siedlungsraum, nach Modellierungsszenario

	Aufenthaltsqualität / bioklimatische Bedeutung an Sommertagen	Flächenanteil Ist-Situation	Flächenanteil Szenario „starker Klimawandel“	Flächenanteil Szenario „starker Klimawandel + SE“
	Sehr gering	0 %	28,5 %	21,9 %
	Gering	24,5 %	31,5 %	33,6 %
	Mittel	33,3 %	14,7 %	17,0 %
	Hoch	15,7 %	9,3 %	10,1 %
	Sehr hoch	26,4 %	16,0 %	17,5 %

4.3 HANDLUNGSFELD 1 - RAUMORDNUNG, REGIONAL- UND BAULEITPLANUNG SOWIE BAUWESEN

4.3.1 PLANUNGSHINWEISKARTE

Die Planungshinweiskarte (PHK) Stadtklima fasst die Ergebnisse der sechs PHK-Bewertungskarten zusammen, sodass auf den ersten Blick ersichtlich wird, welche Flächen einen hohen Schutzbedarf haben und wo in Ludwigshafen Maßnahmen zur Anpassung vorrangig umgesetzt werden sollten. Im Ergebnis stellt die Planungshinweiskarte eine wichtige fachliche Grundlage für regional-/stadtplanerische Abwägungs- bzw. Entscheidungsprozesse dar.

Als Ziele der Planungshinweiskarte wurden definiert:

- Luftleitbahnen und Kaltluftentstehungsgebiete in ihrem Bestand sichern und vor negativen Entwicklungen schützen.
- Durchlüftung dicht bebauter Bereiche sichern und fördern.
- Flächen mit bereits deutlicher klimatischer Belastung in zukünftiger baulicher Entwicklung einschränken und zusätzlich auch hinsichtlich einer Klimaanpassung weiterentwickeln

4.3.2 STADTKLIMATISCHE BELASTUNGSSITUATION IM WIRKUNGSRAUM

In den Wohn- und Gewerbeflächen sowie im öffentlichen Raum wird die stadtklimatische Belastungssituation dargestellt. Für die Einteilung der Handlungsprioritäten wurde in einem ersten Schritt die für die Nacht- und Tagsituation vorgenommene bioklimatische Bewertung kombiniert. In Wohngebieten wurde die Nachtsituation stärker gewichtet (Fokus Schlafqualität) und in unbewohnten Gebieten sowie im Straßenraum und auf Plätzen die Tagsituation (Fokus Aufenthaltsqualität im Außenraum; Tabelle 17).

Tabelle 17: Kombinierte Bewertung der bioklimatischen Situation aus den Bewertungskarten Nacht und Tag in Wohngebieten sowie in unbewohnten Gebieten.

Wohngebiete							Unbewohnte Gebiete						
		Bewertung Nacht							Bewertung Nacht				
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
Bewertung Tag	1	1	2	3	3	4	Bewertung Tag	1	1	1	2	2	3
	2	1	2	3	4	4		2	2	2	2	3	3
	3	2	2	3	4	5		3	3	3	3	3	4
	4	2	3	3	4	5		4	3	4	4	4	5
	5	3	3	4	5	5		5	4	4	5	5	5

1 = sehr geringe Wärmebelastung, ..., 5 = höchste Wärmebelastung

Beispielsweise wird einem Wohngebiet, welches in der Nacht sehr hoch belastet ist (5), in Kombination mit mittlerer Belastung (3) am Tage eine Gesamt-Wärmebelastung von 5 = am höchsten zugeordnet (vgl. Tabelle 18, linke Seite). Ein Gewerbegebiet mit sehr geringer Belastung (1) in der Nacht und sehr hoher Belastung (5) am Tage wird insgesamt mit hoher (4) Wärmebelastung bewertet (vgl. Tabelle 17, rechte Seite).

Im zweiten Schritt wird die Betrachtung der Zukunftsszenarien hinzugezogen und die Klimafunktion der Siedlungsflächen berücksichtigt. Die höchste Handlungspriorität erhalten Flächen, die bereits heute mindestens hohe oder in einem der Zukunftsszenarien eine sehr hohe bioklimatische Belastung aufweisen. In der Klasse

„Handlungspriorität 2“ liegen die Siedlungsflächen, die in der Ist-Situation mindestens eine mittlere und unter dem Einfluss eines starken Klimawandels eine hohe Belastung verzeichnen. Diese Abstufung setzt sich wie in Tabelle 18 skizziert für die weiteren Handlungsprioritäten fort bis aus stadtklimatischer Sicht keine vorrangige Handlungspriorität mehr abzuleiten ist. Das Handlungserfordernis lässt sich hier mit dem Vorsorgeprinzip begründen und wird je größer, desto erfolgloser die weltweiten Klimaschutzbemühungen in den kommenden Jahren ausfallen. Die Flächen mit der geringsten Handlungspriorität 4 behalten auch unter der Annahme eines „starken Klimawandels“ eine höchstens mittlere Wärmebelastung. Sie können als sehr robust gegenüber dem Klimawandel eingestuft werden. Durch diese vorgenommenen Definitionen kann jede auftretende Wertstufenkombination der dreidimensionalen Matrix aus Bestandssituation, „starker Klimawandel“ und „starker Klimawandel mit Stadtentwicklung“ eindeutig einer der Belastungsstufen zugeordnet werden.

Tabelle 18: Methodische Herleitung der stadtklimatischen Handlungsprioritäten und der Anteil an den Flächen des Wirkungsraums.

Bewertung im Wirkungsraum	Methodische Herleitung	*Anteil an Flächen im Wirkungsraum*
Handlungspriorität 1	Flächen, die bereits heute eine hohe oder in einem der Zukunftsszenarien eine sehr hohe Wärmebelastung aufweisen.	*17,8 %*
Handlungspriorität 2	Flächen, die heute mindestens eine mittlere und in mindestens einem der beiden Zukunftsszenarien eine hohe Wärmebelastung aufweisen.	*24,6 %*
Handlungspriorität 3	Flächen, die heute mindestens eine geringe und in mindestens einem Zukunftsszenario eine mittlere Wärmebelastung aufweisen.	*44,5 %*
Handlungspriorität 4	Flächen, die heute eine sehr geringe und in der Zukunft höchstens eine mittlere Wärmebelastung aufweisen.	*13,1 %*

Die Wärmebelastung bezieht sich auf die kombinierte Bewertung aus Tabelle 17

Ein Großteil der Siedlungsflächen in der Ludwigshafener Innenstadt Nord sind mit Handlungspriorität 1 oder 2 belegt, ebenso wie der Großteil der Industrie- und Gewerbeflächen. Zusätzlich befinden sich Flächen der obersten zwei Handlungsprioritäten auch innerhalb der zentralen Lagen der Stadtteile Oggersheim, Maudach, Friesenheim, Oppau und Rheingönheim.

Die Handlungsprioritäten sollen eine Hilfestellung geben, in welchen Flächen Maßnahmen zur stadtklimatischen Anpassung besonders wichtig und bevorzugt anzugehen sind, ohne dass dadurch eine Reihenfolge der Maßnahmenumsetzung in den einzelnen Flächen vorgeschrieben wird. Dafür wurden die Handlungsprioritäten in Tabelle 19 mit allgemeinen stadtklimatischen Planungshinweisen versehen. In Flächen der Handlungsprioritäten 1 bis 3, die in Ludwigshafen ca. 87 % (vgl. Tabelle 18) des Siedlungsraums ausmachen, sind optimierende stadtklimatische Maßnahmen notwendig bzw. zu prüfen. Darunter ist in den Flächen der höchsten Handlungspriorität (ca. 17,8 % Flächenanteil) zusätzlich zu prüfen, ob proaktiv Anpassungsmaßnahmen im Bestand umgesetzt werden können. Insbesondere auf Flächen der Industrie- und Gewerbegebiete können konkurrierende gesetzliche Anforderungen zum Gewässer- und Bodenschutz und / oder Vorgaben der Arbeits- und Anlagensicherheit Handlungsoptionen einschränken. Ergänzend ist bei diesen Flächen zu klären, inwieweit

überhaupt Auswirkungen auf die Wohn- und Arbeitssituation ausgehen. Dies ist notwendig, um in Gewerbe- und Industriebereichen entsprechende und angemessene Maßnahmen durchzuführen.

In lediglich rund 13 % des Siedlungsraums besteht keine vorrangige stadtklimatische Handlungspriorität, für die im Sinne des Vorsorgegedankens jedoch die Einhaltung gewisser klimaökologischer Standards bei Entwicklungen empfohlen wird.

Hinsichtlich einer ersten Bewertung der Entwicklungsflächen (Zukunftsszenario) wurde in der Planungshinweiskarte zunächst eine grobe Einteilung in folgende drei Kategorien vorgenommen:

> „Planung ist unter Beachtung klimaökologischer Belange grundsätzlich möglich - bei größeren Vorhaben klimafachliche Begleitung zu empfehlen."
>
> „Planung ist stadtklimaverträglich mit erhöhten optimierenden Maßnahmen möglich - weitere klimafachliche Analyse auch für Einzelvorhaben notwendig."
>
> „Planung insbesondere bei Einschränkung von Luftleitbahnen aus stadtklimatischer Sicht nicht zu empfehlen, hohe Restriktionen und erhebliche Optimierungsmaßnahmen zu erwarten - detaillierte Analyse auf klimaökologische Auswirkungen verpflichtend."

Die Entwicklungsflächen wurden durch die entsprechende Farbe der Kategorie eingerahmt (Abbildung 49 und Anhang A 40). Eine detailliertere Bewertung der Entwicklungsflächen inklusive erster planerischer Hinweise findet in Kapitel 4.3.4 statt.

Tabelle 19: Mit den Handlungsprioritäten Stadtklima im Wirkungsraum verbundene allgemeine Planungshinweise.

Bewertung im Wirkungsraum	Planungshinweise
Handlungspriorität 1	Maßnahmen zur Verbesserung der bioklimatischen Situation sind notwendig und nach ihrer Wirksamkeit zu priorisieren. Im Bestand ist die Möglichkeit entsprechender Maßnahmen zu prüfen. Bei allen baulichen Vorhaben und Sanierungen, sind Maßnahmen zur Verbesserung der bioklimatischen Situation nach Möglichkeit umzusetzen.
Handlungspriorität 2 und 3	Maßnahmen zur Verbesserung der bioklimatischen Situation sind zu prüfen und auf Ihre Wirksamkeit hin zu bewerten. Bei allen Nachverdichtungen, baulichen Entwicklungen und im Zuge von Sanierungen, sollen Maßnahmen zur Verbesserung der bioklimatischen Situation umgesetzt werden.
Handlungspriorität 4 bzw. keine vorrangige Handlungspriorität	Die günstige bioklimatische Situation ist bei allen baulichen Entwicklungen möglichst zu erhalten oder zu verbessern.

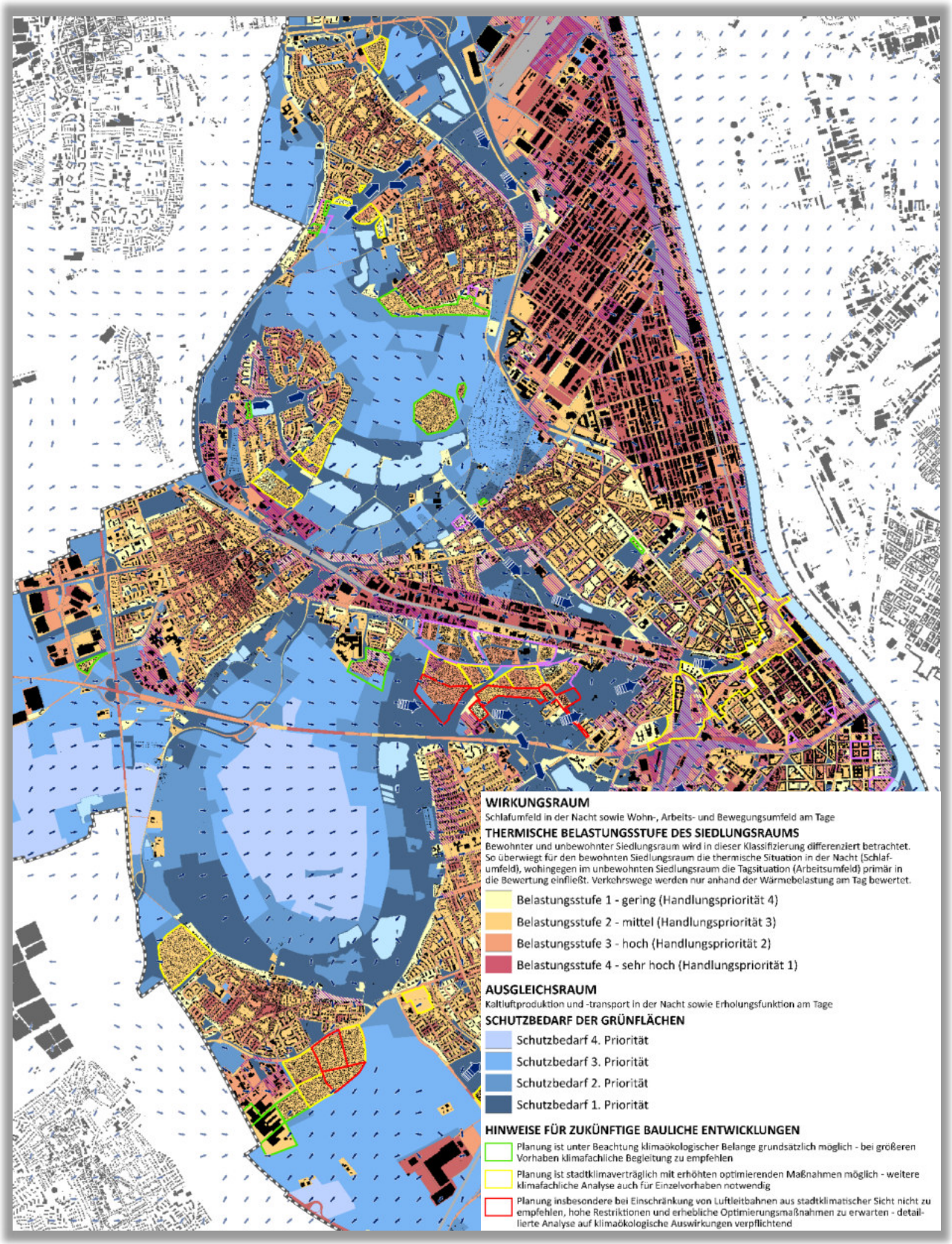


Abbildung 49: Ausschnitt aus der Planungshinweiskarte Stadtklima (gekürzte Legende).

4.3.3 STADTKLIMATISCHER SCHUTZBEDARF IM AUSGLEICHSRAUM

Die Planungshinweiskarte gibt den stadtklimatischen Schutzbedarf von Grün- und Freiflächen, landwirtschaftlichen Flächen und Wäldern anhand ihrer Funktion für den Kaltlufthaushalt bzw. als Rückzugsorte an heißen Tagen wieder. Zur Ableitung des Schutzbedarfs wurden zunächst die Bewertungen aus den Bewertungskarten Tag und Nacht kombiniert (Tabelle 20). Dies erfolgte unter dem Grundsatz, dass eine Fläche, die am Tag oder in der Nacht die höchste Bedeutung aufweist, auch einen mindestens hohen Schutzbedarf zugeschrieben bekommt.

Tabelle 20: Kombinierte Bewertung der bioklimatischen Bewertung aus den Bewertungskarten Nacht und Tag für die Flächen im Ausgleichsraum.

Ausgleichsraum		Bewertung Nacht			
		4	3	2	1
Bewertung Tag	5	5	4	3	2
	4	4	3	3	2
	3	3	3	2	1
	2	3	2	2	1
	1	2	1	1	1

1 = höchste bioklimatische Bedeutung, ..., 5 = geringste

Beispielsweise wird einer Grünfläche, welche am Tage eine sehr hohe Bedeutung (1) aufweist, in Kombination mit einer geringen Bedeutung (4) in der Nacht eine Gesamt-Bedeutung von 2 = hoch zugeordnet (vgl. Tabelle 20). Eine im Umland liegende Freifläche mit hoher Bedeutung (2) in der Nacht und geringer Bedeutung (4) am Tage wird insgesamt mit einer mittleren (3) Bedeutung bewertet (vgl. Tabelle 20).

Tabelle 21: Methodische Herleitung des stadtklimatischen Schutzbedarfs und der Anteil an den Flächen des Ausgleichsraums.

Bewertung im Ausgleichsraum	Methodische Herleitung	*Anteil an Flächen im Ausgleichsraum*
Schutzbedarf 1. Priorität	Höchste stadtklimatische Bedeutung in mindestens einer der drei Szenarien	*30,4 %*
Schutzbedarf 2. Priorität	Hohe stadtklimatische Bedeutung in mindestens einer der drei Szenarien	*22,3 %*
Schutzbedarf 3. Priorität	Erhöhte stadtklimatische Bedeutung in mindestens einer der drei Szenarien	*35,4 %*
Schutzbedarf 4. Priorität	Übrige Flächen	*11,8 %*

Die Zuweisung der Schutzbedarfe für die Planungshinweiskarte ist direkt abhängig von der jeweiligen stadtklimatischen Bedeutung. Flächen, die in mindestens einer der drei Szenarien in die Kategorie der höchsten Bedeutung für das Stadtklima fallen, wird der höchste Schutzbedarf zugewiesen (Tabelle 21). Der hohe Anteil von Flächen mit hohem oder sehr hohem stadtklimatischen Schutzbedarf (52,7 % aller Flächen im Ausgleichsraum) geht vor allem auf die vergleichsweise vielen Leitbahnstrukturen im Stadtgebiet zurück, die in der Nacht eine (sehr) hohe Bedeutung aufweisen. Aber auch die relativ hohe Anzahl an Grünflächen, die an stark bis sehr stark belastete Wohnsiedlungen angrenzen, fallen aufgrund ihrer lokalen Ausgleichsfunktion in die Kategorie mit hohem oder sehr hohem Schutzbedarf.

In Abhängigkeit vom Schutzbedarf der Flächen ist deren stadtklimatische Funktion bei geplanten Entwicklungen zu prüfen. Bei einem *sehr hohen Schutzbedarf* wird eine Entwicklung beispielsweise nur dann als stadtklimaverträglich gewertet, wenn ein Nachweis über die Erhaltung der jeweiligen Funktion erfolgt (z.B. die Funktion als Kaltluftleitbahn oder ihre Wirkung als öffentliche Grünfläche mit hoher Aufenthaltsqualität an heißen Tagen). Bei der weiteren Abstufung ist die Funktion der jeweiligen Flächen zu beachten, wobei die Art und Größe des Vorhabens im Einzelfall bestimmen, welche Vorgaben zur stadtklimatischen Prüfung einzuhalten sind (Detailgutachten oder qualitative Stellungnahme). Dabei kann die klimafachliche Begleitung einer Planung sowohl von städtischer Seite aus als auch durch externe Gutachter erfolgen.

Tabelle 22: Mit dem stadtklimatischen Schutzbedarf im Ausgleichsraum verbundene allgemeine Planungshinweise.

Bewertung im Ausgleichsraum	Planungshinweise
Schutzbedarf 1. Priorität	Der Erhalt oder die Verbesserung der stadtklimatischen Funktion ist notwendig und prioritär. Bei Eingriffen in die Flächen ist die Erhaltung oder Verbesserung der jeweiligen stadtklimatischen Funktion (bspw. Kaltlufttransport, Verschattung) nachzuweisen. Bauliche Entwicklungen sind klimafachlich zu begleiten. Je nach Art, Lage und Größe des Vorhabens kann dies über eine fachliche Stellungnahme oder modellhafte Untersuchung erfolgen.
Schutzbedarf 2. Priorität	Bei Eingriffen in die Flächen ist die Erhaltung oder Verbesserung der stadtklimatischen Funktion anzustreben (bspw. Kaltlufttransport, Verschattung). Bei baulichen Entwicklungen ist eine klimafachliche Einschätzung vorzunehmen, bei größeren Vorhaben kann eine modellhafte Untersuchung erforderlich sein.
Schutzbedarf 3. Priorität	Bei Eingriffen in die Flächen ist auf die stadtklimatische Funktion zu achten (bspw. Kaltlufttransport, Verschattung). Bei größeren Vorhaben ist eine klimafachliche Begleitung anzustreben.
Schutzbedarf 4. Priorität	Die Flächen weisen für den derzeitigen Siedlungsraum keine besondere stadtklimatische Funktion auf. Eingriffe sollten unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen.

4.3.4 STADTKLIMATISCHE BEWERTUNG DER STÄDTEBAULICHEN ENTWICKLUNGSFLÄCHEN

Im Folgenden werden die Entwicklungsflächen der beiden Zukunftsszenarien hinsichtlich ihrer grundsätzlichen Stadtklimaverträglichkeit analysiert. Dabei ist zu beachten, dass trotz teilweise relativ konkreter Planungsgrundlage die Modellierungsergebnisse aufgrund fehlender Detailplanung nur eine Annäherung an die tatsächlich zu erwartende Flächenkulisse darstellen. So fehlen Informationen zur Lage der Verkehrswege, Gebäudestellungen sowie weiteren Elementen, weshalb der in Kapitel 3.2.3 beschriebene Mischpixelansatz verwendet wurde. Dieser ist als eine Art Stellvertreter für eine mögliche zukünftige Bebauung zu verstehen, wodurch sich erste Aussagen zur grundsätzlichen Umsetzbarkeit ableiten lassen.

Die nachfolgenden Planungshinweise haben das Ziel für die hinsichtlich des Stadtklimas relevantesten stadtplanerischen Entwicklungsflächen in Ludwigshafen erste optimierende Maßnahmen zu skizzieren. Dadurch sollen die Auswirkungen auf die bestehenden Stadtquartiere reduziert und die bioklimatische Situation innerhalb der Entwicklungsflächen gefördert werden. Der Fokus liegt dabei auf dem nächtlichen Kaltluftaustauschprozessen sowie der grundlegenden Struktur der Entwicklungsflächen und weniger auf der detaillierten Ausgestaltung der geplanten Bebauung. Für Letzteres können in einem ersten Schritt die abschließend aufgeführten allgemeingültigen Planungshinweise verwendet werden. Zu beachten ist, dass in diesem Rahmen aufgrund der Vielzahl an Entwicklungsflächen nicht auf jede einzeln eingegangen werden kann. Einige Hinweise – etwa hinsichtlich einer empfohlenen offenen Bauweise zur Förderung des Luftaustausches – lassen sich häufig auch auf nicht explizit erwähnte Entwicklungsflächen übertragen, da diese meist der gleichen Logik folgen.

1. Planungshinweise zum Vertiefungsgebiet Neues Stadtquartier

Abbildung 50: Modifizierter Kartenausschnitt der PHK für das Vertiefungsgebiet Neues Stadtquartier.

Die Hauptströmung der Kaltluft (dunkelblauer Bereich in Karte zum Kaltluftvolumenstrom) sollte durch die geplante Bebauung möglichst wenig beeinträchtigt werden. Die geplanten Gebäude sollten in diesem Zusammenhang nicht entgegen der vorherrschenden Strömungsrichtung ausgerichtet sein und/oder innerhalb eines Baufeldes zumindest durch ausreichend große Gebäudeabstandsflächen (mind. 30 m, besser 50 m) ein Durchfließen der Kaltluft ermöglichen.

Bei den aktuell angenommenen zukünftigen Baukörpern sind die geplanten Gebäude in **Baufeld 1** (siehe Kaltluftkarte Zukunft) beispielsweise entgegen der Kaltluftströmung ausgerichtet. Hier sollte nach Möglichkeit entweder die Gebäudeausrichtung angepasst oder 2 bis 3 Durchlüftungskorridore mit ca. 50 m Breite angedacht werden. Die Positionierung der Durchlüftungskorridore sollten sich dabei möglichst an benachbarten Durchlüftungsachsen orientieren (z.B. zwischen Baufelder 2 und 3 bzw. Baufelder 3 und 4).

Baufeld 2 ist in der angenommenen Planung grundsätzlich entlang der Kaltluftströmung ausgerichtet. Lediglich das westlichste Gebäude stellt ein erhebliches Strömungshindernis dar und sollte in seiner Form bzw. Ausrichtung angepasst werden. Da nördlich des Baufeldes im Bereich des Friedensparks die verbliebene Hauptströmung der Kaltluftleitbahn verläuft, sollte der Abstand zur nördlich angrenzenden Bestandsbebauung idealerweise im Bereich von rund 100 m liegen.

Baufeld 3 ist grundsätzlich ebenfalls entsprechend der vorherrschenden Kaltluftströmung ausgerichtet. Kritisch zu sehen ist der relativ geringe Abstand zu Baufeld 2 (aktuell ca. 40 m). Dieser sollte mind. 50 m betragen. Zudem ist das Baufeld selbst durch abriegelnde Bauweise - insbesondere durch das westlichste Gebäude - im bodennahen Bereich kaum mit Kaltluft versorgt. Hier sollte im Falle einer zukünftigen Wohnnutzung möglichst ein nach Westen geöffneter Durchlüftungskorridor (mind. 30 m Breite) eingeplant werden.

Im **Baufeld 4 und 5** sollten vorhandene „Eintrittspforten“ (z.B. Danziger Platz/Heinigstraße, Berliner Straße, Maxstraße, zukünftig ggf. auch Bismarckstraße) in die südlich angrenzende Bebauung bei den geplanten Baukörpern aufgegriffen werden, um ein Eindringen von Kaltluft in die Bestandsbebauung auch weiterhin zu ermöglichen (Breite mind. wie „Eintrittspforte“, besser etwas breiter).

Das **Baufeld 6** ist aus bioklimatischer Sicht hinsichtlich der Gebäudestellungen weitestgehend unkritisch.

Geplante Grünflächen sollten über rauhigkeitsarme Nutzungsstrukturen miteinander vernetzt werden. Handelt es sich bei diesen Strukturen um Straßenräume sollte diese so gut es geht mit Grünelementen ausgestattet werden, um die Qualität der Kaltluftströmung zu erhalten bzw. zu steigern. Zwischen Sumgaitallee und dem **Baufeld 5** (heutiges Rathaus) sollte ein möglichst breiter Grünstreifen parallel zur künftigen Helmut-Kohl-Allee geschaffen werden, welcher den Friedenspark mit den angenommenen Grünflächen südwestlich der Kurt-Schumacher-Brücke verbindet.

Neben den aufgeführten speziell auf die Baufelder bzw. Entwicklungsflächen abgestimmten ersten Planungshinweisen sollten auch die in Kapitel 4.3.5 aufgeführten Handlungsempfehlungen bei der Planung Berücksichtigung finden. Diese sind grundsätzlich allgemeingültig und lassen sich je nach Eignung auf die meisten Bauvorhaben übertragen.

2. Planungshinweise zum Vertiefungsgebiet Rheingönheim

Abbildung 51: Modifizierter Kartenausschnitt der PHK für das Vertiefungsgebiet Rheingönheim.

Für Rheingönheim wurden im Zukunftsszenario eine Reihe von Entwicklungsflächen (EF) berücksichtigt. Diese befinden sich überwiegend am Siedlungsrand und bilden so eine potenzielle Barriere hinsichtlich der vorranging aus Südwesten anströmenden Kaltluft.

Die Entwicklungsflächen 1 und 2 befinden sich am Rand der ausgewiesenen Kaltluftleitbahn zwischen den Stadtteilen Rheingönheim und Gartenstadt und verengen diese an der Engstelle auf teilweise knapp 150 m. Um die Leitbahnfunktion möglichst wenig zu beeinträchtigen, sollte der nordwestliche Randbereich beider Flächen durch einen (idealerweise begrünten) Pufferstreifen freigehalten werden. Dies gilt insbesondere für die unmittelbar im Engstellenbereich befindliche Fläche 1. Bauliche Entwicklungen im Bereich der mittleren und östlichen Teilflächen sind aus klimaökologischer Perspektive als vergleichsweise unkritisch einzustufen. Im weiteren Verlauf der Kaltluftleitbahn befindet sich die Entwicklungsfläche 9 im Übergangsbereich zur weiter nordwärts verlaufenden Ventilationsbahn. Aufgrund der baulichen Verengung ist die Leitbahnfunktion hier nur noch bei entsprechender Anströmung aus Süden gegeben. Eine weitere Verengung sollte daher an dieser Stelle möglichst geringgehalten werden. Denkbar wäre eine einreihige lockere Wohnbebauung entlang der

Straße Am Fügenberg mit nach Osten ausgerichteten Gartenflächen. Der Gebäudeabstand zu den östlich gelegenen Logistikhallen sollte 75 m möglichst nicht unterschreiten (derzeit 100 m).

Durch die bereits vorgesehene Abstandsfläche zwischen den Entwicklungsflächen 3 und 4 bildet sich im Zukunftsszenario eine kaltluftwirksame Ventilationsbahn, welche sich entlang des Riedlanggrabens sowie der Gleisanlagen der Straßenbahn weiter in den Siedlungskörper verlängert. Um den Kaltlufttransport zu fördern, sollte eine trichterförmige ca. 150 m breite Öffnung der Ventilationsbahn freigehalten werden. Diese kann sich aus einer zusammenhängenden Grünanlage und/oder anderen rauhigkeitsarmen Strukturen wie Gärten und Verkehrswegen und ähnlichem zusammensetzen. Innerhalb der Bestandsbebauung sollte der weiterführende rund 50 m breite Korridor möglichst nicht weiter verengt werden. Im Bereich der Entwicklungsfläche 7 sollte sich diesbezüglich eine Neubebauung auf den südöstlichen Teil (grüner Rahmen) beschränken (in Flucht der Bestandbebauung). Die übrige Fläche sollte möglichst nicht bebaut werden, sondern Platz für rauhigkeitsarme Nutzungen wie Grünflächen und/oder Parkplätze bieten.

Um eine Kaltluftwirkung aus dem angrenzenden Freiraumgefüge zu ermöglichen, sollte bei den Entwicklungsflächen 3, 4, 5 und 6 eine nach Süden bzw. Südwesten geöffnete Bauweise umgesetzt werden. Auf diese Weise kann die Kaltluft über die Gebäudeabstandsflächen weit in den Siedlungsraum eindringen. Im Bestand zeigt sich dies vor allem am Beispiel des Wohngebiets an der Kallstadter Straße am westlichen Rand des Stadtteils Mundenheim (siehe Abbildung 38). Am nördlichen Rand der Entwicklungsfläche 3 sowie zwischen Entwicklungsfläche 5 und 6 sollten zudem die vorhandenen Grünstrukturen aufgegriffen und eine mindestens 50 m breite Durchlüftungsachse geschaffen werden.

Neben den aufgeführten speziell auf die Baufelder bzw. Entwicklungsflächen abgestimmten ersten Planungshinweisen sollten auch die in Kapitel 4.3.5 aufgeführten Handlungsempfehlungen bei der Planung Berücksichtigung finden. Diese sind grundsätzlich allgemeingültig und lassen sich je nach Eignung auf die meisten Bauvorhaben übertragen.

3. Planungshinweise zum Vertiefungsgebiet Maudach

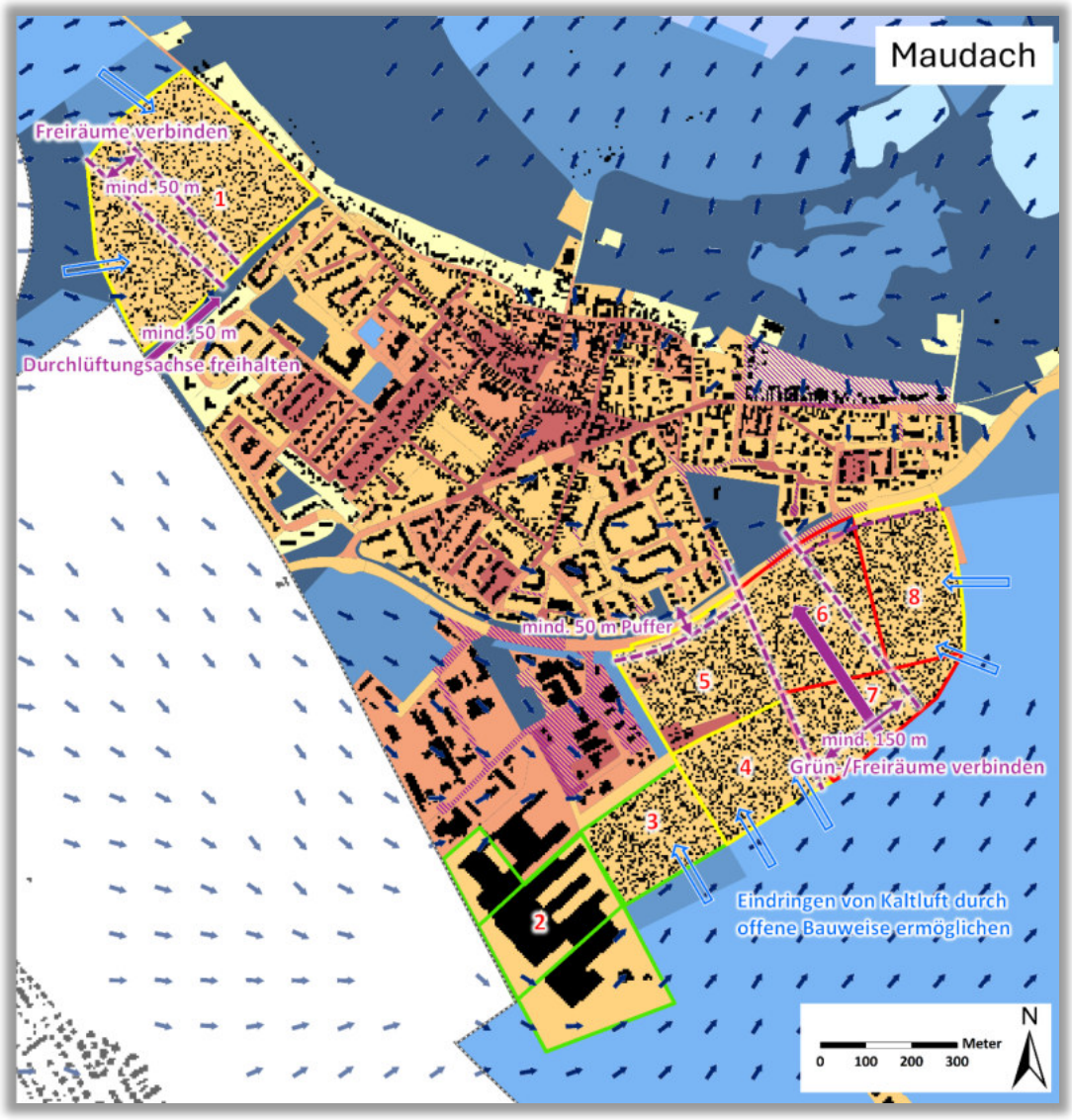


Abbildung 52: Modifizierter Kartenausschnitt der PHK für das Vertiefungsgebiet Maudach.

Im Norden des Stadtteils Maudach wurde im Zukunftsszenario ein rund 17 ha großes Wohn-Entwicklungsgebiet angenommen (1). Dieses schirmt die südöstlich angrenzende Bestandsbebauung potenziell sehr von der anströmenden Kaltluft ab. Um die Auswirkungen möglichst gering zu halten, sollte deshalb eine 50-100 m breite Durchlüftungsachse von Nordost nach Südwest verlaufen. Dabei sollte die vorhandene Grünstruktur nordwestlich der Alfred-Delp-Schule aufgegriffen werden. Zusätzlich ist entlang des Maudacher Grabens eine weitere mind. 50 m breite Durchlüftungsachse zu empfehlen.

Südlich der L530 ist im Zukunftsszenario ein großes zusammenhängendes Gewerbeareal angenommen worden. Aufgrund der relativ großen Entfernung zum nächsten Wohngebiet ist eine geplante Erweiterung des LIPOID-Warenlagers (Entwicklungsfläche 2) aus klimaökologischer Sicht weitestgehend unkritisch. Gleiches gilt auch für die Entwicklungsfläche 3. Im Bereich der Entwicklungsflächen 4 bis 8 sollte dagegen eine zentrale mind. 150 m breite Grünstruktur freigehalten werden, welche den Freiraum im Südosten mit der siedlungsinternen Grünfläche im Bereich des Friedhofs Maudach verbindet. Auf diese Weise kann vor allem bei südlicher Anströmung eine Kaltluftversorgung bis nah ans Maudacher Zentrum sichergestellt werden. Ferner würde diese Zäsur die potenziell neu entstehende Wärmeinsel abmildern. Entlang der L530 sollte außerdem ein etwa

50 m breiter, überwiegend begrünter Pufferstreifen zwischen den nördlich gelegenen Wohngebieten und dem geplanten Gewerbegebiet erhalten bleiben.

Für alle an einen Freiraum angrenzenden Entwicklungsflächen gilt, dass durch eine angepasste Gebäudeausrichtung und -anordnung auch abseits von vollwertigen Durchlüftungsachsen ein nächtlicher Kaltluftaustausch ermöglicht werden sollte (blaue Pfeilsignatur). Dies gilt insbesondere für geplante Wohngebiete (Entwicklungsfläche 1) aufgrund ihres Schutzgutes Nachtschlaf.

Neben den aufgeführten speziell auf die Baufelder bzw. Entwicklungsflächen abgestimmten ersten Planungshinweisen sollten auch die in Kapitel 4.3.5 aufgeführten Handlungsempfehlungen bei der Planung Berücksichtigung finden. Diese sind grundsätzlich allgemeingültig und lassen sich je nach Eignung auf die meisten Bauvorhaben übertragen.

4. Planungshinweise zum Vertiefungsgebiet Ruchheim

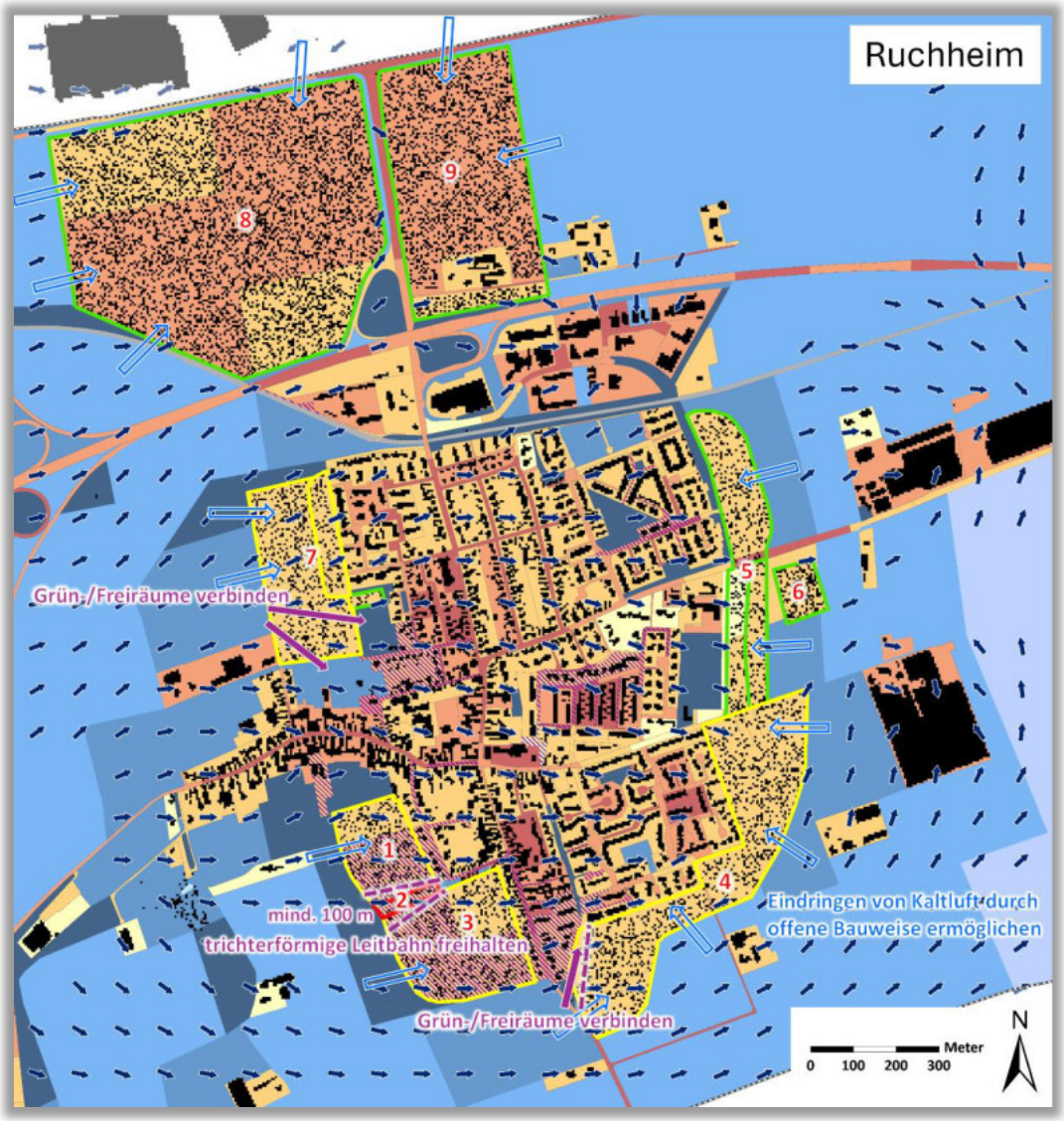


Abbildung 53: Modifizierter Kartenausschnitt der PHK für das Vertiefungsgebiet Ruchheim.

Angrenzend an den Stadtteil Ruchheim sind im Zukunftsszenario ringförmig eine Reihe von Entwicklungsflächen angenommen worden. Hierbei handelt es sich südlich der A650 vorrangig um Wohngebiete (Entwicklungsflächen 1 bis 7) und nördlich der A650 um zwei durch die Maxdorfer Straße getrennte Gewerbegebiete (Entwicklungsflächen 8 und 9). Letztere haben trotz ihrer Größe von 40,7 bzw. 18,7 ha einen relativ geringen klimaökologischen Einfluss auf den südlich angrenzenden Stadtteil. So sind beide Areale durch den Autobahndamm sowie der begleitenden Lärmschutzwand schon im Ist-Zustand kaltlufttechnisch größtenteils voneinander entkoppelt. Um der Neubildung einer zu starken Wärmeinsel allerdings dennoch entgegenzuwirken, sollte eine ausreichende Durchgrünung (Begrenzung der Wärmebelastung am Tag und in der Nacht) sowie ein nächtlicher thermischer Ausgleich mithilfe von Durchlüftungsachsen erreicht werden. Dies kann durch zum Freiraum hin geöffneten Gebäudeabstandsflächen und / oder Grünzäsuren (Breite möglichst 50 m oder mehr) erreicht werden. Die Durchlüftungsachsen sollten sich dabei vorrangig an der modellierten Kaltluftströmungsrichtung orientieren, allerdings sollte auch abseits der modellierten Kaltluftanströmung ein Eindringen von Kaltluft durch eine offene Bauweise ermöglicht werden (im Norden und Osten). So kann bei einer gegenüber der Modellierung abweichenden übergeordneten Anstromsituation (z.B. leichter Nord-/Ostwind) eine Durchlüftung der Flächen begünstigt werden.

Im Bereich der geplanten Wohngebiete (Entwicklungsflächen 1 bis 5 und 7) sollten mindestens drei größere Durchlüftungsachsen geschaffen oder erhalten bleiben. Insbesondere sollte innerhalb der Entwicklungsfläche 7 die Verbindung der südlich und südöstlich angrenzenden Grünräume mit dem äußeren Grünraum bestehen bleiben. Dies kann durch gezielt platzierte Grünflächen, wie etwa einen Quartiersspielplatz oder Sportplätze, sowie durch entsprechend angeordnete Gebäudeabstandsflächen erreicht werden. Die Breite dieser Achsen sollte, wie bereits an anderer Stelle empfohlen, möglichst 50 m oder mehr betragen. Zwischen den Entwicklungsflächen 1 und 3 sollte außerdem die Entwicklungsfläche 2 möglichst frei von Bebauung bleiben. Auf diese Weise könnte in Verbindung mit der Freihaltung der südlichen bzw. nördlichen Randbereiche der Entwicklungsflächen 1 und 3 eine trichterförmige Kaltluftleitbahn entstehen, durch die Kaltluft bis in den dicht bebauten Bereich entlang der Mutterstadter Straße transportiert werden kann. Die westliche Öffnung sollte dabei etwa 100 m betragen.

Im Südwesten der Entwicklungsfläche 4 ist ein Freihaltebereich hinsichtlich einer zukünftigen Erschließung der Fläche zu empfehlen, wodurch eine Vernetzung des südlichen Freiraumgefüges mit dem schmalen Grünstreifen entlang „Auf dem Mutterstadter Graben“ erhalten bleiben kann.

Insbesondere für die geplanten Wohngebiete ist eine zum jeweils angrenzenden Freiraum offene Bebauung zu empfehlen (blaue Pfeilsignatur). So kann über die Gebäudeabstandsflächen Kaltluft je nach Anstromsituation der thermischen Belastung innerhalb des Siedlungsraums entgegenwirken.

Neben den aufgeführten speziell auf die Baufelder bzw. Entwicklungsflächen abgestimmten ersten Planungshinweisen sollten auch die in Kapitel 4.3.5 aufgeführten Handlungsempfehlungen bei der Planung Berücksichtigung finden. Diese sind grundsätzlich allgemeingültig und lassen sich je nach Eignung auf die meisten Bauvorhaben übertragen.

5. Planungshinweise zum Vertiefungsgebiet Entwicklungsachse West

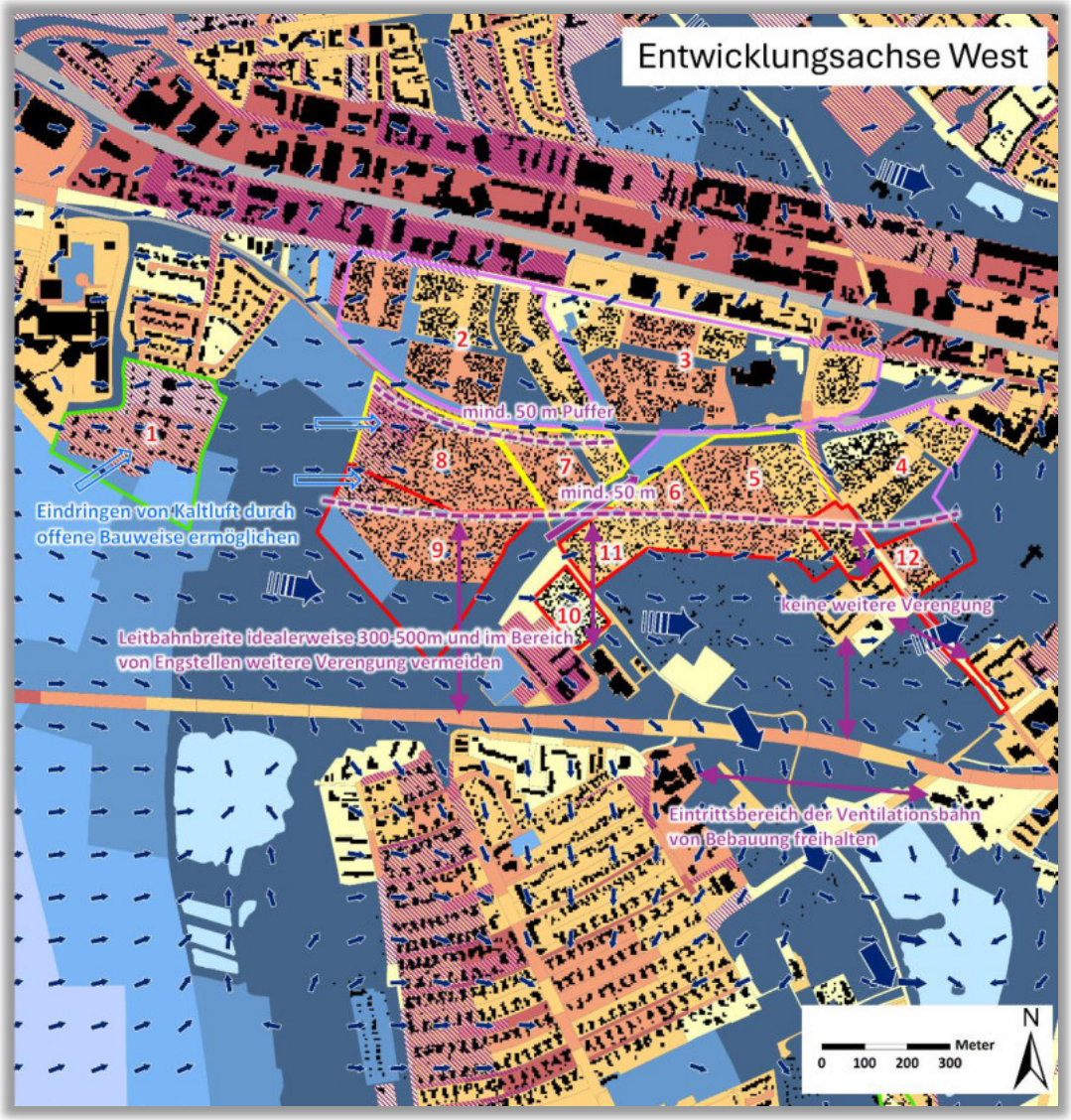


Abbildung 54: Modifizierter Kartenausschnitt der PHK für das Vertiefungsgebiet Entwicklungsachse West.

Im Bereich der Entwicklungsachse West sind die ausgewiesene Kaltluftleitbahn sowie die nach Süden verlaufende Ventilationsbahn in ihrer Funktion zu erhalten. Hierfür empfiehlt sich ein Freihaltebereich südlich der langen gestrichelten Linie, wodurch eine Mindestbreite der Leitbahnstrukturen von bis zu 500 m erhalten und somit eine Kaltluftversorgung der Innenstadt gefördert werden kann. Besonderes Augenmerk sollte auf die Engstellen nördlich des Wertstoffhofes West sowie im Umfeld der Bayreuther Straße gelegt werden, um eine weitere Verengung der Kaltluftleitbahn zu vermeiden. Zudem sollte der Eintrittsbereich der Ventilationsbahn zwischen Handwerkskammer und der Schule an der Blies von weiterer Bebauung freigehalten werden, um die Vernetzung der Kaltluftleitbahn mit der nach Südosten ausgerichteten Ventilationsbahn zu sichern.

Hinsichtlich der vorgesehenen Entwicklungsflächen sollte die bauliche Erschließung der Entwicklungsflächen 9, 10, 11 und 12 entweder vollständig oder zumindest weitgehend vermieden werden. Bei den Entwicklungsflächen 2 bis 8 ist es wichtig, das Zusammenwachsen einer großen Wärmeinsel zu verhindern. Dies kann durch begrünte Pufferstreifen und Durchlüftungsachsen erreicht werden, wie sie teils bereits vorgesehen sind. Insbesondere sollte die Durchlüftungsachse zwischen Entwicklungsflächen 6 und 7 (violetter Pfeil) sowie der 50

m-Pufferstreifen entlang der Bahnstrecke (nördlich der violett gestrichelten Linie) freigehalten werden. Zusätzlich empfiehlt sich eine offene Bebauungsstruktur zum angrenzenden Freiraum hin (blaue Pfeilsignatur), insbesondere im Wohngebiet Entwicklungsfläche 1, das aufgrund des Schutzgutes Nachtschlaf besonders sensibel auf nächtliche thermische Belastungen reagiert. Bei Letzterer bieten sich Durchlüftungskorridore an, welche an die bestehenden Öffnungen in der nördlich angrenzenden Bestandsbebauung anknüpfen. Diese haben idealerweise eine Breite von mind. 30 m und setzen sich beispielsweise aus den Erschließungsstraßen und begleitenden Grünstreifen zusammen. Bei Letzteren kann es sich auch um (Vor)-Gärten der geplanten Wohnbebauung handeln, welche dann aber nicht durch Garagen oder ähnliches unterbrochen werden sollten. Darüber hinaus würde eine generelle Nord-Süd-Anordnung der Gebäude eine Durchlüftung des Quartiers aus südlicher Richtung fördern.

Innerhalb der geplanten Entwicklungsflächen sollte grundsätzlich durch Verschattungselemente – vorzugsweise Bäume – für eine thermische Entlastung gesorgt werden. In den Bereichen der Durchlüftungsachsen ist es wichtig, die Bäume so anzuordnen, dass die Kaltluftströmung möglichst wenig beeinträchtigt wird. Das bedeutet, Baumreihen entgegen der Strömungsrichtung oder zu große Baumgruppen sollten vermieden werden. In den Pufferstreifen hingegen ist ein erhöhter Baumanteil empfehlenswert. Auch Verkehrswege und weitere Aufenthaltsbereiche sollten möglichst gut verschattet werden.

Neben den aufgeführten speziell auf die Baufelder bzw. Entwicklungsflächen abgestimmten ersten Planungshinweisen sollten auch die in Kapitel 4.3.5 aufgeführten Handlungsempfehlungen bei der Planung Berücksichtigung finden. Diese sind grundsätzlich allgemeingültig und lassen sich je nach Eignung auf die meisten Bauvorhaben übertragen.

6. Planungshinweise zum Vertiefungsgebiet Oggersheim

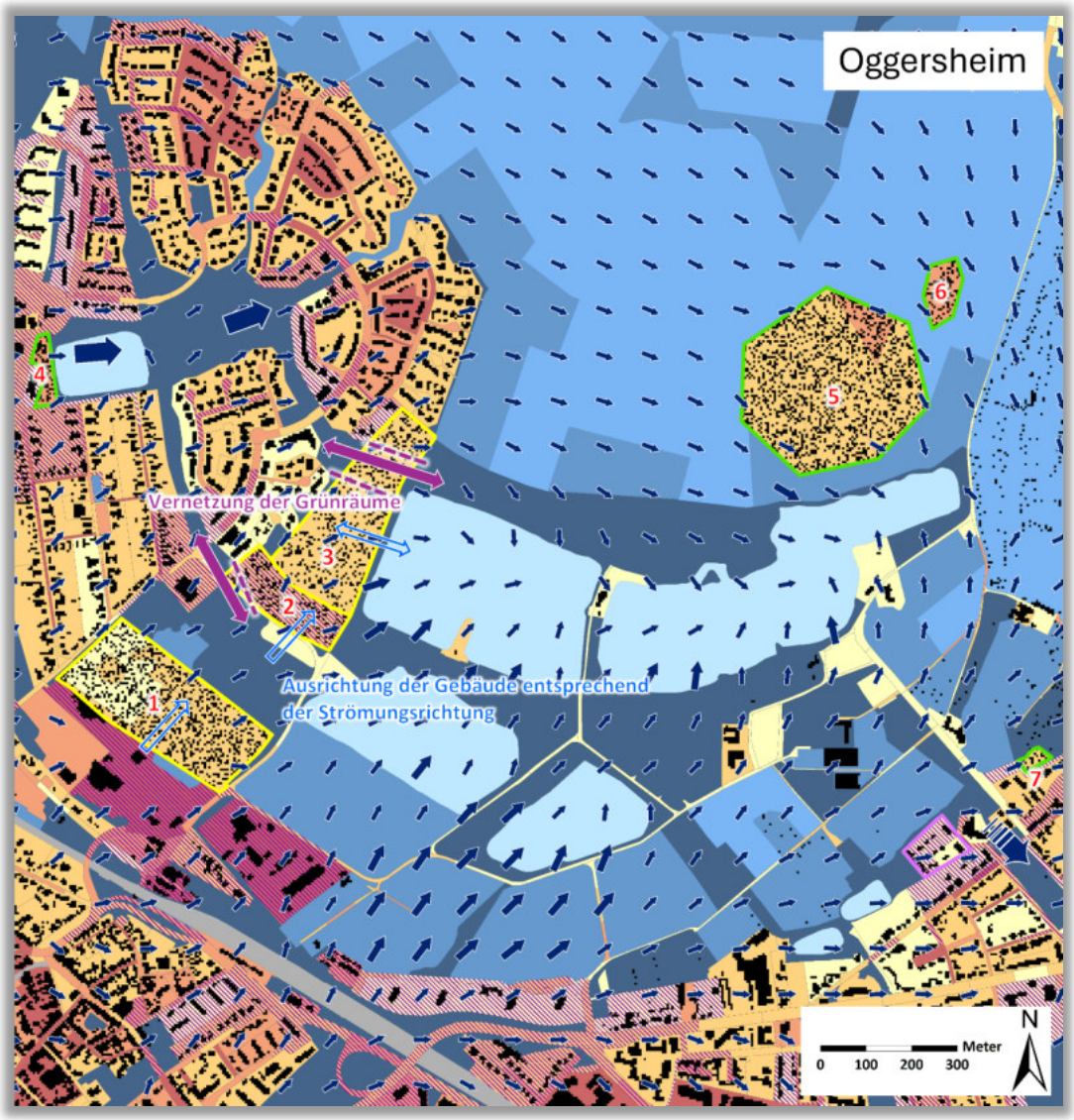


Abbildung 55: Modifizierter Kartenausschnitt der PHK für das Vertiefungsgebiet Oggersheim.

Im Nordosten Oggersheims sowie den Randlagen Friesenheims und Oppaus sind im Zukunftsszenario insgesamt 8 Entwicklungsflächen angenommen worden, wobei für 7 Flächen zum Zeitpunkt der Analyse noch kein rechtskräftiger Bebauungsplan (BP) vorlag. Die Entwicklungsflächen 1, 2 und 3 schließen sich dabei an den Ortsteil Melm an und sollten sich bei der Planung an den Bebauungsstrukturen des bestehenden Wohngebietes orientieren. So sollten die siedlungsinternen Grünzüge in Richtung des Freiraumgefüges fortgeführt werden, um eine Vernetzung selbiger zu erzielen und den Kaltluftaustausch zu fördern (violette Pfeilsignatur). Die Breite dieser Grünzüge sollte sich dabei an den bestehenden Grünstrukturen orientieren.

Die Ausrichtung und Anordnung der Gebäude in den Entwicklungsflächen 1 und 2 sollte bei der Planung entsprechend der modellierten Kaltluftströmung angepasst werden (blaue Pfeilsignatur). Für die Entwicklungsfläche 3 empfiehlt sich dagegen eine offene Bebauung in Richtung des angrenzenden Begütenweihers vorzunehmen, um während heißer Sommertage durch auftretende Seewinde für thermische Entlastung zu sorgen. In der Nachtsituation kann die Fläche dann darüber hinaus von einer erhöhten Kaltluftströmung profitieren, welche hier zunehmend von Südwest auf West dreht.

Bei den Entwicklungsflächen 4 bis 7 gibt es aufgrund ihrer kleinen Ausdehnung (4, 7) bzw. dem eingeschränkten Siedlungsbezug (5, 6) aus klimaökologischer Sicht nur einen geringen Optimierungsbedarf. So sollte bei der Entwicklungsfläche 4 über die Gebäudeabstandsflächen eine Durchströmbarkeit in Ost-West-Richtung gewährleistet sein. Bei der Entwicklungsfläche 7 sind dagegen keine speziellen Optimierungen notwendig, wohingegen die allgemeingültigen Hinweise hinsichtlich einer bioklimatisch optimierten Umsetzung berücksichtigt werden sollten (siehe Kapitel 4.3.5). Für die Entwicklungsflächen 5 und 6 ist aufgrund der Nutzung als Sonderbaufläche Forschung und Wissenschaft vor allem die Tagsituation relevant. So sollten bei der Planung ausreichend verschattete Plätze im Außenraum vorgesehen werden. Um zudem das Aufheizen der Innenräume (z.B. Büros) zu reduzieren, sollten vor allem die vollständig sowie teilweise nach Süden ausgerichteten Gebäudefassaden durch Bäume und/oder bautechnische Maßnahmen (z.B. Markisen, Jalousien) verschattet werden. Auf diese Weise kann die thermische Belastung bzw. die notwendige Kühlleistung erheblich reduziert werden.

Neben den aufgeführten speziell auf die Baufelder bzw. Entwicklungsflächen abgestimmten ersten Planungshinweisen sollten auch die in Kapitel 4.3.5 aufgeführten Handlungsempfehlungen bei der Planung Berücksichtigung finden. Diese sind grundsätzlich allgemeingültig und lassen sich je nach Eignung auf die meisten Bauvorhaben übertragen.

7. Planungshinweise zum Vertiefungsgebiet Oppau/Edigheim

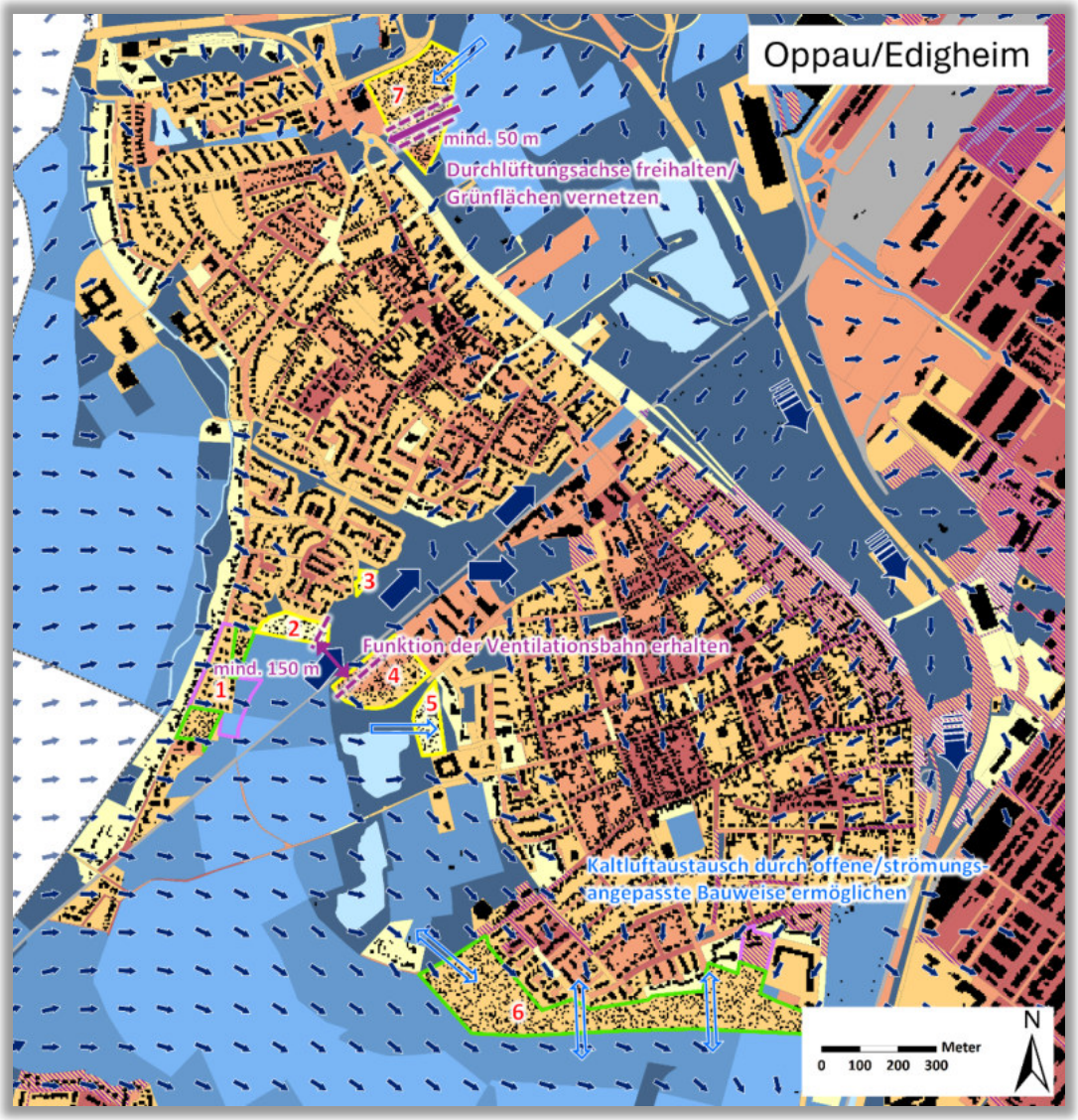


Abbildung 56: Modifizierter Kartenausschnitt der PHK für das Vertiefungsgebiet Oppau/Edigheim.

Im Bereich der Stadtteile Oppau und Edigheim sind im Zukunftsszenario insgesamt 7 als jeweilige Einheit zu verstehenden Entwicklungsflächen angenommen worden. Von diesen liegen die Entwicklungsflächen 2, 3 und 4 im Bereich der ausgewiesenen Ventilationsbahn (große dunkelblaue Pfeilsignatur), über welche bei entsprechender Anströmung Kaltluft in nordöstlicher Richtung in den Siedlungskörper transportiert wird. Dabei würde es bei einer vollständigen baulichen Erschließung der Entwicklungsflächen 2 und 4 zu einer erheblichen Verengung (von ca. 200 auf 100 m) des Eintrittsbereichs der Leitbahn kommen, weshalb ein entsprechender Freihaltebereich (violett gestrichelte Linie) zu empfehlen wäre. Dieser kann entweder vollständig freigehalten oder alternativ durch rauigkeitsarme Nutzungen wie z.B. Garten- oder Parkierungsflächen gestaltet werden. Entwicklungsfläche 3 befindet sich in einem potenziellen Kaltlufteintrittsbereich in den Siedlungsraum, bei welchem über die Utestraße und Hildebrandstraße eine Durchlüftung des Wohnquartiers begünstigt werden kann. Bei einer baulichen Erschließung sollte dementsprechend die nördliche Teilfläche möglichst rauigkeitsarm gestaltet werden.

Die Entwicklungsfläche 1 ist anhand der angenommenen Planung als weitestgehend unkritisch einzuschätzen. Hinsichtlich einer klimawandelangepassten Umsetzung sollten aber auch hier die allgemeinen Planungshinweise (Kapitel 4.3.5) Berücksichtigung finden.

Bei den Entwicklungsflächen 5 und 6 sollte die geplante Bebauung der modellierten Strömungsrichtung entsprechend angepasst werden. So kann ein Einwirken von Kaltluft in die benachbarten Siedlungslagen gefördert werden. Dies gilt zum einen für Flächen, welche sich in direkter Kaltluftanströmung befinden (EF 5 und Westseite von Entwicklungsfläche 6), zum anderen aber auch für alle weiteren an einen Freiraum angrenzenden Flächen. So kann z.B. bei einer die reinen Flurwinde (thermische Ausgleichsströmung) überlagernden Südanströmung der südliche Siedlungsrand Oppaus effektiv durchlüftet werden (blaue Pfeilsignatur).

Bei der Entwicklungsfläche 7 sollte hinsichtlich einer Vernetzung des Freiraums mit den siedlungsinternen Grünflächen im Bereich des Kreisverkehrs eine mind. 50 m breite Durchlüftungsachse von einer Bebauung freigehalten werden. Zudem sollte die geplante Bebauung entsprechend der nordöstlichen Kaltluftströmung ausgerichtet bzw. angeordnet sein, um ein Einwirken über die Gebäudeabstandsflächen zu ermöglichen.

Neben den aufgeführten speziell auf die Baufelder bzw. Entwicklungsflächen abgestimmten ersten Planungshinweisen sollten auch die in Kapitel 4.3.5 aufgeführten Handlungsempfehlungen bei der Planung Berücksichtigung finden. Diese sind grundsätzlich allgemeingültig und lassen sich je nach Eignung auf die meisten Bauvorhaben übertragen.

4.3.5 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN ZUR REDUKTION VON WÄRMEBELASTUNG IM STADTKLIMA

Die Planungshinweiskarte zeigt Bereiche in Ludwigshafen auf, in denen Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation erforderlich bzw. empfehlenswert sind. Die nachstehende Zusammenstellung an Handlungsempfehlungen zeigt die verschiedenen Möglichkeiten der Ausgestaltung auf und soll dazu dienen, die Planungshinweise zu konkretisieren. Für Ludwigshafen wurde ein Katalog aus 21 klimaökologisch wirksamen Einzelmaßnahmen identifiziert. Die Zuordnung bestimmter Maßnahmensets aus dem Portfolio der 21 Einzelmaßnahmen hängt vom Flächentyp und den Bewertungen in der Planungshinweiskarte bzw. den Bewertungskarten ab (z.B. bioklimatische Belastung in der Nacht und/oder am Tage, Bedeutung für den Kaltlufthaushalt, Aufenthaltsqualität). Die Maßnahmen sind stickpunktartig und durch Bilder illustriert in Tabelle 23 beschrieben und in verschiedene Cluster aufgeteilt:

- Thermisches Wohlbefinden im Außenraum
- Verbesserung der Durchlüftung
- Reduktion der Wärmebelastung im Innenraum

Die jeweilige Wirkung hängt stark von der konkreten Ausgestaltung der Maßnahmen, ihrer Lage im Siedlungsgebiet sowie der betrachteten vertikalen und horizontalen Entfernung von der Maßnahme ab. Grundsätzlich sind alle Maßnahmen geeignet, den thermischen Stress für die Bevölkerung direkt oder indirekt zu verringern und damit zur Erreichung eines gesunden Stadtklimas in Ludwigshafen beizutragen – werden die Maßnahmen kombiniert, verstärken sich in der Regel die positiven stadtklimatischen Effekte der einzelnen Maßnahmen.

Am Tage sind viele Siedlungsbereiche in den verschiedenen Orts- bzw. Stadtteilen hitzebelastet, was vielerorts an fehlendem Schatten durch (nicht vorhandene oder noch zu niedrige) Bäume sowie relativ niedrige Gebäude liegt. Hier kann mit den Maßnahmen M06 (→Verschattung von Aufenthaltsbereichen im Freien), sowie an entsprechenden Stellen Entsiegelung (→ M04: Entsiegelung bzw. Versiegelungsanteil minimieren) langfristig Abkühlung bewirkt werden. Die Wohngebiete der Innenstadt Süd weisen am Tage größtenteils eine geringe bis höchstens mittlere bioklimatische Belastung auf. Hier befinden sich zahlreiche begrünte Plätze, Straßen

und Innenhöfe mit zum Teil hoher, Kühle spendender Vegetation zwischen den Gebäuden, dies es möglichst beizubehalten gilt. Auch vereinzelte Wohngebietsflächen in Friesenheim, Maudach und Gartenstadt haben durch die Nähe zum Wald und einen stellenweise hohen Baumanteil gute bioklimatische Bedingungen.

Die hohe Hitzebelastung im Zentrum von Oggersheim, Teilen der Innenstadt und weiteren Stadtteilzentren resultiert aus der hohen Bebauungsdichte sowie dem hohen Versiegelungsgrad. Im Schatten der höheren Gebäude ist es zu den entsprechenden Tageszeiten trotzdem kühl. Es könnte im Einzelfall geprüft werden, inwiefern Entsiegelung, Dachbegrünung und Fassadenbegrünung möglich ist (→ M04, M17, M18). Als Verkehrsraum sollten Fuß- und Radwege bei starker Frequentierung flächendeckend zumindest teilverschattet gestaltet sein (→ M05 Verkehrsraumgestaltung).

In der Nacht sind die außenliegenden Siedlungslagen zumindest in den Wohngebieten relativ kühl. Hier muss die Kaltluftversorgung durch das Beibehalten von lockerer Bebauungsdichte und geringem Versiegelungsgrad gesichert werden. Vor allem in den Bereichen der bedeutenden Kaltluftleitbahnen und Ventilationsbahnen ist es für deren Sicherstellung entscheidend, bauliche Strömungshindernisse zu vermeiden (→ M12 Optimierung des großskaligen Kaltlufttransports, Strömung und Durchlüftung).

Die Gewerbe- und Industriegebiete weisen am Tage oft eine hohe bis sehr hohe bioklimatische Belastung auf. Als Beispiele seien hier die Gewerbegebiete südlich des Hauptbahnhofs und westlich der Bruchwiesenstraße genannt, mit hohem Besucheraufkommen am Tage. Maßnahmen zur Verschattung verringern die durch direkte Sonneneinstrahlung bedingte thermische Belastung. Beschattete Straßen, Fuß- und Radwege oder (Park-)Plätze speichern weniger Wärme als die der Sonnenstrahlung ausgesetzten versiegelten Freiflächen (→ M06: Verschattung von Aufenthaltsbereichen im Freien). Ggfs. kann durch Sonnenschutz an den Gebäuden die thermische Belastung in den Innenräumen reduziert werden (→ M18: Verschattung von Gebäuden durch Bäume oder bautechnische Maßnahmen).

Gewässer wirken sich überwiegend positiv auf die thermische Situation aus. Die am Tage stattfindende Verdunstung bezieht Energie aus der umgebenden Luft und kühlt diese ab (Verdunstungskühlung). Je grösser die Wasseroberfläche und je höher ihre Temperaturdifferenz zur umgebenden Luft, desto stärker ist die kühlende Wirkung. Dabei erzielt bewegtes Gewässer einen stärkeren Kühleffekt als stehendes, da durch Bewegung die verdunstungsfähige Oberfläche vergrößert, und der Austausch mit den tieferen, kühleren Wasserschichten verstärkt wird. Obwohl während längerer Hitzeperioden in der Nacht Gewässer durch deren Trägheit phasenweise wärmer sein können als umgebender Siedlungsraum, überwiegen insgesamt die genannten Vorteile. Daher ist der Schutz bestehender Gewässer, deren Erweiterung (z.B. über die Offenlegung eingehauster Kanäle und Bachläufe) und die Neuerschließung von Gewässern stets zu berücksichtigen (→ M09: Offene, bewegte Wasserflächen schützen, erweitern und anlegen). Diese Maßnahme hat enge Synergien zur Regenwasserspeicherung und zur Etablierung von Bewässerungssystemen (→ M10: Regenwasserspeicherung und Bewässerungssysteme), wo etwa durch das Anlegen von Regenwasserteichen, aber auch die Etablierung von Versickerungsmulden auf Grünflächen ebenfalls verdunstungsfähige Strukturen entstehen können, die zum humanbioklimatischen Komfort am Tage beitragen und durch ausgeklügelte Bewässerungssysteme den Schutz vorhandener Grünräume sicherstellen.

Strukturreiche, gut wasserversorgte Grünflächen (mit Bäumen, Sträuchern) wirken sich durch ihre Verdunstung positiv auf das Umgebungsklima aus und erhöhen durch ihren Schattenwurf die Aufenthaltsqualität (→ M07: Öffentliche Grünflächen entwickeln und optimieren). Im Vergleich zu wärmespeichernden städtischen Baumaterialien kühlen Grünflächen nachts deutlich schneller ab und können, ab einer gewissen Größe, als Kaltluftentstehungsgebiete auf ihr (nahes) Umfeld wirken. Gleichzeitig erfüllen sie viele weitere Funktionen,

wie die Möglichkeit zur Erholung, die Erhöhung der Biodiversität und Synergieeffekte zum Niederschlagsmanagement (Versickerung) und zur Luftreinhaltung (Deposition von Luftschadstoffen). Insbesondere die Wald- und Gehölzflächen des Maudacher Bruchs stellen für die Stadt wichtige und schützenswerte Naherholungsräume dar (→ M08: Schutz bestehender Parks, Grün- und Waldflächen). Darüber hinaus sind aber auch Parkanlagen innerhalb der Stadt, wie zum Beispiel der Stadtpark Oppau, Ebertpark, Friedenspark oder die Grünfläche im Zentrum der Melm zu bewahren und ggfs. neu zu entwickeln, da diese neben ihrer humanbioklimatischen Gunstwirkung am Tage auch als „Trittsteine" für Kaltluft dienen, die ein weiteres Eindringen dieser Ausgleichströmungen bis weit in den Siedlungsraum hinein begünstigen (→ M15: Schutz und Vernetzung für den Kaltlufthaushalt relevanter Flächen).

Bäume (und Sträucher) übernehmen neben ihrem Potential zur Verringerung der thermischen Belastung am Tage und in der Nacht (Schattenwurf, Verdunstung, etc.) im Straßenraum die Funktion der Deposition und Filterung von Luftschadstoffen und verbessern dadurch die Luftqualität. Bei der Umsetzung entsprechender Maßnahmen sollte darauf geachtet werden, dass der (vertikale) Luftaustausch erhalten bleibt, um Schadstoffe abzutransportieren und die nächtliche Ausstrahlung zu gewährleisten. Geschlossene Kronendächer sind daher insbesondere bei kleinen Straßenquerschnitten und hohem motorisierten Verkehrsaufkommen zu vermeiden. Bei breiteren Straßenräumen bieten sich ein oder beidseitige Begrünungen durch Baumpflanzung an (→ M05: Klimaangepasste und zukunftsgerichtete Verkehrsraumgestaltung vorantreiben). Dabei sind solche Gehölze zu bevorzugen, die keine hohen Emissionen an flüchtigen organischen Stoffen, die zur Bildung von Ozon beitragen, aufweisen. Bei Standorten unmittelbar an Gebäuden sind großkronige Laubbäume Nadelbäumen vorzuziehen, da sie im Winter weniger verschatten und geringeren Einfluss auf die Einstrahlung ausüben, was zu einer Reduktion von Heizenergie und damit von Treibhausgasemissionen führen kann. Mit Blick auf den Klimawandel sollte bei der Artenauswahl von Neu- oder Ersatzpflanzungen auf deren Hitze- und Trockenheitstoleranz geachtet werden (vgl. Stadt Jena 2016).

Klimaangepasstes Bauen enthält viele der bisher genannten Maßnahmen und ist am einfachsten bei Neubauten umzusetzen, doch auch im Bestand und bei Nachverdichtung sind Maßnahmen zur Verbesserung bzw. Berücksichtigung stadtklimatischer Belange möglich. Im Neubau bietet sich die Chance, die Gebäudeausrichtung zu optimieren und damit den direkten Hitzeeintrag zu reduzieren. Unter Berücksichtigung der Sonnen- und Windexposition sollten Gebäude so ausgerichtet werden, dass in sensiblen Räumen wie z.B. Schlafzimmern oder auch Arbeitszimmern und Büroräumen der sommerliche Hitzeeintrag minimiert wird (→ M21: Anpassung des Raumnutzungskonzeptes). Umso mehr gilt dies für sensible Gebäudenutzungen wie z.B. Alten- und Pflegeheime. Durch geeignete Gebäudeausrichtung kann darüber hinaus eine gute Durchlüftung mit kühlender Wirkung beibehalten bzw. erreicht werden (Ausrichtung parallel zur Kaltluftströmung, Vermeidung von Querriegeln zur Strömungsrichtung, ausreichend (grüne) Freiflächen zwischen den Gebäuden; → M13: Optimierung der Gebäudetypologie und -stellung für kleinskaligen Luftaustausch). Auch die Verwendung geeigneter Baumaterialien lässt sich im Wesentlichen nur bei Neubauten realisieren. Dabei ist auf deren thermische Eigenschaften zu achten – natürliche Baumaterialien wie Holz haben einen geringeren Wärmeumsatz und geben entsprechend nachts weniger Energie an die Umgebungsluft ab als z.B. Stahl oder Glas. Auch die Albedo kann über die Wahl entsprechender Baumaterialien beeinflusst werden, so ist die Reflexion der solaren Einstrahlung auf hellen Oberflächen größer, sodass sich diese weniger stark aufheizen (→ M03: Oberflächen im Außenraum klimaoptimiert gestalten). Bautechnische Maßnahmen zur Verbesserung des Innenraumklimas wie Dach- und Fassadenbegrünung, energetische Sanierung oder technische Gebäudekühlung sind dagegen auch im Bestand umsetzbar und bieten vielfach Synergieeffekte zum Energieverbrauch der Gebäude (→ M16, M17, M19, M20).

Bei Nachverdichtung im Stadtgebiet sollten die Belange klimaangepassten Bauens berücksichtigt werden, insbesondere die Gewährleistung einer guten Durchlüftung. In der Regel stellt die vertikale Nachverdichtung dabei aus stadtklimatischer Sicht eine weniger belastende Lösung dar, wobei die genaue Ausgestaltung jeweils im Einzelfall geprüft werden muss. Um Nachverdichtung möglichst klimaverträglich zu gestalten, ist die sogenannte doppelte Innenentwicklung in den Blickpunkt geraten (BfN 2016). Dabei geht es darum, Flächenreserven im Siedlungsraum nicht nur baulich, sondern auch mit Blick auf urbanes Grün zu entwickeln. Damit bildet diese auch Schnittstellen zum Städtebau, der Freiraumplanung und dem Naturschutz.

Neben der aus Wohnungsknappheit ggf. notwendigen Nachverdichtung sollte der Aspekt einer möglichen Entdichtung im Stadtgebiet jedoch weiterhin im Blickpunkt verbleiben (→ M14). Die Verringerung von Bebauungsdichte und Bauvolumen ist insbesondere in heutigen Industrie- und Gewerbebrachen oder Bahnanlagen vorzunehmen und muss klimaangepassten Nachverdichtungsvorhaben nicht zwangsläufig entgegenstehen. Zusätzlich kann die Verlegung von Parkraum (z.B. in Quartierstiefgaragen bzw. -parkhäuser) dazu genutzt werden, von Garagen bestandene Innenhofbereiche oder den Straßenraum weiter zu entsiegeln und grün auszugestalten.

Auf Brachflächen oder hochversiegelten Stadtplätzen, die perspektivisch entwickelt oder klimaangepasst ausgestaltet werden sollen, die sich jedoch aktuell noch in der Planung befinden, bieten sich temporäre Maßnahmen der klimaangepassten Ausgestaltung während der Sommermonate an. Schattenspendende Kübelbäume und Rollrasen gepaart mit Sitzgelegenheiten tragen zur Belebung des öffentlichen Raums durch größeren Aufenthaltskomfort bei und bringen den Themenkomplex „Stadtklima“ ins Gespräch. Der Dialog mit Anwohnern kann dabei helfen, die Handlungsbedarfe im Wirkungsraum und Schutzprioritäten im Ausgleichsraum aus der PHK weiter zu priorisieren (→ M11: (Temporäre) Saisonale klima-angepasste Umgestaltung öffentlicher Räume).

Tabelle 23: Handlungsempfehlungen allgemeiner stadtklimatisch wirksamer Maßnahmen für Ludwigshafen.

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN: THERMISCHES WOHLBEFINDEN IM AUSSENRAUM

01	**Innen-/Hinterhofbegrünung**	**Kurzerläuterung** ▪ Erhöhung des Vegetationsanteils und der Durchlässigkeit	 Bild: Grüner Innenhof der Wohnanlage Ebertpark (Quelle: Stadt Ludwigshafen)
Wirkung		**Räumliche Umsetzung**	
▪ Reduktion der Wärmebelastung durch Verschattung, Verdunstung und lokale Kaltluftproduktion tagsüber und nachts ▪ Erhöhung der Aufenthaltsqualität ▪ Niederschlagsrückhalt und Naturraumschaffung und dadurch Synergien zum Niederschlagswassermanagement und zur Biodiversität		▪ Innen- und Hinterhöfe, vorrangig in älteren Ortskernen bzw. Stadtgebieten /Bauanlagen	
02	**Öffentliche Grünräume im Wohn- und Arbeitsumfeld schaffen**	**Kurzerläuterung** ▪ Kleine Parks und gärtnerisch gestaltete Grünflächen im innerstädtischen Raum, die auch Erholung bieten	 Bild: Lutherplatz (Quelle: Stadt Ludwigshafen)
Wirkung		**Räumliche Umsetzung**	
▪ Reduktion der Wärmebelastung durch Verschattung, Verdunstung und lokale Kaltluftproduktion tagsüber und nachts ▪ Vernetzung von Grünflächen und damit Synergien zum Mobilitäts-/Radwegenetz ▪ Niederschlagsrückhalt und damit Synergien zum Niederschlagswassermanagement und zur Biodiversität		▪ Baulücken, größere Hinterhöfe (insb. in thermisch belasteten Wohngebieten)	

HINWEISCLUSTER: THERMISCHES WOHLBEFINDEN IM AUSSENRAUM

03 Oberflächen im Außenraum klimaoptimiert gestalten

Kurzerläuterung

- Helle Farben (insbesondere von Dächern) zur Erhöhung der Reflexstrahlung/ Verminderung der Absorption
- Baumaterialien, die wenig Wärme speichern

Wirkung

- Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und nachts

Räumliche Umsetzung

- Dächer, Fassaden (Neubau und Bestand)
- ggf. Straßen, Wege, Plätze, Parkplätze

Bild: Helle Fassade in Ulm (Quelle: J. Förster, GEO-NET)

04 Entsiegelung / Versiegelungsanteil minimieren

Kurzerläuterung

- Rasenflächen oder Teilversiegelung (Rasengittersteine, etc.)
- Anzahl an oberirdischen Stellplätzen verringern zugunsten von Grünflächen

Wirkung

- Reduktion der Wärmebelastung durch Verdunstung und lokale Kaltluftproduktion tagsüber und insb. nachts
- Niederschlagsrückhalt und dadurch Synergien zum Niederschlagswassersmanagement

Räumliche Umsetzung

- Straßen, Wege, Plätze, Parkplätze, Gebäude, Innen- und Hinterhöfe, Vorgärten, Betriebshöfe

Bild: Rasengittersteine Wohnanlage Ebertpark (Quelle: Stadt Ludwigshafen)

HINWEISCLUSTER: THERMISCHES WOHLBEFINDEN IM AUSSENRAUM

05 Klimaangepasste und zukunftsgerichtete Verkehrsraumgestaltung vorantreiben

Kurzerläuterung

- Blaue und/oder grüne Maßnahmen für den Verkehrsraum
- Erhöhung des Vegetationsanteils entlang von Fuß- und Fahrradwegen (Bäume, Alleen, Begleitgrün, Rasengitter, etc.)
- Im Innenstadtbereich: Teilverschattete Fußgängerzonen etablieren und Parkplatzangebot zugunsten von (baumbestandenen) Grünflächen minimieren
- s. auch Forschungsprojekt „BlueGreenStreets: Multifunktionale Straßenraumgestaltung urbaner Quartiere“

Wirkung

- Reduktion der Wärmebelastung insb. tagsüber bei Pflanzung neuer Bäume durch Verschattung, bei Entsiegelung durch Verdunstung und lokale Kaltluftentstehung

Räumliche Umsetzung

- Straßen, Wege, Plätze, Parkplätze

Bild: Rheinallee in Ludwigshafen (Quelle: Stadt Ludwigshafen)

06 Verschattung von Aufenthaltsbereichen im Freien

Kurzerläuterung

- Bäume oder bautechnische Maßnahmen (Markisen, Überdachung, Sonnensegel, auch Gebäude selbst können durch kluge Positionierung verschatten)
- Möblierungsangebote im Schatten schaffen

Wirkung

- Reduktion der Wärmebelastung durch Verschattung und Verdunstung (bei Einsatz von Vegetation) insb. tagsüber und nachts

Räumliche Umsetzung

- Straßen, Wege, Plätze, Parkplätze, Gebäude im Wohn- und Arbeitsumfeld

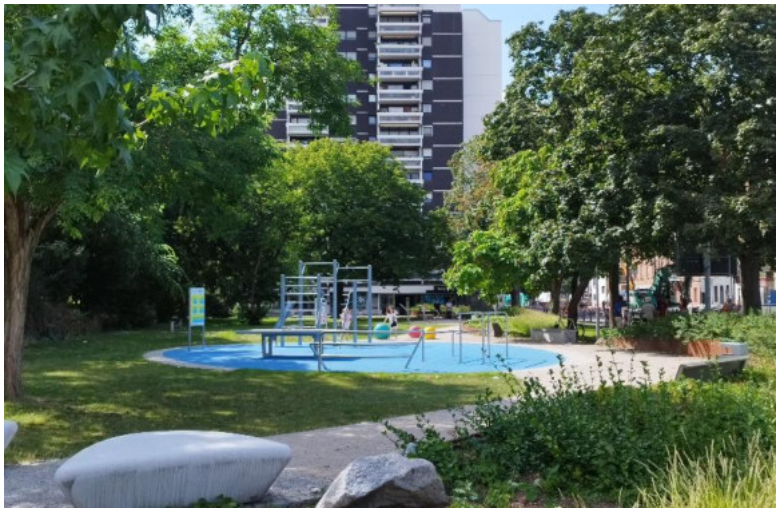


Bild: Rudolf-Hoffmann-Platz (Quelle: Stadt Ludwigshafen)

HINWEISCLUSTER: THERMISCHES WOHLBEFINDEN IM AUSSENRAUM

07 Öffentliche Grünflächen entwickeln und optimieren

Kurzerläuterung

- Mikroklimatische Vielfalt von Grünflächen (offene Wiesenflächen, Bäume, Wasserflächen, Pflanzungen)

Wirkung

- Reduktion der Wärmebelastung durch Verschattung, Verdunstung und lokale Kaltluftproduktion tagsüber und nachts
- Niederschlagsrückhalt und Naturraumschaffung und dadurch Synergien zur Biodiversität

Räumliche Umsetzung

- Grün- und Freiflächen
- Straßen, Wege, Plätze, Parkplätze

Bild: Stadtpark am Rhein (Quelle: Stadt Ludwigshafen)

08 Schutz bestehender Parks, Grün- und Waldflächen

Kurzerläuterung

- Schutz von Parks, Grün- und Waldflächen aufgrund ihrer Bedeutung für das Stadtklima und vieler weiterer Funktionen (siehe unten)

Wirkung

- Bedeutung für den städtischen Kaltlufthaushalt, da durch Kaltluftproduktion und -transport die Abkühlung benachbarter Siedlungsbereiche unterstützt wird
- Niederschlagsrückhalt und Naturraumschaffung und damit Synergien zu Erholung, Biodiversität und Niederschlagswassermanagement

Räumliche Umsetzung

- Grün- und Freiflächen
  (insb. im Umfeld hoher Einwohnerdichten)

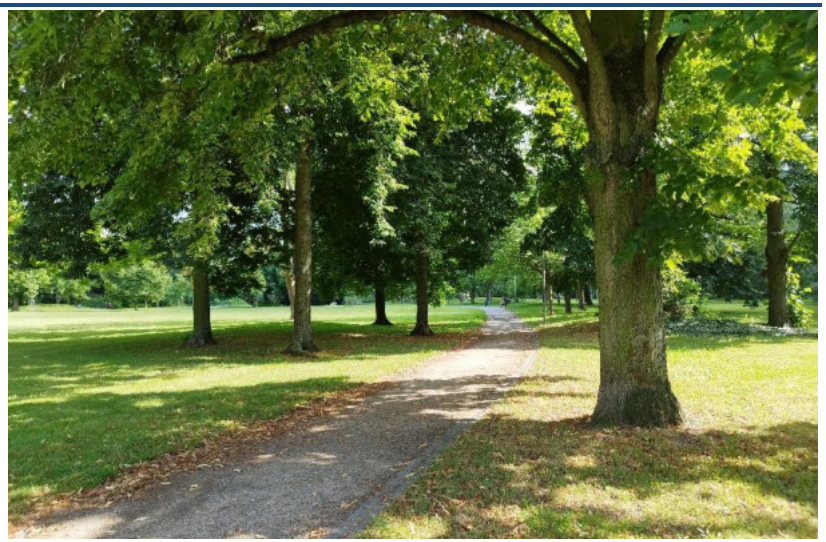


Bild: Alwin-Mittasch-Park (Quelle: Stadt Ludwigshafen)

HINWEISCLUSTER: THERMISCHES WOHLBEFINDEN IM AUSSENRAUM

09 Offene, bewegte Wasserflächen schützen, erweitern und anlegen

Kurzerläuterung

- Stadtklimafunktion größerer Fließ- und Stillgewässer und sonstiger Wasserflächen
- Rauigkeitsarme Ventilationsbahnen, über die v.a. bei allochthonen Wetterlagen Kalt- und Frischluft transportiert wird

Wirkung

- Während der Sommermonate und speziell Hitzeperioden wirken Gewässer auf ihr nahes Umfeld tagsüber kühlend (auch kleinere Gewässer, Wasserspielplätze oder Brunnen in Parks) -> Hohe Aufenthaltsqualität
- Oberflächennahe Temperatur kann nachts oberhalb der umgebenden Lufttemperatur liegen und eine Wärmeabgabe bewirken

Räumliche Umsetzung

- Gewässer
- Grün- und Freiflächen

Bild: Innenhof mit Wasserbecken am Ebertpark (Quelle: Stadt Ludwigshafen)

10 Regenwasserspeicherung und Bewässerungssysteme

Kurzerläuterung

- Schaffung wasserdurchlässiger Beläge durch (Teil-) Entsiegelung in Kombination mit der Etablierung von Regenwasserteichen, Versickerungsmulden und Rigolensystemen

Wirkung

- Reduktion der Wärmebelastung tagsüber durch Verdunstung
- Niederschlagsrückhalt und damit Synergien zur gezielten Wasserspeicherung und Bewässerung von Stadtgrün

Räumliche Umsetzung

- Grün- und Freiflächen
- Straßen, Wege, Plätze

Bild: Regenwasserteich, Potsdamer Platz in Berlin (Quelle: M. Lübbecke)

HINWEISCLUSTER: THERMISCHES WOHLBEFINDEN IM AUSSENRAUM

11 (Temporäre) Saisonale klimaangepasste Umgestaltung öffentlicher Räume

Kurzerläuterung

- Umwandlung hochgradig versiegelter Innenstadtplätze im Sommer durch Etablierung von Rollrasen, Strauchgewächsen und Kübelbäumen zu städtischen Klimaoasen
- Gesellschaftlicher Dialog zum Stadtklima-Thema; Sichtbar- und Erlebbarmachung nachhaltiger Ideen und Projekte (s. auch Projekt „Pop-Up-Innenstadt“ in Ludwigsburg)

Wirkung

- Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und nachts durch Verschattung, Verdunstung und lokale Kaltluftentstehung
- Gesellschaftliche Etablierung des Themas Klima und Dialogmöglichkeit mit den Anwohnern

Räumliche Umsetzung

- Plätze, Brachflächen
  (auch als Übergangslösung bis langfristige Flächenentwicklung bzw. -entsiegelung erfolgt)

Bild: Hack-museumsgARTen (Quelle: Stadt Ludwigshafen)

HINWEISCLUSTER: VERBESSERUNG DER DURCHLÜFTUNG

12 Optimierung des großskaligen Kaltlufttransports, von Strömung und Durchlüftung

Kurzerläuterung

- Gebäudeanordnung parallel zur Kaltluftströmung und/oder ausreichend (grüne) Freiflächen zwischen der Bebauung (aufgelockerte Bebauung)
- Quer zur Fließrichtung verlaufende bauliche (Dämme, Gebäude) oder natürliche Hindernisse (Baumgruppen, jedoch Beibehaltung bestehender Gehölze!) im Einflussbereich von Kaltluftflüssen vermeiden bzw. Gebäudeausrichtung und Bebauungsdichte auf klimaökologische Belange anpassen

Wirkung

- Verbesserung der Kaltluftströmung / Durchlüftung
- Reduktion des Wärmestaus

Räumliche Umsetzung

- Neubau, Gebäudekomplexe
- Grün- und Freiflächen
- Straßen, Wege, Plätze, Parkplätze

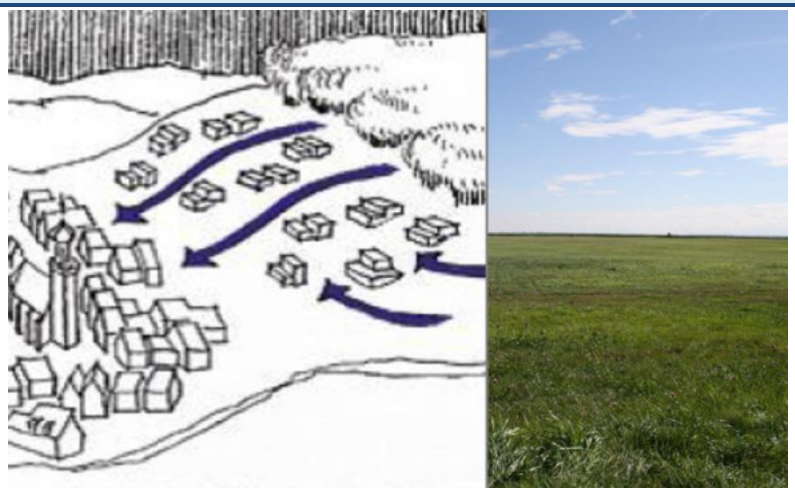


Bild: Symbolcollage Baukörperstellung- und Durchlüftung (Quelle: GEO-NET)

HINWEISCLUSTER: VERBESSERUNG DER DURCHLÜFTUNG

13 Optimierung der Gebäudetypologie und -stellung für kleinskaligen Luftaustausch

Kurzerläuterung

- Gebäudeanordnung parallel oder geöffnet zu anliegenden Grün- und Parkanlagen
- Durchfahrten oder -gänge und allgemein wenig überbaute Fläche halten das kleinskalige Strömungsgeschehen auch für nahe Bestandsquartiere aufrecht

Wirkung

- Schutz kleinerer, innerstädtischer Luftaustauschsysteme
- Synergie zum Thermischen Wohlbefinden: Verschattung anliegender Straßen und Plätze durch durchdachte Baukörperstellung

Räumliche Umsetzung

- Neubau im Umfeld bestehender Grünflächen oder Parks

Bild: Wohnbebauung Hochfeldstraße in Gartenstadt (Quelle: Stadt Ludwigshafen)

14 Entdichtung (Rückbau)

Kurzerläuterung

- Rückbau von Gebäuden verringert die Bebauungsdichte und das Bauvolumen

Wirkung

- Reduktion der Wärmebelastung insb. nachts
- Verbesserung der Durchlüftung
- Synergien zum Niederschlagswassermanagement

Räumliche Umsetzung

- Gebäude(-teile), z.B. in Blockinnenhöfen
- Garagen
- Lagerhallen
- ggf. Industrie- und Gewerbebrachen
- Bahnanlagen

Bild: Symbolbild Rückbau (Quelle: J. Förster, GEO-NET)

HINWEISCLUSTER: VERBESSERUNG DER DURCHLÜFTUNG

15 Schutz und Vernetzung für den Kaltlufthaushalt relevanter Flächen

Kurzerläuterung

- Freihaltung großräumiger, möglichst wasserversorgter und durch flache Vegetation geprägter Grünflächen wie Wiesen, extensives Grünland, Felder, Kleingärten und Parklandschaften, die Einfluss auf den lokalen Kaltlufthaushalt haben
- Kleine Parks als Trittsteine für Kaltluft

Wirkung

- Schutz vor stärkerer Überwärmung
- Erhalt und Ausbau von Kaltluftentstehungsgebieten und Durchlüftung
- Synergien zur Biodiversität und damit zur Aufenthaltsqualität am Tage

Räumliche Umsetzung

- Grün- und Freiflächen

Bild: Friedenspark (Quelle: Stadt Ludwigshafen)

HINWEISCLUSTER: REDUKTION DER WÄRMEBELASTUNG IM INNENRAUM

16 Dachbegrünung

Kurzerläuterung

- Extensive oder intensive Dachbegrünung (bis hin zu Gärten und urbaner Landwirtschaft auf Dächern; unter Bevorzugung heimischer Pflanzen), blaugrüne Dächer (im Wasser stehende Pflanzen)

Wirkung

- Verbesserung des Innenraumklimas und damit Synergien zum Klimaschutz
- Bei großflächiger Umsetzung und geringer Dachhöhe Verbesserung des unmittelbar angrenzenden Außenraumklimas möglich
- Erhalt oder Schaffung von Naturraum und damit Synergien zum Niederschlagswassermanagement und zur Biodiversität

Räumliche Umsetzung

- Flachdächer,
- ggf. flach geneigte Dächer
- Gebäude
  (Neubau und Bestand; soweit rechtlich zugelassen)

Bild: Extensive Dachbegrünung Metro (Quelle: Stadt Ludwigshafen)

HINWEISCLUSTER: REDUKTION DER WÄRMEBELASTUNG IM INNENRAUM

17 Fassadenbegrünung

Kurzerläuterung

- Boden- oder systemgebundene Fassadenbegrünung (Bevorzugung heimischer bzw. bienenfreundlicher Pflanzen)

Wirkung

- Verbesserung des Innenraumklimas und des unmittelbar angrenzenden Außenraumklimas -> Steigerung der Aufenthaltsqualität
- Durch Naturraum an der Fassade entstehen Synergien zur Biodiversität sowie zu Lärm- und Gebäudeschutz

Räumliche Umsetzung

- Gebäude
  (Neubau und Bestand; soweit rechtlich zugelassen)

Bild: Fassadenbegrünung Kleidertreff West in Ludwigshafen (Quelle: Stadt Ludwigshafen)

18 Verschattung von Gebäuden durch Bäume oder bautechnische Maßnahmen

Kurzerläuterung

- Fassadenbegrünung, Bäume, Balkongestaltung, benachbarte Gebäude, bautechnische Maßnahmen wie außen liegende Sonnenschutzelemente (Jalousien, Markisen, etc.), reflektierendes Sonnenschutzglas bzw. -folie

Wirkung

- Reduktion der Wärmebelastung durch Verschattung und Verdunstung (bei vorhandener Vegetation) tagsüber und nachts -> Erhöhung der Aufenthaltsqualität
- Verbesserung des Innenraumklimas
- Synergien zum Klimaschutz

Räumliche Umsetzung

- Gebäude (Neubau und Bestand)

Bild: Außenliegende Verschattung Wredestraße (Quelle: Stadt Ludwigshafen)

HINWEISCLUSTER: REDUKTION DER WÄRMEBELASTUNG IM INNENRAUM

19 Gebäude energetisch sanieren und klimagerecht kühlen

Kurzerläuterung

- Dämmung von Gebäuden, helle Farbgebung (Erhöhung des Albedowertes), geeignete Raumlüftung, Nutzung von Prozessabwärme

Wirkung

- in erster Linie Klimaschutzmaßnahme durch Reduktion des Energiebedarfs
- Verbesserung des Innenraumklimas tagsüber

Räumliche Umsetzung

- Gebäude (Bestand)

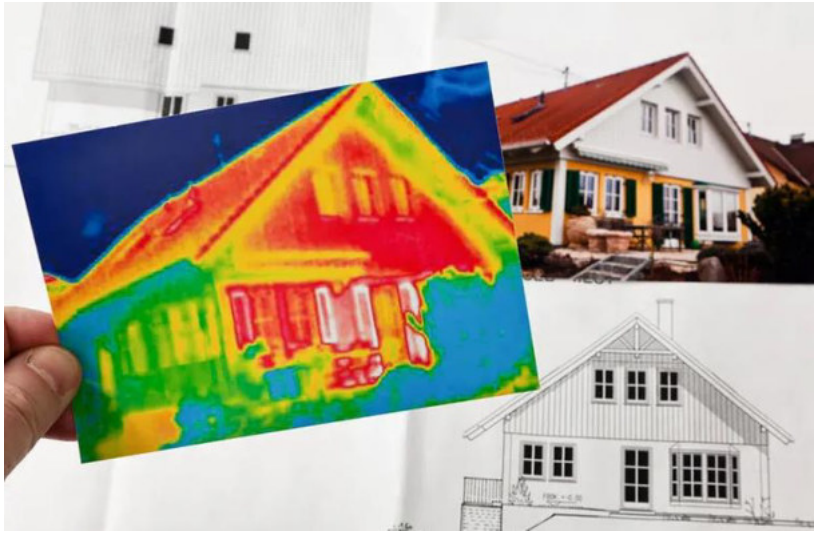


Bild: Symbolbild Energetische Sanierung (Quelle: © ginasanders/123RF.com)

20 Technische Gebäudekühlung

Kurzerläuterung

- Möglichst ressourcenschonende Lösung
- Adiabate Abluftkühlung, in der Regenwasser genutzt wird
- Erdkältenutzung
- Adsorptionskältemaschinen, die durch solare Energie oder Abwärme angetrieben werden

Wirkung

- Kühlung des Innenraums von Gebäuden durch eine möglichst nachhaltige Gebäudeklimatisierung

Räumliche Umsetzung

- Gebäude, in denen passive Maßnahmen nicht ausreichend angewendet werden können

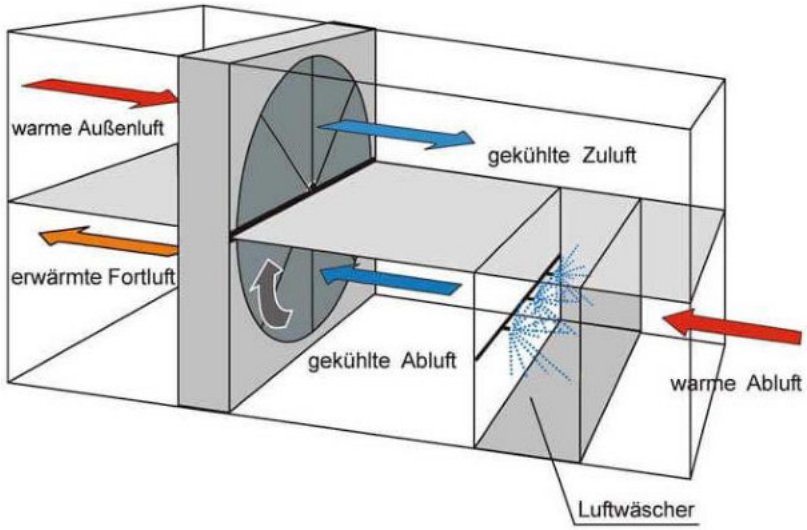


Bild: Schematische Darstellung der adiabaten Abluftkühlung (Quelle: Deutsches Architektenblatt: https://www.dabonline.de/2012/06/01/coole-sache/)

HINWEISCLUSTER: REDUKTION DER WÄRMEBELASTUNG IM INNENRAUM

		Kurzerläuterung	
21	**Anpassung des Raumnutzungs-konzeptes**	▪ Optimierung der Gebäudeausrichtung und der Nutzung von Innenräumen, d.h. sensible Räume nicht nach Süden ausrichten (z.B. Schlaf-, Arbeits- oder von Risikogruppen genutzte Zimmer, z.B. im Seniorenzentrum)	
Wirkung		**Räumliche Umsetzung**	
▪ Verbesserung des Innenraumklimas (in sensiblen Räumen)		▪ Gebäude, insb. klimasensible Gebäudenutzungen (z.B. bei Erziehungseinrichtungen, Betreutem Wohnen oder in der Altenpflege) ▪ vorwiegend im Neubau umsetzbar	 Bild: Aufnahme eines nach West ausgerichteten Büroraums. (Quelle: G. Meusel, GEO-NET)

4.4 HANDLUNGSFELD 2 - MENSCHLICHE GESUNDHEIT

Soziale und demografische Merkmale helfen dabei zu erkennen, welche Stadtgebiete – heute und in Zukunft – besonders anfällig für Hitzeextreme sind. Hitze stellt für bestimmte Bevölkerungsgruppen ein besonderes Gesundheitsrisiko dar. Um einschätzen zu können, welche Stadtgebiete davon besonders betroffen sein könnten, können verschiedene Merkmale der dort lebenden Menschen betrachtet werden. Diese Merkmale – sogenannte Basisindikatoren – zeigen, wie hoch der Anteil besonders gefährdeter Gruppen in den einzelnen Gebieten ist. Sie liefern somit wichtige Hinweise darauf, wo gezielte Maßnahmen zum Hitzeschutz notwendig sind (HLNUG 2019).

Zur Bewertung der aktuellen Anfälligkeit (auch „Sensitivität“ genannt) können folgende Indikatoren herangezogen werden:

- Anteil hochaltriger Menschen (ab 75 Jahre)
- Anteil von Kindern unter 7 Jahren
- Standorte von Einrichtungen, in denen besonders schutzbedürftige Menschen betreut werden, zum Beispiel Pflegeheime oder Kindertagesstätten

Diese Indikatoren zeigen, wie stark bestimmte Gruppen in den jeweiligen Gebieten vertreten sind. Das hilft dabei zu verstehen, wo besonders viele Menschen leben, die gesundheitlich durch Hitze gefährdet sein können. Die Lage von Einrichtungen mit sensiblen Gruppen liefert zusätzliche Hinweise, etwa wo besonders viele gefährdete Personen auf engem Raum betreut werden.

Ältere Menschen reagieren empfindlicher auf große Hitze als jüngere. Studien aus verschiedenen Ländern – auch aus Deutschland und Rheinland-Pfalz – zeigen eindeutig, dass bei Hitzeperioden die Sterblichkeitsrate unter älteren Menschen deutlich ansteigt. Dabei gilt die Altersgruppe ab 75 Jahren allgemein als besonders gefährdet (siehe auch die bereits oben erwähnten Untersuchungen zu hitzebedingten Todesfällen).

Die Ursachen dafür sind vielfältig:

- Im Alter treten häufiger chronische Krankheiten auf,
- die körperliche und geistige Leistungsfähigkeit nimmt ab,
- viele ältere Menschen leiden an mehreren Krankheiten gleichzeitig (Multimorbidität)
- und nehmen oft mehrere Medikamente ein (Multimedikation).

All das erhöht das Risiko, bei Hitze gesundheitliche Probleme zu bekommen oder sogar zu sterben. Hinzu kommt: Mit zunehmendem Alter funktioniert die Fähigkeit des Körpers, sich an hohe Temperaturen anzupassen, immer schlechter. Das betrifft zum Beispiel das Schwitzen oder die Regulation des Kreislaufs.

Wichtig ist: Der Anstieg der Sterblichkeit lässt sich nicht allein durch den sogenannten „Harvesting-Effekt“ erklären – also die Annahme, dass ohnehin gesundheitlich stark geschwächte Menschen nur wenige Tage früher sterben. Vielmehr zeigen sich bei Hitzeereignissen echte, zum Teil vermeidbare Todesfälle in dieser Altersgruppe.

Daher ist es wichtig zu wissen, wo viele Menschen ab 75 Jahren leben. Die „Hochaltrigendichte“ ist ein zentraler Indikator zur Einschätzung der Hitzebelastung in Städten.

Auch kleine Kinder, vor allem im Alter unter 7 Jahren, reagieren empfindlich auf hohe Temperaturen. Ihr Körper funktioniert in mancher Hinsicht anders als der von Erwachsenen – und das macht sie anfälliger für Hitzeschäden.

Zum Beispiel:

- Ihre Fähigkeit zur Temperaturregulation ist noch nicht vollständig entwickelt.

- Sie schwitzen weniger als Erwachsene.
- Ihre Körperoberfläche ist im Verhältnis zum Körpergewicht größer – das führt dazu, dass sie schneller Flüssigkeit verlieren, etwa über die Haut.
- Ihr Körper enthält insgesamt mehr Wasser, das bei Hitze leichter verloren gehen kann.

All diese Faktoren führen dazu, dass Kleinkinder bei starker Hitze besonders gefährdet sind, auszutrocknen (medizinisch: Exsikkose).

Zwar sind die wissenschaftlichen Studien zur gesundheitlichen Gefährdung von Kleinkindern durch Hitze nicht eindeutig – das kann unter anderem daran liegen, dass die Kindersterblichkeit in Deutschland insgesamt sehr niedrig ist oder dass Eltern meist gut auf ihre Kinder achten. Dennoch ist die Gefährdung aus theoretischer Sicht nachvollziehbar.

Da der Schutz von Kindern in den Kommunen eine besonders hohe Priorität hat und Kinder grundsätzlich als besonders schützenswert gelten, wird der Anteil von Kindern unter 7 Jahren als wichtiger Indikator bei der Bewertung der Hitzegefährdung berücksichtigt.

4.4.1 RISIKOANALYSE BEVÖLKERUNGSGRUPPEN

Die Analyse der Betroffenheit spezifischer Bevölkerungsgruppen orientiert sich am „Handlungsleitfaden zur kommunalen Klimaanpassung in Hessen – Hitze und Gesundheit“ (HLNUG 2019) und berücksichtigt drei zentrale Gruppen: Kinder im Alter von ≤ 6 Jahren, Hochaltrige ≥ 75 Jahre sowie die Gesamtbevölkerung. Die Daten wurden von der Stadtverwaltung Ludwigshafen auf der räumlichen Grundlage von statistischen Blöcken zur Verfügung gestellt.

Zur Vermeidung verzerrter Ergebnisse aufgrund ungleicher Bebauungsdichten wurden zunächst die Gebäudegrundflächen aller Wohngebäude innerhalb der jeweiligen statistischen Blöcke aufsummiert. Dies ermöglicht eine belastbare Bezugsgröße, um die Dichte der jeweiligen Personengruppen pro Fläche besser einschätzen zu können – insbesondere für statistische Blöcke, in denen nur wenige Wohnhäuser vorhanden sind.

Auf Basis der summierten Wohngebäudeflächen wurde anschließend die Dichte der betrachteten Bevölkerungsgruppen ermittelt und in Dezentile eingeteilt. Für die weitere Analyse wurden nur die drei höchsten Dichteklassen berücksichtigt, um gezielt jene Bereiche mit besonders hoher Konzentration vulnerabler Personen zu identifizieren.

Diese Dichteklassen wurden im nächsten Schritt mit den drei höchsten Belastungsklassen (*mittel, hoch* und *sehr hoch*) der bioklimatischen Bewertungskarten verschnitten – sowohl für die aktuelle Situation als auch für ein zukünftiges Klimaszenario (2045). Es wurde die Bewertungskarte der bioklimatischen Belastung um 4 Uhr morgens herangezogen, da die nächtliche thermische Entlastung eine zentrale Rolle für die körperliche Erholung spielt. Unberücksichtigt bleiben die demographische Entwicklung und eine möglicherweise andere räumliche Verteilung der Bevölkerungsgruppen innerhalb des Stadtgebietes im Klimaszenario der Zukunft.

Das Ergebnis dieser methodischen Verknüpfung ist eine 3 x 3-Matrix mit insgesamt neun Kombinationen aus demografischer Dichte und bioklimatischer Belastung (siehe Abbildung 57). Diese Kombinationen wurden in vier Betroffenheitsklassen eingeteilt: *sehr hohe* Betroffenheit, *hohe* Betroffenheit, *mittlere* Betroffenheit und *niedrige* Betroffenheit. Auf dieser Grundlage können besonders gefährdete Räume identifiziert und priorisiert in Anpassungsmaßnahmen einbezogen werden.

	Dichte 10 *extrem sensitiv*	Dichte 9 *hoch sensitiv*	Dichte 8 *sensitiv*
Thermische Belastung 5 ***sehr hoch***	sehr hohe Betroffenheit	sehr hohe Betroffenheit	hohe Betroffenheit
Thermische Belastung 4 ***hoch***	hohe Betroffenheit	hohe Betroffenheit	mittlere Betroffenheit
Thermische Belastung 3 ***mittel***	mittlere Betroffenheit	niedrige Betroffenheit	niedrige Betroffenheit

Abbildung 57: Bewertungsmatrix der Betroffenheit als Kombination von Thermischer Belastung und Dichte

Betroffenheit Kinder unter 7 Jahren

In der Analyse der „Ist-Situation“ wurden keine Flächen mit einer *sehr hohen* Betroffenheit identifiziert, da keine Wohnbauflächen eine *sehr hohe* bioklimatische Belastung aufweisen (Abb. 58). Allerdings zeigen sich größere zusammenhängende Gebiete mit *hoher* Betroffenheit vor allem in der Innenstadt sowie im Stadtteil Ludwigshafen-Süd (LU-Süd). Darüber hinaus wurden kleinere Areale mit überwiegend *niedriger* bis *mittlerer* Betroffenheit in weiteren Stadtteilen festgestellt – insbesondere in Ludwigshafen-Nord (LU-Nord), Ludwigshafen-West (LU-West), Friesenheim, Oggersheim und Gartenstadt.

Die Zukunftsprojektion macht deutlich, dass in allen Stadtteilen zusätzliche betroffene Flächen hinzukommen. Bestehende Belastungen nehmen zu: Flächen, die bereits in der Ist-Situation als betroffen eingestuft wurden, verschieben sich in höhere Betroffenheitsklassen. Besonders in der Innenstadt und in LU-Süd treten künftig auch Flächen mit *sehr hoher* Betroffenheit auf.

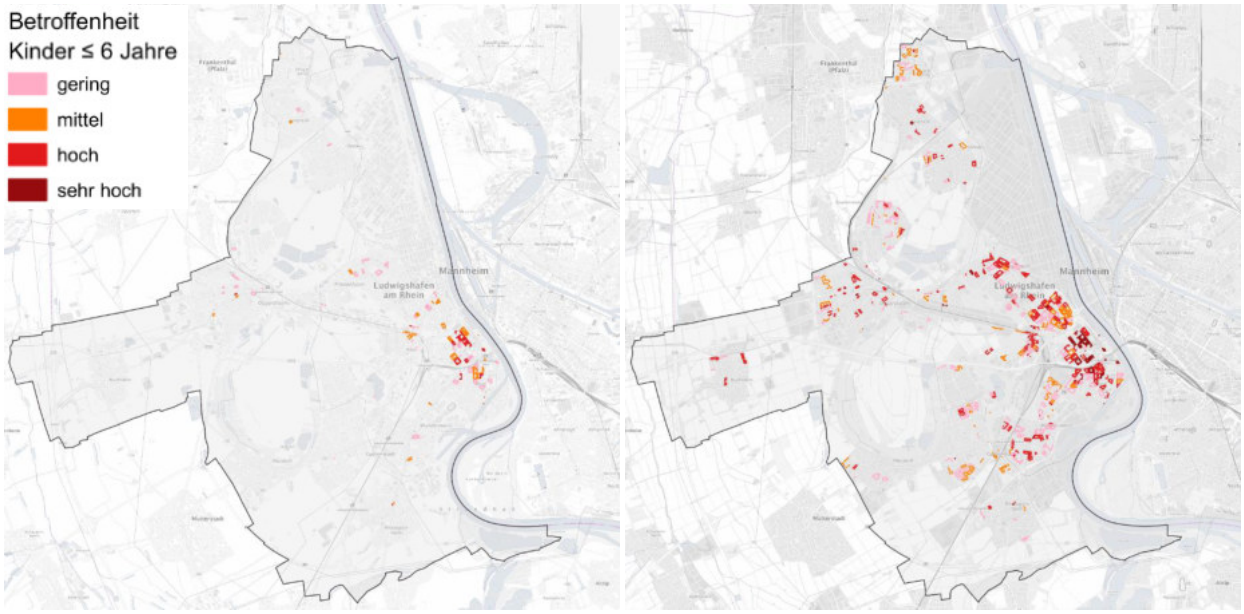


Abbildung 58: Übersichtskarten der Klimarisikoanalyse zur Betroffenheit der unter 7-jährigen Kinder in Ludwigshafen in der Nacht (links = Ist-Zustand, rechts = Zukunft).

Folgende Tabelle verdeutlicht die Zunahme der Flächenanteile bezogen auf die Gebäudegrundflächen.

Tabelle 24: Flächenanteile der Klassen auf Basis der Gebäudegrundflächen [ha].

Betroffenheitsklasse	IST-Situation	Zukunft
sehr hoch	-	7,6
hoch	4,5	33,4
mittel	6,0	18,7
niedrig	9,1	31,0

Betroffenheit „Hochaltrige“ (ab 75 Jahren)

Hohe Betroffenheitswerte zeigen sich insbesondere in der Innenstadt sowie in den Stadtteilen LU-Süd und LU-Nord (Abb. 59). Zusätzlich wurden kleinere Areale mit überwiegend *niedriger* bis *mittlerer* Betroffenheit in Oppau, Friesenheim und vor allem in Oggersheim identifiziert. In Oggersheim ist die erhöhte Betroffenheit insbesondere auf die Lage zweier Seniorenheime in Flächen mit einer mittleren bioklimatischen Belastung zurückzuführen.

Die Zukunftsprojektion zeigt, dass in allen Stadtteilen zusätzliche betroffene Flächen entstehen. Bestehende Belastungen verstärken sich: Flächen, die bereits in der Ist-Situation als betroffen galten, verschieben sich in höhere Betroffenheitsklassen. Besonders hervorzuheben ist erneut der Stadtteil Oggersheim, der künftig eine deutlich stärkere Betroffenheit aufweist.

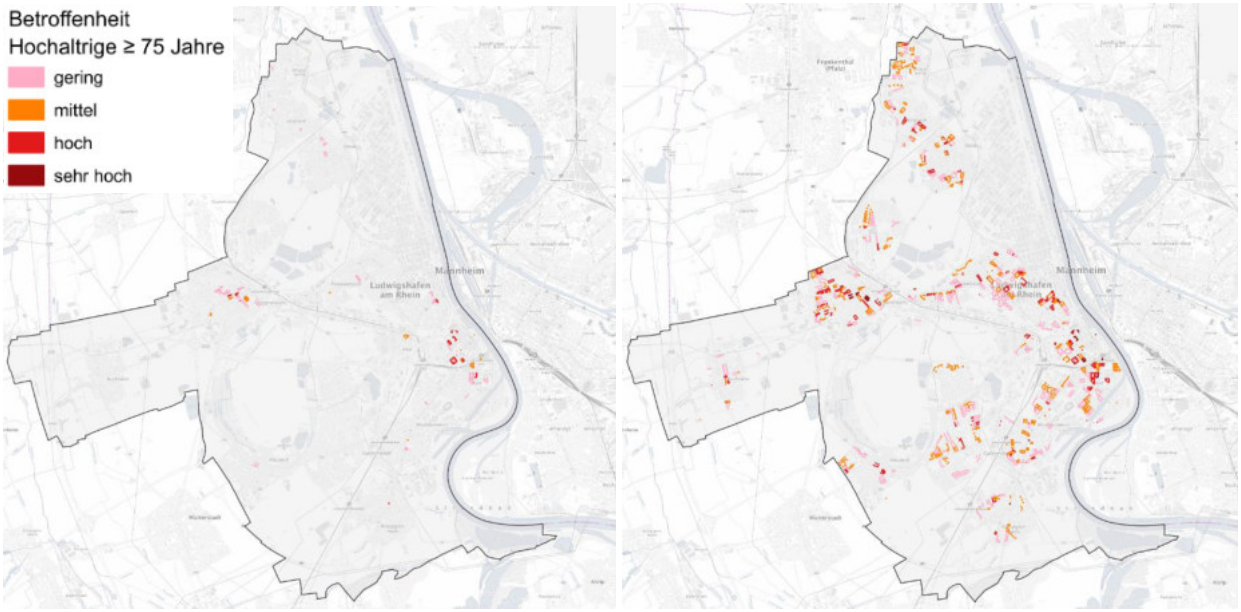


Abbildung 59: Übersichtskarten der Klimarisikoanalyse zur Betroffenheit der Hochaltrigen ab 75 Jahren in Ludwigshafen in der Nacht (links = Ist-Zustand, rechts = Zukunft).

Tabelle 25: Flächenanteile der Klassen auf Basis der Gebäudegrundflächen [ha].

Betroffenheitsklasse	IST-Situation	Zukunft
sehr hoch	-	2,2
hoch	2,3	16,5
mittel	1,8	32,1
niedrig	5,4	37,5

Gesamtbevölkerung

Bei der Analyse der Ist-Situation sind erwartungsgemäß die Innenstadt und innenstadtnahe Stadtteile am stärksten betroffen (Abb. 60). Hier liegen Flächen mit *hoher* und *mittlerer* Betroffenheit. Darüber hinaus wurden kleinere Areale mit überwiegend niedriger bis mittlerer Betroffenheit in weiteren Stadtteilen festgestellt – insbesondere Oggersheim, Oppau und Gartenstadt.

In der Zukunft weiten sich die betroffenen Flächen aus, wobei innenstadtnahe Stadtteile deutlich mehr Flächen mit *hoher* Betroffenheit aufweisen als umliegende Stadtteile. In der Innenstadt und in LU-Süd treten künftig auch Flächen mit *sehr hoher* Betroffenheit auf.

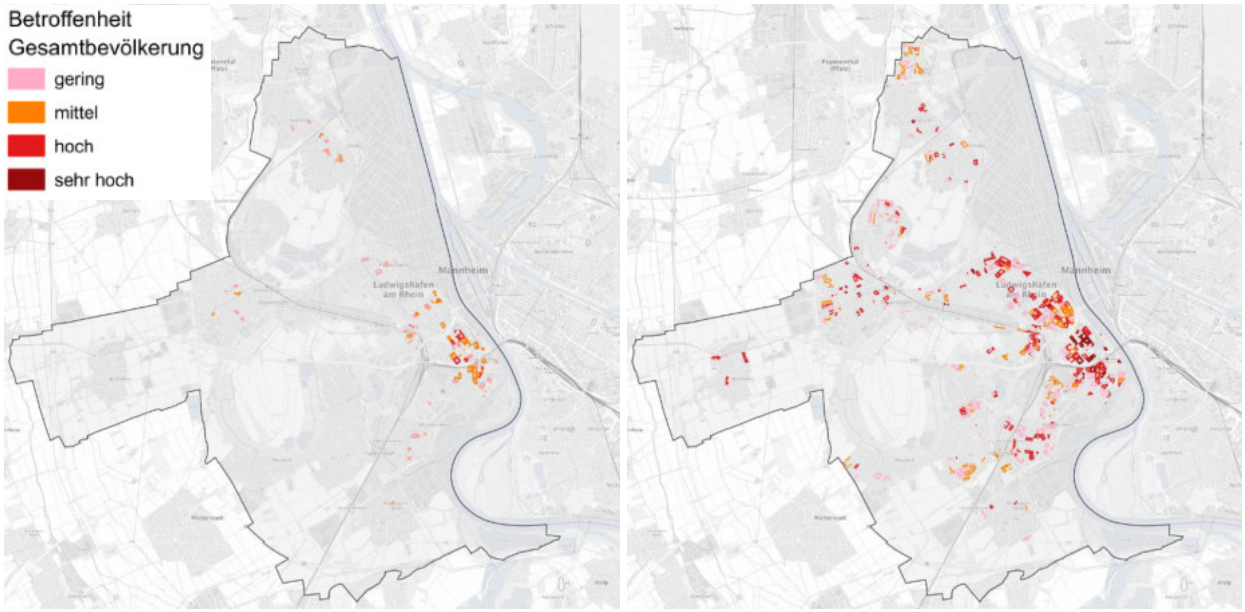


Abbildung 60: Übersichtskarten der Klimarisikoanalyse zur Betroffenheit der Gesamtbevölkerung in Ludwigshafen in der Nacht (links = Ist-Zustand, rechts = Zukunft).

Tabelle 26: Flächenanteile der Klassen auf Basis der Gebäudegrundflächen [ha].

Betroffenheitsklasse	IST-Situation	Zukunft
sehr hoch	-	7,4
hoch	2,6	13,3
mittel	9,0	48,0
niedrig	8,8	46,9

4.4.2 RISIKOANALYSE PUNKTDATEN

Zur Analyse der bioklimatischen Belastung an sensiblen Standorten wurden Punktdaten mit den Bewertungskarten der bioklimatischen Belastung sowohl für die aktuelle Situation als auch für ein zukünftiges Klimaszenario verschnitten. Dabei wurde zwischen verschiedenen Einrichtungstypen differenziert, um deren jeweilige Nutzungsschwerpunkte zeitlich angemessen zu berücksichtigen: Für Krankenhäuser, Hospize und Seniorenheime wurde die Bewertungskarte der bioklimatischen Belastung um 4 Uhr morgens herangezogen, da in diesen Einrichtungen die nächtliche thermische Entlastung eine zentrale Rolle für die körperliche Erholung spielt. Für Schulen, Kindergärten und Spielplätze hingegen wurde die Karte mit der Belastung um 14 Uhr verwendet, da sich die jeweiligen Personengruppen tagsüber an diesen Orten aufhalten und somit zu dieser Zeit den klimatischen Bedingungen besonders ausgesetzt sind. Die Ergebnisse der Analyse werden sowohl in Kartenform (Abbildung 61 bis Abbildung 65 und Anhang A 47 bis Anhang A 56) als auch in Tabellenform (Anhang A 57 bis Anhang A 61) aufbereitet. Dies ermöglicht es, besonders stark betroffene Standorte mit dem höchsten Handlungsbedarf zu identifizieren und gezielt in weiteren Planungs- und Anpassungsprozessen zu berücksichtigen.

Kindertagesstätten (KITAs)

Im Rahmen der Analyse wurden insgesamt 87 Kindertagesstätten hinsichtlich ihrer Lage in Bezug auf die bioklimatische Belastung bewertet (Abbildung 61). Für die aktuelle Situation ergibt sich folgendes Bild: Eine Kindertagesstätte befindet sich derzeit in einer *hoch* belasteten Fläche, weitere 28 Einrichtungen liegen in *mittel* belasteten Bereichen.

Für das Zukunftsszenario verschärft sich die Belastungslage: Die bereits heute *hoch* belastete Kindertagesstätte wird künftig einer *sehr hohen* Belastung ausgesetzt sein. Zudem steigen 18 Kindertagesstätten von einer *mittleren* in eine *hohe* Belastungskategorie auf. Weitere 30 Einrichtungen werden künftig als *mittel* belastet eingestuft.

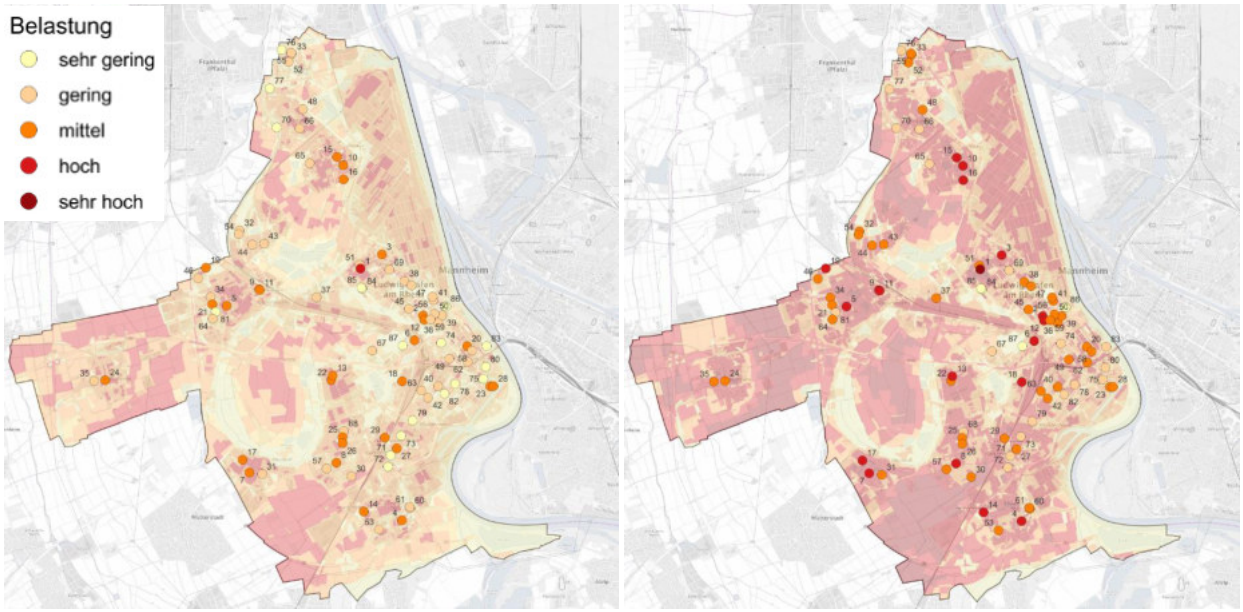


Abbildung 61: Übersichtskarten der Klimarisikoanalyse zur bioklimatischen Belastung der Kindertagesstätten in Ludwigshafen am Tag (links = Ist-Zustand, rechts = Zukunft).

Grundschulen

Es wurde die Lage von 24 Grundschulen bewertet (Abbildung 62). Aktuell liegen nur drei Schulen auf Flächen mit einer *mittleren* bioklimatischen Belastung. In der Zukunft werden es nach dem betrachteten Szenario 17 Schulen sein; jedoch wird keine Grundschule in einem *hoch* oder *sehr hoch* belasteten Gebiet verortet sein.

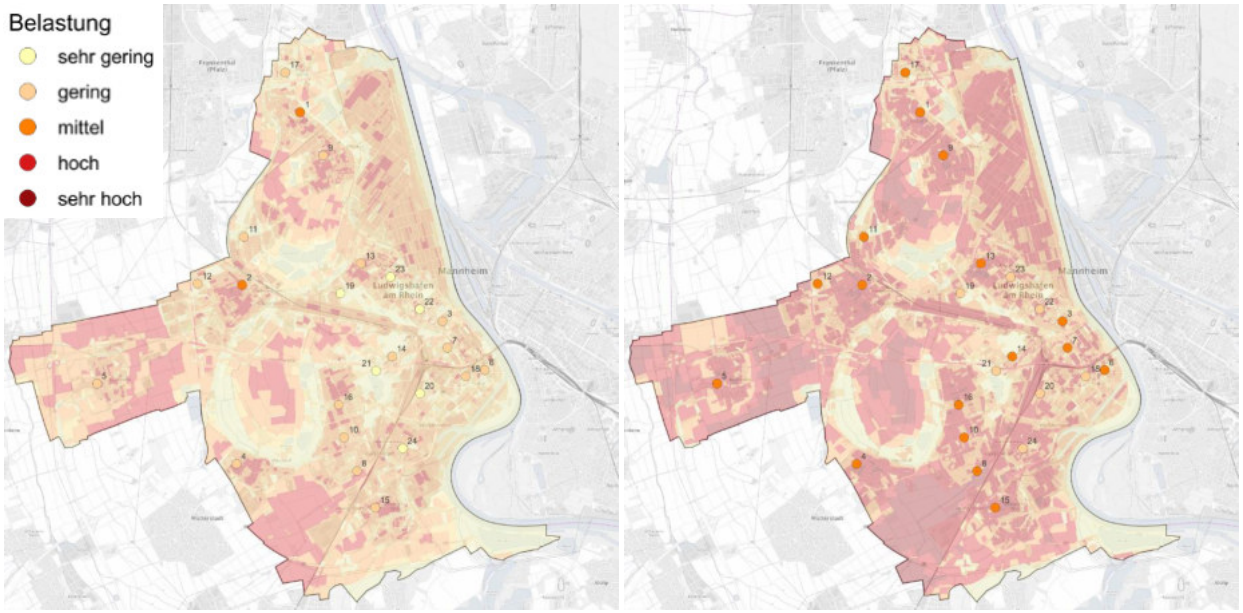


Abbildung 62: Übersichtskarten der Klimarisikoanalyse zur bioklimatischen Belastung der Grundschulen in Ludwigshafen am Tag (links = Ist-Zustand, rechts = Zukunft).

Spielplätze

Insgesamt wurden 153 Spielplätze hinsichtlich ihrer Lage in Bezug auf bioklimatische Belastungen analysiert (Abbildung 63). Für die aktuelle Situation ergibt sich, dass zwei Spielplätze in *hoch* belasteten Flächen liegen, während weitere 20 Spielplätze in Bereichen mit *mittlerer* Belastung verortet sind (Abb. 62).

Im Zukunftsszenario zeigt sich eine deutliche Zunahme der bioklimatischen Belastung: Ein Spielplatz wird künftig in einer Fläche mit *sehr hoher* Belastung liegen. Zusätzlich werden 21 Spielplätze in *hoch* belasteten Bereichen erwartet. Weitere 44 Spielplätze werden in Zukunft in *mittel* belasteten Gebieten liegen.

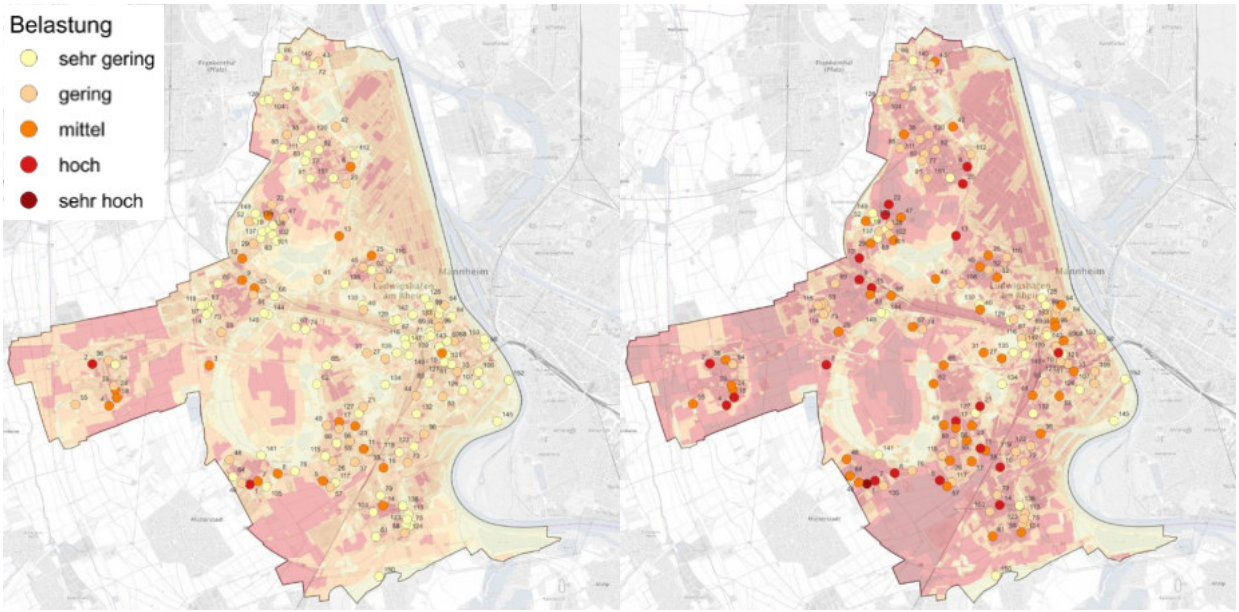


Abbildung 63: Übersichtskarten der Klimarisikoanalyse zur bioklimatischen Belastung der Spielplätze in Ludwigshafen am Tag (links = Ist-Zustand, rechts = Zukunft).

Krankenhäuser und Hospiz

Es wurde die bioklimatische Belastung für die Standorte von fünf Krankenhäusern und einem Hospiz bewertet. In der Ist-Situation liegen alle Einrichtungen in *gering* oder *sehr gering* belasteten Gebieten. Im Zukunftsszenario werden alle Einrichtungen in *mittel* belasteten Flächen liegen (Abbildung 64).

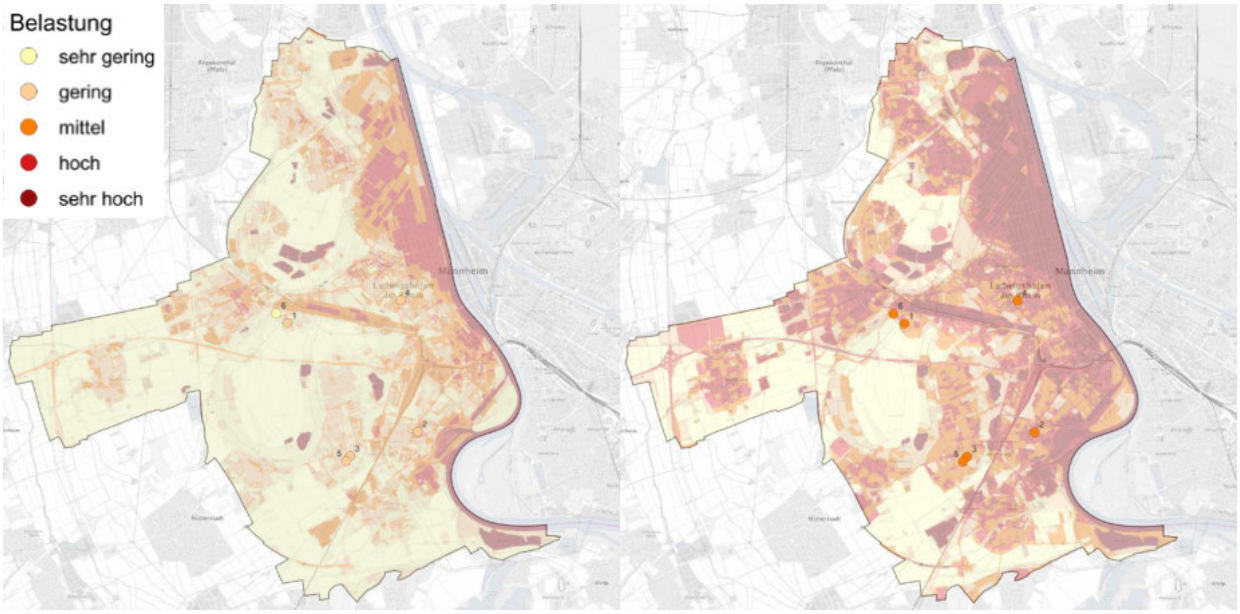


Abbildung 64: Übersichtskarten der Klimarisikoanalyse zur bioklimatischen Belastung der Krankenhäuser und Hospize in Ludwigshafen in der Nacht (links = Ist-Zustand, rechts = Zukunft).

Senioren- und Pflegeheime

Im Rahmen der Analyse wurde die Lage von 35 Senioren- und Pflegeheimen im Hinblick auf bioklimatische Belastungen untersucht (Abbildung 65). In der aktuellen Situation befinden sich drei Einrichtungen in Bereichen mit *mittlerer* Belastung; alle übrigen liegen in *gering* oder *sehr gering* belasteten Gebieten.

Im betrachteten Zukunftsszenario verschärft sich die Belastung deutlich: Zwei der zuvor nur *mittel* belasteten Einrichtungen werden künftig in Bereichen mit *sehr hoher* bioklimatischer Belastung liegen. Darüber hinaus werden acht weitere Einrichtungen in *hoch* belasteten Flächen verortet sein. Weitere 21 Einrichtungen befinden sich zukünftig in Gebieten mit *mittlerer* Belastung.

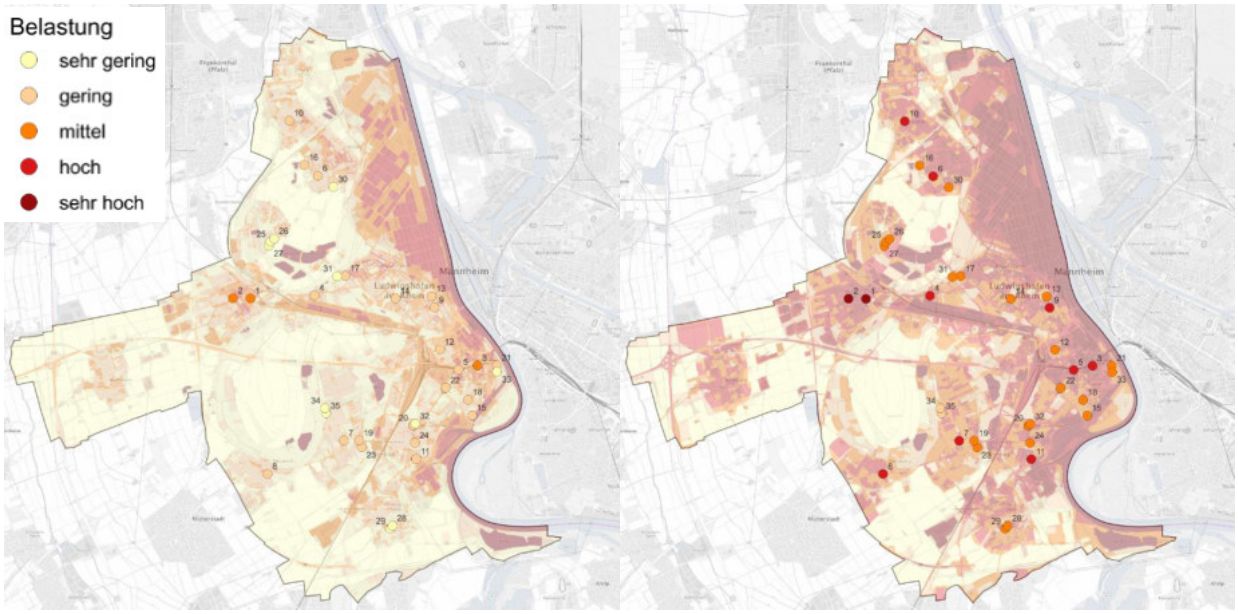


Abbildung 65: Übersichtskarten der Klimarisikoanalyse zur bioklimatischen Belastung der Senioren- und Pflegeheime in Ludwigshafen in der Nacht (links = Ist-Zustand, rechts = Zukunft).

4.5 HANDLUNGSFELD 3 - INDUSTRIE

Das Stadtgebiet von Ludwigshafen hat einen im Vergleich zu anderen Städten deutlich größeren Anteil an Gewerbe- und Industrieflächen. Dies ist hauptsächlich auf die bereits erwähnte historische Stadtentwicklung als Industriestandort mit umfangreichen Industrieflächen der chemischen Industrie innerhalb der Siedlungsgrenzen zurückzuführen. Im Speziellen auf Flächen der chemischen Industrie ist eine Versiegelung weitgehend notwendig, um eine Belastung des Grundwassers durch Schadstoffe über Produktion, Lagerung und Transport zu vermeiden und entsprechende gesetzliche Vorgaben aus dem Wasserrecht einzuhalten.

Innerhalb von Industrieflächen ist aufgrund des hohen Versiegelungsgrades im Allgemeinen mit einer erhöhten Hitzebelastung zu rechnen. Versiegelte Flächen speichern Wärme effizienter als natürliche Oberflächen, was die nächtliche Abkühlung verringert. Zudem gibt es aufgrund des niedrigen Grünflächenanteils weniger Schatten und Verdunstung, was die Hitze am Tag verstärkt.

Im Gegensatz zur Betroffenheitsanalyse für die Stadt- und Regionalplanung, bei der den nächtlichen Bedingungen besondere Bedeutung zukommt, konzentriert sich die Analyse der Hitzebelastung auf Industrie- und Gewerbeflächen auf die Hauptarbeitszeiten am Tag. Bei nächtlichen Temperaturen (typischerweise unter 25°C) ist im Allgemeinen von keiner erhöhten Belastung für Arbeitende und für technische Einrichtungen auszugehen.

Für eine Betroffenheitsanalyse auf Industrie- und Gewerbeflächen liegt daher ein besonderes Augenmerk auf der Hitzebelastung am Tag zur Hauptarbeitszeit der Arbeitenden und der Quantifizierung lokaler Hitzeinseln, welche einen Einfluss auf die maximal möglichen Temperaturspitzen und damit auf eine Überschreitung von Auslegungs- und Belastungsgrenzen der technischen Einrichtungen der Unternehmen haben. Konkrete Auswirkungen können fehlende Kühlleistung mit Auswirkungen auf eine reibungslose Produktion sein oder auch die Ermüdung von Materialien, wie z.B. weicher Asphalt mit Verformung, wie Spurrillen und Löchern bei Belastung.

In einer klassischen Stadtklimaanalyse werden diese Aspekte nur indirekt adressiert. Die Übertragung der Ergebnisse auf betriebliche Fragestellungen in Industrie und Gewerbe erfordert daher normalerweise einen Transfer, der einer breiten und optimalen betrieblichen Nutzung entgegensteht.

Das Projekt „Fit for (climate) Future“ adressiert dies, mit der Entwicklung einer spezialisierten Industriekarte, welche die oben genannten Aspekte aufgreift, und stellt diese den Unternehmen in Ludwigshafen für ihr Klimaanpassungsmanagement zur Verfügung. Die Industriekarte hat hierbei einen innovativen Charakter, der in anderen Stadtklimaanalysen konzeptionell aufgenommen werden kann.

Die in Abbildung 66 (und Anhang A 62) dargestellte Industriekarte hebt die Gewerbe- und Industrieflächen in Ludwigshafen hervor und bewertet diese anhand der für diese Nutzungskategorie (besonders) relevanten Klimaparameter, die durch die numerischen Modellrechnungen ermittelt wurden. Bei den Bewertungskriterien handelt es sich zum einen um die bereits in den Karten zur Wärmebelastung am Tag (Einzelparameter und Bewertungskarten Tag) behandelte Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) sowie um die tatsächliche bodennahe Lufttemperatur. Als Zeitpunkt wurde wie in den vorangegangenen Karten zur Tagsituation die 14 Uhr Situation gewählt, da hier im Mittel mit den größten Wärmebelastungen zu rechnen ist. Hierdurch ist eine qualitative Einordnung der allgemeinen thermischen Belastung für Arbeitende in den jeweiligen Arealen möglich. Zudem ist anhand der Karte die Aufenthaltsqualität der Grünflächen (aus klimaökologischer Perspektive) dargestellt. Diese Bewertung fand entsprechend der Bewertungskarten zur Tagsituation lediglich anhand der PET statt, da für potenzielle Rückzugsflächen für Mitarbeitende die „gefühlte Temperatur“ das entschei-

dende Kriterium darstellt. So können nahegelegene öffentlich zugängliche Grünflächen mit einer vergleichsweise geringen thermischen Belastung während der Mittags- und Nachmittagsstunden als Erholungs- und Regenerationsraum in den Pausen genutzt werden.

Die großen zusammenhängenden Industrieflächen, wie z.B. dem BASF-Werksgelände, weisen eine deutlich überdurchschnittliche thermische Belastung auf (Mittelwert der thermischen Belastung 3,5). In der Analyse sind Bereiche mit hohem Grünanteil und entsprechendem Baumbestand, meist im Bereich von Bürogebäuden (z.B. Süd-West Rand des BASF Geländes) oder auch öffentlicher Einrichtungen wie Schulen deutlich niedriger belastet als die versiegelten Kernbereiche der Industrieareale.

Neben der flächenbezogenen Bewertung der thermischen Belastungssituation wurde auch eine quantitative Analyse des Wärmeinseleffekts durchgeführt – insbesondere im Hinblick auf technische Fragestellungen. Auf dieser Basis können Unternehmen beispielsweise prüfen, ob vorhandene Kühlsysteme ausreichend dimensioniert sind oder ob temperaturbezogene Auslegungsgrenzen überschritten werden könnten.

Die ermittelten Werte können für technische Analysen und Planungen herangezogen werden, etwa zur Korrektur normativer Temperaturvorgaben für Ludwigshafen oder bei der Interpretation meteorologischer Messwerte – beispielsweise von der DWD-Station Mannheim – in Bezug auf den Wärmeinseleffekt.

Die gemessenen Absolutwerte des Wärmeinseleffekts liegen auf größeren Industrieflächen typischerweise zwischen 2 und 3 K, mit einem Maximum von bis zu 3,9 K im inneren Bereich des BASF-Werksgeländes.

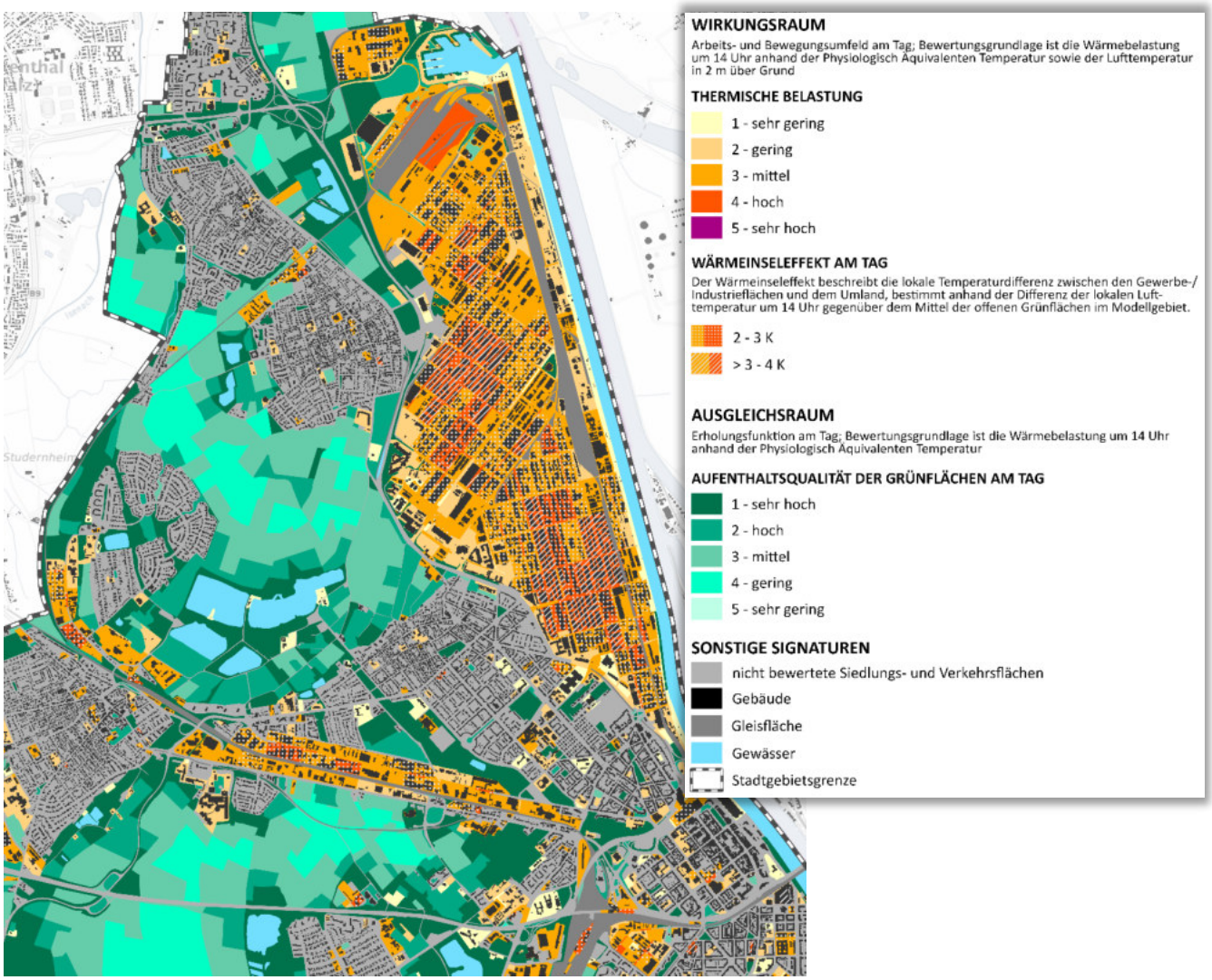


Abbildung 66: Ausschnitt der „Industriekarte“ für den Ist-Zustand am Tag.

Beispielhafte Nutzung der Karte durch Unternehmen:

- Analyse der thermischen Belastung an Aufenthaltsschwerpunkten von Mitarbeitenden.
  - Bei hoher Belastung können Verschattungselemente kurzfristig und sofern baulich und rechtlich möglich Bäume mittelfristig die Belastung unter Tag signifikant reduzieren.
  - Niedrige thermische Belastung am Tag hängt unmittelbar mit vorhandener Verschattung meist durch Bäume auf den Flächen zusammen. Ein Erhalt der Bäume sollte in die Entwicklung der Flächen angestrebt werden.
- Bewusste Nutzung von nahegelegenen Grünflächen mit einer entsprechenden Aufenthaltsqualität
  - Beispiel: Pause im Ebertpark oder anderen Grünanlagen.
- Technische Auslegung oder Prüfung eines Aggregats (z.B. VDI 2078: Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen (Auslegung Kühllast und Jahressimulation).
  - Wenn sich der Aufstellungsort im Bereich mit einem ausgewiesenen Wärmeinseleffekt befindet, können mögliche Korrekturen („Großstadtkorrektur“) im normativen Vorgehen angewandt werden.
  - Für eine Detailanalyse können bei einer konservativen Vorgehensweise die Temperaturdaten der Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes in Mannheim (opendata.dwd.de) um den angegebenen Wärmeinseleffekt erhöht werden.
- Allgemein: Integration der Industriekarte als Datenreferenz in die betrieblichen Managementsysteme
  - Umweltmanagement (ISO 14001)
  - Qualitätsmanagement (ISO 9001)
  - Nachhaltigkeit (EU Taxonomie; ESRS)

Beispiel: Klimaanpassung bei BASF

Phasen höherer Temperaturen und Hitzewellen können auch Einfluss auf das Werk der BASF in Ludwigshafen haben. Auf Basis aktueller Klimamodelle des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) analysiert BASF daher systematisch Klimaveränderungen und daraus resultierende mögliche Risiken. Um Auswirkungen auf die Versorgungs- und Produktionssicherheit – beispielsweise in Logistik und Kühlwasserversorgung – zu vermeiden, hat BASF in den vergangenen Jahren eine Reihe von Resilienz-Maßnahmen umgesetzt.

So wurde ein Frühwarnsystem für Niedrigwasser eingeführt, die Anzahl der exklusiv gecharterten **Niedrigwasserschiffe** mehr als verdoppelt und wichtige Ladestellen ausgebaut, um flexibler auf alternative Verkehrsträger wie die Bahn ausweichen zu können. Zudem hat BASF die Entwicklung von niedrigwasser-geeigneten Schiffsneubauten wie der „Stolt Ludwigshafen“ vorangetrieben.

Abbildung 67: Symbolfoto (BASF-Pressedatenbank).

Die **Kühlwasserversorgung** des Werks, die vornehmlich auf dem Flusswasser des Rheins basiert, wurde durch den Ausbau und die Optimierung von Rückkühlanlagen sowie verbesserter Kühlwasserströme im werksinternen Wasserversorgungsnetz, weiter abgesichert. Gleichzeitig verringern die Anlagen den Wärmeeintrag in das Flusswasser und tragen auf diese Weise zu einem nachhaltigen Umgang mit dem Rhein bei.

Nicht zuletzt fließen die Daten zu Hitzeverteilung und die speziell entwickelte „Industriekarte“ des **Projekts „Fit for (climate) Future“** in das Geoinformationssystem der BASF ein und unterstützen das Unternehmen dabei, Anpassungen an heiße Wetterperioden bei technischen und baulichen Planungsvorhaben und -prozessen noch stärker zu berücksichtigen.

5. Konzept für die Akteur*innenbeteiligung

Das Projekt „Fit for (climate) future“ wurde über die gesamte Laufzeit von einer interdisziplinären Projektgruppe beratend und steuernd durch regelmäßige Arbeitssitzungen begleitet. Diese bestand aus der Projektleitung und -koordination aus dem Bereich Umwelt & Klima der Stadtverwaltung Ludwigshafen (Kernteam), dem ehemaligen Klimaschutzbeauftragten der Stadtverwaltung (Erstellung der Stadtklimaanalyse aus dem Jahr 2000) sowie Vertretern aus dem Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen, der BASF SE und dem Gutachterteam des Fachbüros Geo-Net Umweltconsulting. Innerhalb der Projektlaufzeit wurden je nach Bearbeitungsstand und Phase weitere interne und externe Experten hinzugezogen. Auch über den Projektrahmen hinaus tragen die Mitglieder der Projektgruppe die mit der Klimaanpassung in Verbindung stehenden Themen in ihre jeweiligen Netzwerke und Arbeitsbereiche.

5.1 AKTEUR*INNENANALYSE

Je nach Projektschwerpunkt und Phase wurde mit verschiedenen Akteuren für die Erstellung des Konzepts zusammengearbeitet: zum einen mit unterschiedlichen Verwaltungsstellen der Stadt Ludwigshafen, zum anderen aber auch mit externen Partnern über direkten Austausch in Gesprächen oder Sitzungen, bei Online-Dialogen, Veranstaltungen oder Workshops. Diese untenstehend aufgeführten Akteure (um weitere ergänzt) bilden auch die Basis für die weitere Verstetigung, Beteiligung und Öffentlichkeitsarbeit in der Klimaanpassung.

Raumordnung / Regional- und Bauleitplanung / Flächennutzungsplanung / Bauwesen

Stadtverwaltung / städtische Bereiche

Umwelt & Klima (4-15)

- Landschaftsplanung + Artenschutz
- Naturschutz & Landschaftsplanung
- Freiraumplanung und Grünconsulting
- Starkregen- & Hochwasservorsorge
- Klimaanalyse & Klimaanpassung
- Umweltberatung (4-15)

Klimaschutzstabsstelle (4-02)

Stadtplanung / Verkehrsplanung / Stadterneuerung (4-12)

- Innenstadtentwicklung, Stadterneuerung (4-122)
- Städtebauliche Planung, Flächennutzungsplanung (4-126)

Tiefbau (4-14), Bauwerke und Straßenbau

AG Hochwasser/Starkregen

Stadtentwässerung (4-24)

WBL / Grünflächen & Friedhöfe (4-24)

- Grünbetrieb, Baummanagement (4-212)
- Bäume und Landschaftspflege (4-214)
- Feuerwehr / Katastrophenschutz (1-22)

- Stadtentwicklung (1-16)

Gebäudemanagement

(Städtische) Wohnungsbaugesellschaften (z.B. GAG)

Stadtentwicklungsgesellschaft LCE (z.B. Planung neues Stadtquartier)

Öffentlichkeitsarbeit (1-17)

Ludwigshafener Kongress- und Marketinggesellschaft (LUKOM)

Betreiber öffentlicher bzw. kritischer Infrastruktur:

- Energieversorger
- Wasser- und Abwasserversorgung
- Straßenbau und –unterhaltung
- Transport- und Verkehrssysteme: Bahn, ÖPNV, Hafenbetreiber
- Telekommunikation

<u>Gesundheit</u>

- Städtische Sozialverwaltung: Soziales & Integration / Soziale Sicherung und Planung (5-12), Soziale Planung & Gesundheitskoordination
- Gesundheitsamt LU/RP-Kreis, Fachbereich Gesundheitsförderung und –berichterstattung
- Feuerwehr / Katastrophenschutz (1-22)
- Krankenhäuser und Kliniken
- Alten- und Pflegeheime
- Pflegedienste
- Betreiber und Einrichtungsleitungen von Kindertagesstätten, Kindergärten und Schulen

<u>Wirtschaft / Industrie</u>

- Industrie- und Handelskammer Pfalz (IHK)
- Verband der Chemischen Industrie (VCI)
- BASF SE
- Unternehmen

<u>Themenübergreifend</u>

*Bürger*innen*

Politik

- Stadtrat
- Ausschüsse
- Ortsvorsteher*innen

Bildungseinrichtungen

- VHS
- Schulen
- Kitas
- Hochschule

Verbände / Initiativen

- NABU

- BUND
- ORBEA
- IFLM
- Grüner Kreis
- HackmuseumsgARTen (Netzwerk)
- ILA21LU

Beratende Landeseinrichtungen / externe Experten

- Verbraucherzentrale
- Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen RLP

Medien:

- Rundfunk
- Zeitungen (online, Print)
- Social Media

5.2 BETEILIGUNG VON AKTEUR*INNEN WÄHREND DES PROJEKTS SOWIE BEI DER KÜNFTIGEN UMSETZUNG DES ANPASSUNGSKONZEPTS

Während der Projektlaufzeit wurden gemeinsam durch das Kernteam und die beratende Projektgruppe Akteure für die jeweiligen Handlungsfelder identifiziert und in der Beteiligung hinzugezogen. Im städtischen Umweltausschuss wurde jeweils über den aktuellen Sachstand des Projektes berichtet und Fragen diskutiert.

Nach der intensiven Analysephase zu Beginn des Projektes mit regelmäßigen Arbeitssitzungen wurden die Ergebnisse der Stadtklimaanalyse, aber auch erste Maßnahmen als Beteiligungsprozess im Rahmen einer Online-Veranstaltung sowie einer nachfolgenden Online-Dialog-Phase für alle Interessierten (aus Bürgerschaft, Politik, Verbänden, Initiativen) im Oktober 2024 vorgestellt und diskutiert. In der Online-Sprechstunde wurden anhand von verschiedenem Kartenmaterial die Betroffenheiten durch Überwärmung zum heutigen Zeitpunkt (Ist-Situation), aber auch in den Zukunftsszenarien dargestellt und erläutert. Auch wurden hier erste Ergebnisse der Betrachtung von vulnerablen Gruppen (der Hochaltrigen Ü75) präsentiert. Das Gutachterbüro stellte exemplarisch verschiedene Maßnahmen vor, mit denen der Hitzebelastung begegnet werden kann. Daran anschließend folgten konkrete Projekte (bewilligte, laufende oder gerade startende) zur klimaangepassten Stadtentwicklung sowie ein Ausblick zum weiteren Projektverlauf. Als Abschluss der Veranstaltung bestand für die Teilnehmenden die Möglichkeit Fragen einzubringen. Diese wurden entweder direkt während der Veranstaltung beantwortet oder in den anschließenden Online-Dialog übernommen, welcher über weitere zehn Tage im Anschluss zur Veranstaltung auf der städtischen Beteiligungsplattform ludwigshafen-diskutiert.de, zur Eingabe von Fragen, Kommentaren oder Anregungen diente. Die Fragen wurden umgehend von den involvierten Expert*innen beantwortet und sind weiterhin für alle auf der Plattform einsehbar. Die hier gewonnenen Erkenntnisse flossen in die Konzepterstellung ein.

Ebenfalls im Oktober 2024 konnten sich Bürger*innen bei der gemeinsamen Online-Seminar-Reihe „Grün statt Grau“ mit dem Rhein-Pfalz-Kreis sowie der Volkshochschulen Ludwigshafens und des Kreises konkrete Anregungen von Expertinnen einholen. Hier ging es um die klimagerechte Gestaltung von eigenem Balkon, Garten, Dach oder Fassade und zum Regenwassermanagement als Maßnahmen gegen Überwärmung. Einleitend wurden bisherige Ergebnisse aus dem Projekt vorgestellt und auf weiterführende Informationen verwiesen. Eine weitere Reihe „Grün statt Grau“ fand im April 2025 statt.

Ende 2024 waren Projektleitung und Projektkoordination des Klimaanpassungskonzeptes aus dem städtischen Bereich Umwelt & Klima zu Gast beim städtischen Podcast zum Thema „Ideen gegen die Versiegelung“. In diesem wurden Entwicklungen und Projekte der letzten Jahre, aber auch zukünftige Planungen, besprochen sowie Vorschläge und Anregungen gegeben, was jeder einzelne durch klimasensitive, begrünte Gestaltung privater Flächen beitragen kann.

Im Februar 2025 fand in Kooperation mit der BASF SE, der Stadtverwaltung und der IHK ein Runder Tisch zur Hitzebelastung für Industrie und Gewerbe statt. Hierzu waren über die Industrie- und Handelskammer Pfalz (IHK) und den Verband der Chemischen Industrie (VCI) Unternehmen eingeladen, um sich über die Ergebnisse der Klimaanalyse sowie wirksame Maßnahmen zu informieren. Das Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen stellte sein Informationssystem vor, in dem Unternehmen lokale Klimadaten abrufen können sowie einen Klimacheck für Unternehmen zur Überprüfung der allgemeinen Betroffenheit durch den Klimawandel durchführen können. Die Betroffenheit des eigenen Betriebs durch Überwärmung konnte anhand des umfangreichen Kartenmaterials sowie in der speziellen Industriekarte aus dem Projekt eingesehen werden. Einerseits sollten hier Anregungen für betriebseigene Klimaanpassungsmaßnahmen gegeben werden, auch in Verbindung mit der Vorstellung von passenden Fördermöglichkeiten durch die Beratung der IHK, andererseits aber auch die Herausforderungen der Unternehmen in Bezug auf Überwärmung im Austausch diskutiert werden. Die Erkenntnisse flossen in die weitere Konzepterstellung ein. Dieses Format sollte über den Projektrahmen hinaus weitergeführt werden.

Als weiterer Baustein in der Beteiligung folgte im Februar 2025 ein verwaltungsinterner Workshop mit Akteuren aus den oben genannten städtischen Fachbereichen zur Diskussion und Auswahl von Schlüsselmaßnahmen. Aus den bisherigen Erkenntnissen konnten bereits die übergeordneten Zielstellungen bestätigt werden, unter denen weitere Ergänzungen für bislang nicht erwähnte Themen sowie konkrete Projekte für die praktische Umsetzung einflossen. Auch Priorisierungen konnten für einzelne Maßnahmen vergeben werden, die als besonders wichtig, aber auch gleichzeitig gut durchsetzbar angesehen wurden. In der Nachbereitung des Workshops wurden die Maßnahmen für den Gesamtkatalog in laufende, kurzfristige und langfristige Maßnahmen sowie in einen Ideenspeicher eingeteilt sowie mit den weiteren Erkenntnissen in den Maßnahmenkatalog überführt. Aus Teilnehmenden des Workshops soll in der Folge eine „Arbeitsgruppe Klimaanpassung“ zur Verstetigung etabliert werden.

Im Mai 2025 wurden Ergebnisse und Maßnahmen aus dem Projekt beim jährlich stattfindenden "Tag der Altersmedizin" im Krankenhaus Zum Guten Hirten vorgestellt. Der diesjährige Fokus lag auf dem Thema "Alter und Hitze".

Die oben vorgestellten und während des Projektes durchgeführten Elemente sollen auch im Anschluss zur fortlaufenden Information und Beteiligung der einzelnen Akteur*innen weitergeführt werden und somit zur Verstetigung der Klimaanpassung im Verwaltungshandeln beitragen. Auch in den folgenden Kapiteln wird dies ergänzend ausgeführt.

Der Beteiligungsprozess des parallel erarbeiteten Hochwasser- und Starkregenvorsorgekonzept hat ebenfalls Erkenntnisse zur Übertragung auf das Klimaanpassungskonzept befördert. Auf diese soll aber an dieser Stelle nicht nochmals eingegangen werden, sondern ergänzend auf das gesonderte Konzept verwiesen werden.

6. Maßnahmenkatalog Klimaanpassung

6.1 LAUFENDE MAßNAHMEN IN DER STADT LUDWIGSHAFEN

Zur Erstellung eines auf die Stadt Ludwigshafen zugeschnittenen Maßnahmenkatalogs wurden zunächst diejenigen Maßnahmen erfasst, welche bereits umgesetzt beziehungsweise in der Umsetzung begriffen/ befindlich sind.

Aus diesem Prozess geht hervor, dass die Stadt Ludwigshafen bereits an vielen Stellen aktiv Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels umsetzt (Tabelle 27). Beispielsweise werden vielerorts öffentliche Plätze klimaangepasst umgestaltet, wodurch die Aufheizung dieser an Sommertagen verringert und die Aufenthaltsqualität verbessert werden kann. Entsprechende Projekte sind beispielsweise die Umgestaltung des Theaterplatzes, des Hans-Klüber-Platzes oder des Bürgerhofs, welche über das Kommunale Investitionsprogramm Klimaschutz und Innovation (kurz KIPKI) des Landes Rheinland-Pfalz gefördert werden.

Auch im Bereich der sensiblen Einrichtungen wie KITAS existiert bereits eine Maßnahme, die die Verschattung der Außenflächen dieser Einrichtungen vorantreiben soll. Auch der Spielplatz Blücher-/ Welserstraße und der Schulhof Mundenheim werden klimaangepasst entwickelt.

Weiterhin befinden sich zur Förderung des lokalen Klimakomforts und der Biodiversität unter anderem Projekte zum Ausbau des Stadtbaumbestandes wie das Straßenbaumprogramm und die „Ludwigsbäume“ in der Umsetzung. Zur Verbesserung der Standortbedingungen für den urbanen Baumbestand werden außerdem Projekte zur Verbesserung der Standortqualität für Stadtbäume durch Feuchte- und Klimamessung sowie zur Erneuerung der Baumscheiben durchgeführt.

Die Biodiversität im Stadtgebiet wird gefördert durch zwei Projekte „Hecken, Gehölze und Streuobst im Außenbereich“ und „Wiedervernässung Maudacher Bruch“, die über das Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz des Bundesumweltministeriums gefördert werden.

Ebenfalls zu einer Begrünung der Stadt und Verbesserung des Mikroklimas trägt die Maßnahme der Bepflanzung von Straßenbahnleitpfosten und Gleisflächen des RNV bei. Auch die Schaffung eines Retentionsraumes in der Damaschkestraße zur Überflutungsvorsorge trägt zu einer Steigerung des Grünvolumens in der Stadt bei.

Die Errichtung von Trinkwasserbrunnen zielt darauf ab, eine ausreichende Trinkwasserversorgung im öffentlichen Raum zu etablieren. Dadurch soll die Bevölkerung an heißen Tagen vor Dehydrierung geschützt werden. Diese Maßnahme stellt einen guten Ausgangspunkt für den Ausbau des Trinkbrunnennetzes in Ludwigshafen dar.

Zusätzlich wird die Bevölkerung bei der Umsetzung eigener Klimaanpassungsmaßnahmen unterstützt. Beispielsweise durch das Förderprogramm zur Entsiegelung privater Flächen, welches ergänzt wird durch Anreize für Dach- und Fassadenbegrünung. Unterstützend werden zudem Informationsformate wie die VHS-Veranstaltungsreihe „Grün statt Grau“ angeboten.

Auch wird die Bevölkerung über die Entwicklung in der Klimaanpassung durch eine projektbegleitende Öffentlichkeitsarbeit informiert.

Diese Erfassung der bereits laufenden Maßnahmen zeigt, dass die Stadt Ludwigshafen bereits sehr aktiv in der Umsetzung der Klimaanpassung ist und wichtige Anknüpfungspunkte für die Erstellung des Maßnahmenkatalogs vorhanden sind.

Tabelle 27: Übersicht bereits laufender Klimaanpassungsmaßnahmen in der Stadt Ludwigshafen.

Ziel	Kategorie	Maßnahme	Förderung
Beraten, Informieren, Fördern, Kooperieren	Kommunikation und Austausch	Entsiegelung auf privaten Flächen & Anreize für Dach- und Fassadenbegrünung (Förderprogramm)	Förderprogramm ist derzeit laufendes Projekt, aber nur über Landesfördergelder aus KIPKI bis Ende 2025/2026 möglich
	Kommunikation und Austausch	Projektbegleitende thematische Öffentlichkeitarbeit, Podcast, Presseartikel (z.B. Zwischenergebnisse, Veranstaltungen, allgemein auftretende invasive Arten), Beteiligung über Ludwigshafen-diskutiert, Online-Kurse zu Begrünung mit VHS wie die VHS-Serie „Grün statt Grau“	
Schutz vulnerabler Bevölkerungsgruppen vor den Folgen des Klimawandels	Pilotprojekte	Entsiegelung Schulhof Mundenheim	derzeit Förderung über KIPKI bis Ende 2026
	Pilotprojekte	Klimaangepasste Gestaltung des Spielplatzes Blücher-/Welserstraße im Hemshof	derzeit Förderung über KIPKI bis Ende 2026
	Pilotprojekte	Programm zur Verschattung für KITAS (Förderprogramm für Verschattung von öffentlichen Schulhöfen, Kitas und Spielplätzen mit Sonnensegeln)	Schulhof Mundenheim und Spielplatz Welserstraße über KIPKI die Maßnahmen in KITAs werden über verschiedene Fördertöpfe finanziert
Hitzeangepasste Quartiersentwicklung (Stadtplanung)	Analysen	Klimasensorik/ Klimamessnetz installieren und Messnetz ausweiten (mit Metropolregion und Mannheim)	in KIPKI-Förderprojekt an einzelnen Standorten pilothaft bis Ende 2026 eingeführt
	Kommunikation und Austausch	Straßenbaumprogramm über private Spenden, Engagement fortführen	
	Pilotprojekte	Klimaangepasste Gestaltung am Theaterplatz	derzeit Förderung über KIPKI-Wettbewerb bis Ende 2026
	Pilotprojekte	Klimaangepasste Verbindung zwischen Theaterplatz und Hans-Klüber-Platz	derzeit Förderung über KIPKI-Wettbewerb bis Ende 2026
	Pilotprojekte	Klimaangepasste Gestaltung Hans-Klüber-Platz	derzeit Förderung über KIPKI-Wettbewerb bis Ende 2026

Hitzeangepasste Quartiersentwicklung (Stadtplanung)	Pilotprojekte	Klimaangepasste Gestaltung des Friedrich-Wilhelm-Wagner-Platzes	Förderung über Städtebauförderung Stadterneuerung bis 2027/2028, als Teil aus ISEK Innenstadt
	Pilotprojekte	Klimaangepasste Gestaltung Karl-Kornmann-Platz	derzeit Förderung über KIPKI-Wettbewerb bis Ende 2026
	Pilotprojekt	Klimabewusste Aufwertung des Bürgerhofs	derzeit Förderung über KIPKI-Wettbewerb bis Ende 2026
Stadtgrün und Naturräume erhalten und klimaangepasst weiterentwickeln	Pilotprojekte	Klimaangepasste Bäume in den Stadtteilen "Ludwigsbäume"	Projektergebnisse und Erlerntes aus den jeweiligen Projekten zusammentragen und für weitere Projekte nutzen, Förderung über Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz bis 2030
	Pilotprojekte	Einzelmaßnahmen Baumpflanzungen	teilweise aktuelle Baumpflanzungen finanziert über KIPKI-Förderung (250 Bäume) bis Ende 2026
	Pilotprojekte	Verbesserung der Standortqualität für Stadtbäume durch Feuchte- und Klimamessung	teilweise aktuell über obenstehende KIPKI-Projekte pilothaft an einzelnen Standorten anlaufend bis Ende 2026
	Pilotprojekte	geplante Erneuerung der Baumscheiben in der Bismarckstraße (Verstetigung des Stadtgrüns)	
	Pilotprojekte	Hecken, Gehölze und Streuobst im Außenbereich	Förderung über Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz bis 2029
	Pilotprojekte	Wiedervernässung Maudacher Bruch	Förderung über Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz bis 2030
	Pilotprojekte	Bepflanzung/Berankung mit Kletterpflanzen an Straßenbahnleitungspfosten, Gleisen und sonstigen Einrichtungen (mit Rhein-Neckar-Verkehr/RNV) (Als konkretes Beispiel: Wittelsbachstraße / Ecke Amtsgericht)	
Vorsorge für Starkregen und Hochwasser	Pilotprojekte	Schaffung eines Retentionsraumes in der Damaschkestraße zur Überflutungsvorsorge	derzeit Förderung über KIPKI bis Ende 2026

6.2 ERSTELLUNG DES MAßNAHMENKATALOGS

Im nächsten Schritt wurden die Schlüsselmaßnahmen im Rahmen eines verwaltungsinternen Workshops am 24.02.2025 identifiziert, der durch die Expertise des Kooperationspartners Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen unterstützt und durch das Fachbüro Geo-Net geleitet wurde. Dieser fand digital unter Zuhilfenahme eines online Whiteboards statt. Aus der großen Auswahl möglicher Maßnahmen wurden anhand eines Punktesystems und einer anschließenden Diskussion im Plenum diejenigen Maßnahmen ausgewählt, welche durch die Beteiligten als dringlich eingeschätzt und deren zeitnahe Durchführung unter den aktuellen Rahmenbedingungen als realistisch eingestuft werden.

Maßnahmen, die aus diesem Prozess nicht als Schlüsselmaßnahme hervorgingen, wurden als langfristige Maßnahmen in einer Übersichtsliste für die perspektivische Ausrichtung der Klimafolgenanapassung aufgeführt.

Die ausgewählten Schlüsselmaßnahmen sind den Anpassungszielen der Stadt Ludwigshafen zugeordnet:

- Anpassungsziel 1: Beraten, Informieren, Fördern, Kooperieren
- Anpassungsziel 2: Etablierung und Verstetigung der Klimaanpassung in der städtischen Verwaltung
- Anpassungsziel 3: Schutz vulnerabler Bevölkerungsgruppen vor den Folgen des Klimawandels
- Anpassungsziel 4: Hitzeangepasste Quartiersentwicklung
- Anpassungsziel 5: Stadtgrün und Naturräume erhalten und klimaangepasst weiterentwickeln
- Anpassungsziel 6: Vorsorge für Starkregen und Hochwasser

6.3 MAßNAHMENKATALOG

Folgend ist eine Übersicht über die im Maßnahmenkatalog enthaltenen Schlüsselmaßnahmen, geordnet nach den Anpassungszielen aufgeführt:

Schlüsselmaßnahmen		
Anpassungsziel	Bez.	Maßnahmentitel
Anpassungsziel 1: Beraten, Informieren, Fördern, Kooperieren	M1	Verstetigung der Öffentlichkeitsarbeit und Sensibilisierung zur Klimaanpassung
	M2	Zentrale Bereitstellung von Daten zur Klimaanpassung
	M3	Fortschreibung und Verstetigung des Förderprogramms zur Entsiegelung und Begrünung privater Flächen
	M4	Etablierung und Verstetigung des Formats Runder Tisch "Klimaanpassung Industrie und Gewerbe" als Netzwerk für den Klimaanpassungsdialog mit Unternehmen
Anpassungsziel 2: Etablierung und Verstetigung der Klimaanpassung in der städtischen Verwaltung	M5	Etablierung eines Klimaanpassungsmanagements sowie einer Arbeitsgruppe Klimaanpassung
	M6	Integration der Klimaanpassung in die Fortschreibung des Flächennutzungsplans
	M7	Klimaanpassung in der Bauleitplanung
Anpassungsziel 3:	M8	Erarbeitung eines Hitzeaktionsplans

Schutz vulnerabler Bevölkerungsgruppen vor den Folgen des Klimawandels	M9	Bereitstellung von kostenlosem Trinkwasser im öffentlichen Raum
	M10	Schaffung eines Förderprogramms zur Verschattung für KITAS, Schulhöfe und Spielplätze
Anpassungsziel 4: Hitzeangepasste Quartiersentwicklung	M11	Konzept zur Begrünung öffentlicher Verweilflächen und Aufenthaltsbereiche
	M12	Konzept zur klimaangepassten Gestaltung von Verkehrsflächen
	M13	Festlegung von Standards für Baumscheiben im Bereich von Straßen
	M14	Leuchtturmprojekte für klimaangepasstes Bauen (Neubau): "Neues Stadtquartier"
Anpassungsziel 5: Stadtgrün und Naturräume erhalten und klimaangepasst weiterentwickeln	M15	Optimierung bestehender öffentlicher Grünflächen
	M16	Erlass einer Grüngestaltungssatzung für Privatflächen
	M17	Entwicklung von Mikro-/ Pocket-Parks auf kleineren Brachflächen
Anpassungsziel 6: Vorsorge für Starkregen und Hochwasser	M18	Konzeptioneller Ausbau der blau-grünen Infrastruktur zur Überflutungsvorsorge
	M19	Umsetzung des Starkregen- und Hochwasservorsorgekonzepts

6.4 MAßNAHMENSTECKBRIEFE

Die einzelnen Schlüsselmaßnahmen werden gemäß den Vorgaben des Fördermittelgebers in Form von Steckbriefen ausführlich beschrieben. Diese sind aufgrund der Übersichtlichkeit und der Vergleichbarkeit nach demselben Schema aufgebaut (Abbildung 68).

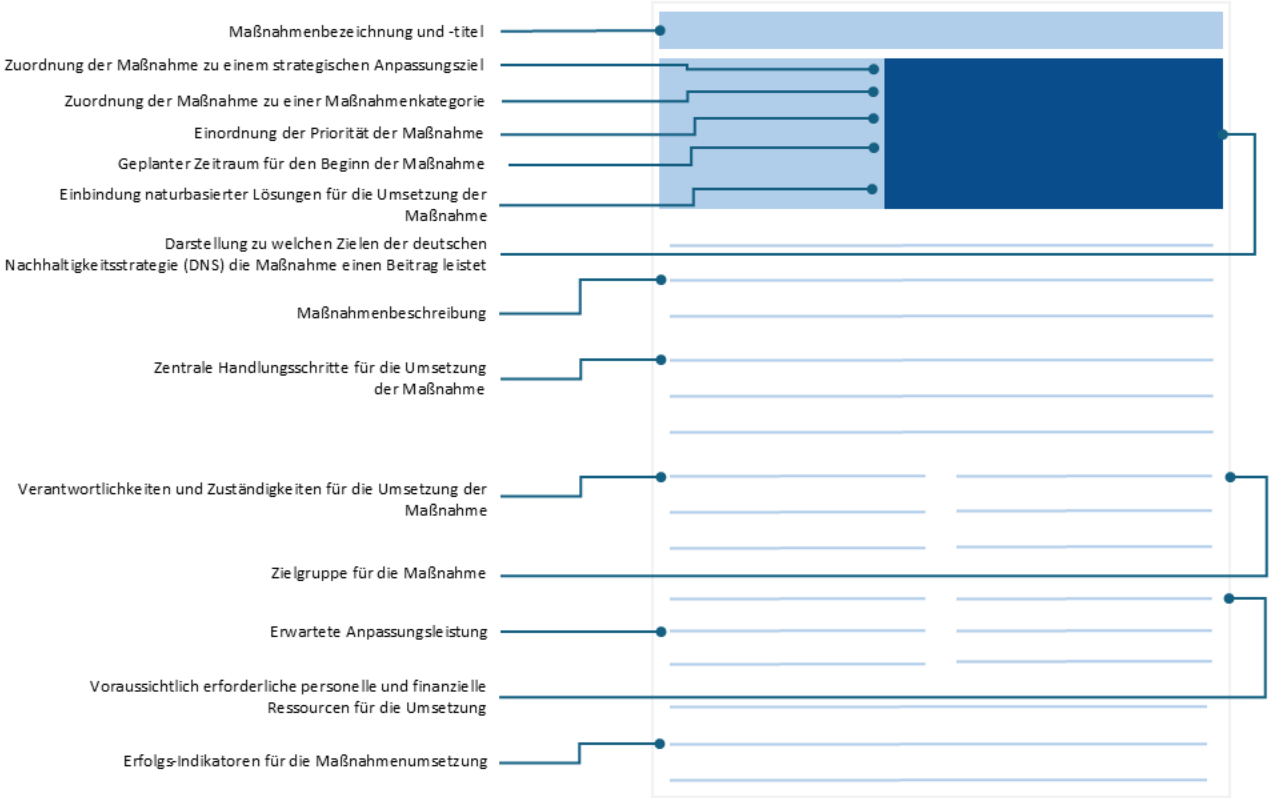


Abbildung 68: Schematischer Aufbau der Maßnahmensteckbriefe (GEO-NET)

M1 Verstetigung der Öffentlichkeitsarbeit und Sensibilisierung zur Klimaanpassung

Ziel 1: Beraten, Informieren, Fördern, Kooperieren

Kategorie: Prozesse und Instrumente

Priorität: gering mittel hoch

Nachhaltigkeitsziele:

Zeithorizont: kurzfristig mittelfristig langfristig

Naturbasierte Lösungen:

Beschreibung der Maßnahme

Die Folgen des Klimawandels bringen neue Herausforderungen für die menschliche Gesundheit mit sich. Um die Ludwigshafener Bevölkerung weiterhin über aktuelle Gefahren und angepasste Verhaltensweisen zu informieren, sollen Maßnahmen zur Sensibilisierung und Information der Bevölkerung über gesundheitsgefährdende (invasive) Arten (z.B. Wanzen, Tigermücken, Zecken, Ambrosia) und angepasstes Verhalten während Hitzeperioden weiter vorangetrieben werden. Möglich ist dies z.B. durch Verteilung von Informationsmaterialien, die Beratung in öffentlichen Einrichtungen, sowie das Aufzeigen genereller Handlungsoptionen (z.B. Melden und Entfernen von Ambrosia).

Auch sollen in Kooperation mit der VHS-Veranstaltungsreihen wie „Grün statt Grau“ weitergeführt und das Angebot erweitert werden. Weitere Formate wie regelmäßige Presse-/Bürger- und Politikinformation zu Klimaanpassungsprojekten, Stadtrundgänge zum Thema „Hitze“ oder Starkregen Vorsorgemaßnahmen in Kooperation mit VZ RLP, Informationsveranstaltungen und online-Dialoge (lu-diskutiert) Starkregen und Hochwasser – Eigenvorsorge, sowie Infoveranstaltung für Unternehmen und Gewerbebetriebe sollen regelmäßig und prozessbegleitend durchgeführt werden und stattfinden. Um in der Bevölkerung möglichst breit gefächert zu informieren, sollen entsprechende Informationen und Kampagnen auch über Social Media und Podcasts verbreitet werden (siehe städtischer Youtubekanal).

Handlungsschritte

- Etablierung Klimaanpassungsmanagement
- Perspektivisch: Einrichtung einer neuen Stelle für die Klimaberatung/ Klimakommunikation
- Weiterführung und Intensivierung bisheriger Aktivitäten
- Kooperationen intensivieren und neue knüpfen

Federführung

Bereich Umwelt & Klima, Klimaanpassungsmanagement

Beteiligte Akteure

- Bereich Beteiligung und Öffentlichkeitsarbeit,
- Umwelt- und Abfallberatung,
- betroffene Bereiche mit Thematik

Zielgruppen

- Stadtverwaltung,
- Bürgerschaft,
- lokale Institutionen,
- Bildungseinrichtungen

Erwartete Anpassungsleistung

Besserer Schutz von betroffenen Gruppen durch Wissen zum Handeln > z.B. Eindämmung von Hitzebelastungen durch entsprechendes Handeln, Motivation zur Eigenvorsorge und dadurch gesamtgesellschaftliche Kostenreduzierung (z.B. Gesundheits-, Starkregenvorsorge)

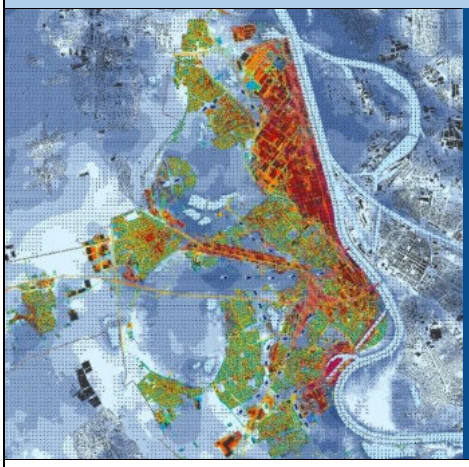
Erwartete Kosten und Finanzierungsmöglichkeiten

- Personalkosten (Klimaanpassungsmanagement),
- Kosten für Informationsmaterial & Veranstaltungen,
- in allgemeines Budget einzubinden,
- projektbezogen über Fördergelder möglich

Erfolgs-Indikatoren

- Anzahl durchgeführter Veranstaltungen und veröffentlichter Artikel
- Vorliegendes Informationsmaterial

M2 Zentrale Bereitstellung von Daten zur Klimaanpassung



Ziel 1: Beraten, Informieren, Fördern, Kooperieren

Kategorie: Prozesse und Instrumente

Priorität: gering mittel hoch

Nachhaltigkeitsziele:

Zeithorizont: kurzfristig mittelfristig langfristig

Naturbasierte Lösungen:

Beschreibung der Maßnahme

Um die Ergebnisse der Stadtklimaanalyse aktiv in zukünftige Prozesse und Planungen einzubeziehen, sollen diese durch die Stadt Ludwigshafen zur Verfügung gestellt werden. Ziel ist die Bereitstellung von Daten zur regionalen Klimaentwicklung für alle beteiligten Akteure aus Klimaanalyse und Anpassungskonzept. Damit diese schneller zu finden sind und aktiv genutzt werden können, werden die Stadtklimaanalysedaten im städtischen Geoinformationssystem (GIS) „über einen Klick“ abrufbar bereitgestellt.

Auch die Bevölkerung soll von den Ergebnissen profitieren können. Dazu werden die Daten über die Homepage der Stadt Ludwigshafen zur Verfügung gestellt. Die Spezialkarte Industrie und Gewerbe wird den Unternehmen zur Integration in betriebseigene Anpassungsstrategien und das Klimaanpassungsmanagement zur Verfügung gestellt. Hiermit können die Ergebnisse der Stadtklimaanalyse auf betriebliche Fragestellungen übertragen werden.

Das zu etablierende Klimaanpassungsmanagement soll dabei die bereichsübergreifende Funktion als „Datenvermittler“ einnehmen.

Handlungsschritte

- Überführung der Ergebnisse in das städtische GIS-System
- Aufbereitung und kontinuierliche Bereitstellung der Grundlagendaten über die Homepage
- Etablierung eines Klimaanpassungsmanagements als bereichsübergreifender Datenvermittler

Federführung

Bereich Umwelt & Klima

Beteiligte Akteure

- Stadtsteuerung,
- Stadtentwicklung,
- Stadtplanung,
- IT,
- Geoinformation,
- Statistik,
- Bereich Beteiligung und Öffentlichkeitsarbeit

Zielgruppen

- Gesamte Verwaltung,
- Bevölkerung
- Industrie und Gewerbe

Erwartete Anpassungsleistung

Nutzung von relevanten Daten und dadurch klimaangepasste Planung und Entwicklung in allen städtischen Bereichen sowie Unternehmen möglich

Erwartete Kosten und Finanzierungsmöglichkeiten

- Finanzielle Ressourcen für die Umsetzung der Maßnahme
- Fördergelder

Erfolgsindikatoren

- Daten auf der städtischen Homepage zur Verfügung gestellt
- Daten sind verwaltungsintern im städtischen GIS abrufbar

M3 Fortschreibung und Verstetigung des Förderprogramms zur Entsiegelung und Begrünung privater Flächen

Ziel 1: Beraten, Informieren, Fördern, Kooperieren

Kategorie: Kommunikation und Austausch

Priorität: gering mittel hoch

Nachhaltigkeitsziele:

Zeithorizont: kurzfristig mittelfristig langfristig

Naturbasierte Lösungen:

Beschreibung der Maßnahme

Mit zunehmender Versiegelung steigt die nächtliche Überwärmung im Stadtgebiet und das Risiko für lokal erhöhten Abfluss in Folge von Starkregenereignissen. Trotz Klimakrise und Artensterben verschwinden immer mehr private Grünflächen unter Beton, Steingabionen und Kies.

Mit dem bereits laufenden Förderprogramm zur Entsiegelung privater Flächen Bürger*innen wurde ein Anreiz geschaffen, bestehende Schottergärten zu entsiegeln. Auch Dach- und Fassadenbegrünung kann über dieses Programm gefördert werden: https://ludwigshafen.de/standort-mit-zukunft/klima/foerderprogramme

Da das Förderprogramm 2026 ausläuft, möchte die Stadt Ludwigshafen die Ergebnisse der Maßnahme evaluieren und die Bedingungen in der Fortführung entsprechend anpassen.

Zudem soll geprüft werden, ob die Förderung künftig nicht nur für Privatpersonen, sondern z.B. auf private, aber betriebliche oder industrielle Flächen ausgeweitet wird.

Handlungsschritte

- Evaluierung der Ergebnisse der aktuellen Förderperiode
- Beantragung weitergehender Fördermittel/ zusätzlicher Finanzierung
- Weitere Bewerbung des Förderprogramms in der Öffentlichkeit (z.B. auch bei VHS-Kursen zu „Grün statt Grau“)
- Beratung zur Förderung durch die Abteilung Naturschutz im Bereich Umwelt & Klima
- Grüngestaltungssatzung als weitere Maßnahme

Federführung

Bereich Umwelt & Klima (Abteilung Naturschutz und Landschaftsplanung)

Beteiligte Akteure

- Bürger*innen,
- Beteiligung und Öffentlichkeitsarbeit

Zielgruppen

- Bürger*innen,
- Anwohner*innen,
- Stadtgesellschaft

Erwartete Anpassungsleistung

- Deutliche Verbesserung der Aufenthaltsqualität an betroffenen Standorten,
- Sicherstellung der nächtlichen Abkühlung und Hitzeschutz für vulnerable Gruppen und Anwohner in Hitzeperioden

Erwartete Kosten und Finanzierungsmöglichkeiten

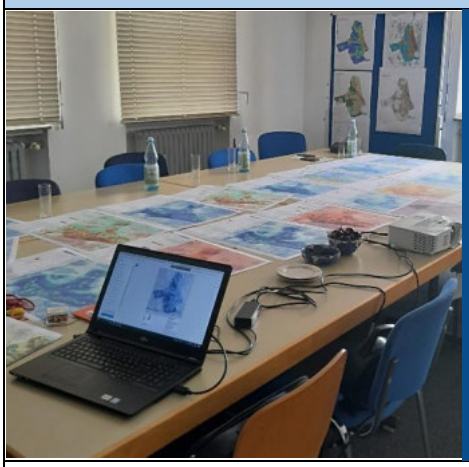
Ca. 29.000 EUR über KIPKI bis Ende 2026

zur Fortführung Bedarf an weiteren Fördermitteln/Fördergeldern

Erfolgsindikatoren

- Etabliertes Förderprogramm
- Anzahl Förderanträge
- Feedback/Umfrage unter Teilnehmern

M4 Etablierung und Verstetigung des Formats Runder Tisch "Klimaanpassung Industrie und Gewerbe" als Netzwerk für den Klimaanpassungsdialog mit Unternehmen



Ziel 1: Beraten, Informieren, Fördern, Kooperieren

Kategorie: Kommunikation und Austausch

Priorität: gering mittel hoch

Nachhaltigkeitsziele:

Zeithorizont: kurzfristig mittelfristig langfristig

Naturbasierte Lösungen:

Beschreibung der Maßnahme

Aufgrund der großen Bedeutung von Industrie und Gewerbe für die Stadt Ludwigshafen möchte diese mit den ansässigen Unternehmen in den Austausch treten und den Klimaanpassungsdialog vertiefen. Hierzu soll das Netzwerk „Klimaanpassung Industrie & Gewerbe“ zur Bündelung und Austausch von Informationen und Erfahrungen für eine optimierte Klimafolgenanpassung geschaffen werden. Dieses soll im Rahmen des Runden Tischs „Klimaanpassung Industrie und Gewerbe“ zusammentreffen.

Dabei können bereits bestehende Formate wie zum Beispiel die Informationsveranstaltung Hochwasser- und Starkregenvorsorgekonzept, Austauschnetzwerke der Unternehmen und der Runde Tisch „Hitzebelastung“ Industrie und Gewerbe als Anknüpfungspunkte für den Runden Tisch „Klimaanpassung Industrie und Gewerbe“ als dienen.

Thematisch soll die Beratung zu Hochwasser und Starkregen, sowie Hitzewellen basierend auch auf den erarbeitenden Konzepten im Vordergrund stehen. Die Spezialkarte Industrie wird den Unternehmen zur Integration in betriebseigene Anpassungsstrategien und das Klimaanpassungsmanagement zur Verfügung gestellt. Hiermit können die Ergebnisse der Stadtklimaanalyse auf betriebliche Fragestellungen übertragen werden.

Auch ist zu prüfen, ob eine gemeinsame Bespielung des Formats durch die Klimaanpassung und die Klimaschutzstabsstelle möglich beziehungsweise zielführend ist.

Handlungsschritte

- Etablierung eines Klimaanpassungsmanagements
- Anknüpfung an den „Runden Tisch Hitzebelastung für Gewerbe &Industrie“ und an bestehende Austauschformate der Unternehmen und Verbände
- Etablierung Runder Tisch „Klimaanpassung Industrie und Gewerbe“ als regelmäßig stattfindendes Austauschformat

Federführung

Bereich Umwelt & Klima,

Beteiligte Akteure

- IHK mit W.E.G,
- VCI

Zielgruppen

Unternehmen

Erwartete Anpassungsleistung

- Sicherung als Unternehmensstandort,
- Bewusstseinsbildung für Eigenvorsorge

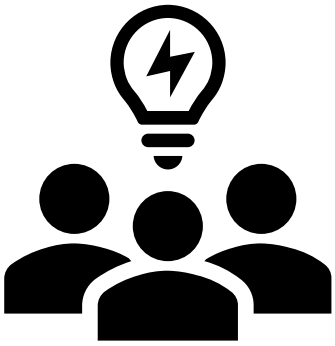
Erwartete Kosten und Finanzierungsmöglichkeiten

- Personalkosten Klimaanpassungsmanagement als koordinierende Stelle,
- Fördergelder

Erfolgsindikatoren

- regelmäßiges Stattfinden der Veranstaltung (mit wechselnden Themenschwerpunkten)
- Teilnehmende Unternehmen

M5 Etablierung eines Klimaanpassungsmanagements sowie einer Arbeitsgruppe Klimaanpassung



Ziel 2: Etablierung und Verstetigung der Klimaanpassung in der städtischen Verwaltung

Kategorie: Prozesse und Instrumente

Priorität: gering mittel hoch

Nachhaltigkeitsziele:

Zeithorizont: kurzfristig mittelfristig langfristig

Naturbasierte Lösungen:

Beschreibung der Maßnahme

Durch das Klimaanpassungsmanagement soll eine dauerhafte Koordinationsstelle für die Klimaanpassung innerhalb der Verwaltung geschaffen werden, insbesondere um notwendige interdisziplinäre und bereichsübergreifende Abläufe und Organisation der Thematik zu integrieren und voranzutreiben.

Da die Querschnittsaufgabe Klimafolgenanpassung eine Vielzahl von Handlungsfeldern berührt und eine intensive Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Fachbereichen und Eigenbetrieben erfordert, soll die Umsetzung der Maßnahmen aus dem Klimafolgenanpassungskonzept zusätzlich durch die dezernatsübergreifende Fortführung der bereits etablierten Strategiegruppe begleitet werden. Diese unterstützt die Einbeziehung von Klimafolgenanpassungsmaßnahmen in Vorhaben und Planungsprozesse der nachhaltigen Stadtentwicklung. Sie dient gleichzeitig zur Identifikation von Synergien und Zielkonflikten zwischen den Handlungsfeldern und zur Abstimmung über die Nutzung von Fördermöglichkeiten. Der regelmäßige Informationsaustausch der Strategiegruppe (viertel-/halbjährlich) zu Klimabelangen und aktuellen Projekten der Stadtentwicklung zielt darauf ab:

- Fachliche Bezüge im Hinblick auf Klimafolgenanpassung erkennen
- Aktuelle Erkenntnisse, neue Datengrundlagen bekannt machen
- Positive und negative Auswirkungen sowie übergreifende Lösungen identifizieren
- Anforderungen aus Klimafolgenanpassung in Planungsprozessen transparent und frühzeitig berücksichtigen

Handlungsschritte

- Etablierung eines Klimaanpassungsmanagements
- Fortführung der bereits angestoßenen Vernetzung durch Kontinuität als unbefristete Beschäftigung
- Gründung einer Arbeitsgruppe Klimaanpassung
- Übergreifende kontinuierliche Integration/Überführung von bisherigen thematischen oder temporären Arbeitsgruppen (bspw. Hochwasser- Starkregenvorsorge)
- Bereichsübergreifende intensive Zusammenarbeit und Austausch, insbesondere zwischen Stadtplanung sowie Bereich Umwelt & Klima
- Steakholder in den verschiedenen Dezernaten und Bereichen einbinden hierzu gehören Stadtplanung und Stadtentwicklung, Gesundheitsamt, Sozialdezernat, Jugenddezernat…

Federführung

Bereich Umwelt & Klima

Beteiligte Akteure

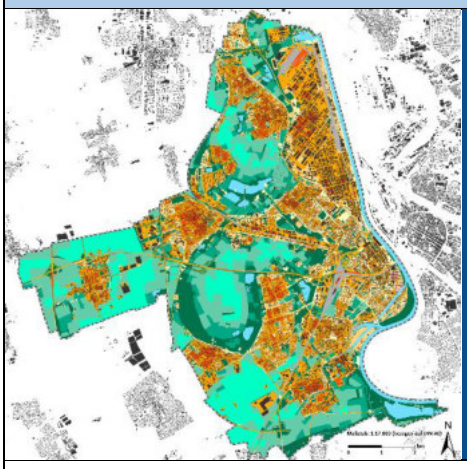
- von den Klimafolgen thematisch betroffene Dienststellen (Fachbereiche, Eigenbetriebe),
- städt. Gesellschaften

Zielgruppen

- Gesamte Stadtverwaltung und Bürgerschaft sowie Betriebe und sonstige Institutionen in der Stadt
- Verwaltung und betroffene Dienststellen

Erwartete Anpassungsleistung	Erwartete Kosten und Finanzierungsmöglichkeiten
➢ Synergien + Konflikte können über Klimafolgen-anpassung hinaus frühzeitig erkannt werden ➢ Förderung einer effizienten Bearbeitung durch Austausch aktueller Erkenntnisse ➢ Beitrag zu Verringerung bestimmter Betroffen-heiten/Risiken durch den Klimawandel	➢ Klimaanpassungsmanagement: Personalkosten (Ggf. zunächst als befristete Stelle als Anschlussvorhaben des Förderprojektes „Fit for (climate) future“/ Klimaanpassungskonzept) ➢ Notwendigkeit eines dauerhaften Kümmerers (unbefristete Stelle) zur Klimaanpassung ➢ ARGE: Personalkosten für teilnehmende Dienststellen / städt. Gesellschaften, ermöglicht übergreifenden Austausch zu Förder-möglichkeiten
Erfolgsindikatoren	
➢ Vorliegendes Organigramm für die strukturierte und behördenübergreifende Klimaanpassung ➢ Anzahl durchgeführter Sitzungen der Arbeitsgruppe Klimaanpassung ➢ Eingestelltes Klimaanpassungsmanagement	

M6 Integration der Klimaanpassung in die Fortschreibung des Flächennutzungsplans



Ziel 2: Etablierung und Verstetigung der Klimaanpassung in der städtischen Verwaltung

Kategorie: Prozesse und Instrumente

Priorität: gering mittel hoch

Nachhaltigkeitsziele:

Zeithorizont: kurzfristig mittelfristig langfristig

Naturbasierte Lösungen:

Beschreibung der Maßnahme

Um die Klimafolgenanpassung nachhaltig in die baulichen Entwicklungsprozesse in Ludwigshafen einzubinden, sollen bei der derzeitigen (und zukünftigen) Überarbeitung und Fortschreibung der kommunalen Flächennutzungsplanung, sowie dem Landschaftsplan die Ergebnisse und Empfehlungen der Stadtklimaanalyse/des Klimagutachtens z.B. zum Erhalt und zur Verbesserung der Kaltluftentstehung, des stadtteilnahen Luftmassenaustauschs, Erhalt von Kaltluftleitbahnen, etc. (siehe Klimaanalyse im Projekt „Fit for (climate) future“) aktiv umgesetzt werden.

In diesem Sinne sollen die Handlungsempfehlungen aus der Klimaanalyse in der aktuellen Stadtentwicklung (FNP), Planung von Neubauten und insbesondere des neuen Stadt-Quartiers beachtet werden, um einen Erhalt oder Wiederherstellung der Lebensqualität in stark überwärmten Gebieten zu gewährleisten.

Unterstützend wirkt hier auch die vom Stadtrat verabschiedete „Leitlinie zu Klimaschutz und Klimaanpassung in der räumlichen Planung in Ludwigshafen“ (https://ludwigshafen.de/verwaltung-politik/stadtverwaltung-rathaus/verwaltung/4-12-bereich-stadtplanung).

Auch sollen Klimafolgenanpassungsmaßnahmen anhand der Planungshinweiskarte und den textlichen Hinweisen als Ergebnis des aktuellen Projektes priorisiert werden.

Handlungsschritte

- Fortführung des regelmäßigen Austauschs/ Jour Fixe zum FNP
- Intensive Begleitung des FNP-Verfahrens
- Integration und Abwägung der Ergebnisse im Rahmen der Flächennutzungsplanung anhand der im Projekt erstellten Planungshinweiskarte
- Beachtung der Ergebnisse für allen weiteren Vorhaben, insbesondere bei baulichen Entwicklungen.

Federführung

- Bereich Umwelt & Klima,
- Bereich Stadtplanung und Bauen,
- Büro FNP + LP

Beteiligte Akteure

- alle städtischen Bereiche,
- Bauaufsicht,
- Beratung von Bauherren,
- Investoren

Zielgruppen

- Gesamte Stadtgesellschaft (interne und externe Institutionen, Bevölkerung, etc.),
- Planung

Erwartete Anpassungsleistung

Zukunftsorientierte Stadtentwicklung

Erwartete Kosten und Finanzierungsmöglichkeiten

Aufstellung des FNP (derzeit laufendes Verfahren mit entsprechender finanzieller Hinterlegung)

Erfolgsindikatoren

Aktualisierter Flächennutzungsplan liegt vor

M7 Klimaanpassung in der Bauleitplanung

Ziel 2: Etablierung und Verstetigung der Klimaanpassung in der städtischen Verwaltung

Kategorie: Prozesse und Instrumente

Priorität: gering mittel hoch

Nachhaltigkeitsziele:

Zeithorizont: kurzfristig mittelfristig langfristig

Naturbasierte Lösungen:

Beschreibung der Maßnahme

Die Berücksichtigung von Belangen der Klimaanpassung der vorbereitenden und verbindlichen Bauleitplanung ist für eine langfristige klimagerechte Entwicklung der Stadt Ludwigshafen unverzichtbar, da hierdurch eine stringente Bindung an die Prinzipien der Klimaanpassung forciert werden kann. Konkrete Ziele der klimagerechten Bauleitplanung sind neben dem planerischen Schutz klimatisch wirksamer Freiräume zum Beispiel auch die vorsorgende Reduktion von Versiegelung, die Erhöhung des Grünvolumens, die Förderung der Gebäudebegrünung.

Das BauGB bietet ein breites Spektrum an Möglichkeiten, Maßnahmen zum Umgang mit dem Klimawandel über Planzeichen oder textlich im Bebauungsplan festzusetzen. Ziel ist es, dass die Ergebnisse der Stadtklimaanalyse künftig noch stärker in die Abwägungsprozesse eingebunden werden. Darüber hinaus sollen die damit verbundenen Schlüsselmaßnahmen des Klimaanpassungskonzeptes in die Stadtentwicklung, Planung und Bauen eingebunden werden (B-Pläne, Grünsatzung, Leitlinien zu Klimaschutz und Klimaanpassung in der räumlichen Planung der Stadt Ludwigshafen: https://ludwigshafen.de/verwaltung-politik/stadtverwaltung-rathaus/verwaltung/4-12-bereich-stadtplanung etc.).

Konkret sollen die Belange der Klimafolgenanpassung eingebunden werden
- in die Planung des neuen Stadtquartiers sowie
- aktuelle und künftige Bauvorhaben.

Dies kann erfolgen über Empfehlungen für Gliederung der Baugebiete, Gebäudeanordnung, Begrünungsmaßnahmen, klimaangepasste Farben und Materialen, etc.

Handlungsschritte

- Fortführung und Intensivierung der Zusammenarbeit und Beteiligung des Bereichs Umwelt & Klima bei Bauvorhaben
- Beachtung der Eingabe von Vorgaben zur klimaangepassten Stadtentwicklung
- Umsetzung in B-Plänen und sonstigen rechtlich verbindlichen Instrumenten zur Stadtplanung/-entwicklung
- Neues Stadtquartier als Leuchtturmprojekt für Klimaangepasstes Bauen.

Federführung

Stadtplanung

Beteiligte Akteure

- Bereich Umwelt & Klima sowie alle betroffenen Bereiche,
- Bauaufsicht,
- öffentliche und private Bauvorhabenträger, etc.

Zielgruppen

- Bauvorhabenträger,
- Bauherren (privat und öffentlich),
- Bevölkerung

Erwartete Anpassungsleistung

Klimaangepasste Stadtentwicklung mit Schaffung von angenehmen Aufenthaltsräumen auch bei Hitze

Erwartete Kosten und Finanzierungsmöglichkeiten

Nicht zu beziffern

Erfolgsindikatoren

- Anzahl an B-Plänen mit erfolgter Integration von Klimaanpassungsmaßnahmen
- Vorliegende Dokumentation zum Ablauf der Einbindung von Klimaanpassungsmaßnahmen in Bauprojekten

M8 Erarbeitung eines Hitzeaktionsplans

Ziel 3: Schutz vulnerabler Bevölkerungsgruppen vor den Folgen des Klimawandels

Kategorie: Prozesse und Instrumente

Priorität: gering mittel hoch

Nachhaltigkeitsziele:

Zeithorizont: kurzfristig mittelfristig langfristig

Naturbasierte Lösungen:

Beschreibung der Maßnahme

Die Zunahme Heißer Tage und Tropennächte sorgt für eine zunehmende thermische Belastung der Ludwigshafener Bevölkerung. Um die Gesundheit der Bevölkerung zu schützen, bedarf es einer umfassenden, interdisziplinären und sektorenübergreifenden Planung. Ein Hitzeaktionsplan stellt hierfür ein bewährtes Konzept für die Organisation, Koordination und Umsetzung gezielter Maßnahmen dar.

Die zentralen Elemente des Hitzeaktionsplans umfassen die koordinierte Zusammenarbeit zwischen der öffentlichen Verwaltung, dem Gesundheitswesen und der Bevölkerung. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Kommunikation, insbesondere durch Beratungsangebote zur Bewusstseinsbildung und die Etablierung von Schutz- und Warnsystemen für vulnerable Gruppen wie ältere Menschen, Menschen mit Vorerkrankungen und Kleinkinder, sowie abgestimmter Alarm- und Einsatzpläne für hitzesensible soziale Einrichtungen mit vulnerablen Gruppen (Kindergärten, Altenheime, Krankenhäuser, Spielplätze, etc.).

Handlungsschritte

- Beantragung von Fördermitteln
- Betreuung durch festen Ansprechpartner/Koordinator nötig
- Schaffung von Arbeitsgruppen/Netzwerken

Federführung

Bereich Soziales in Kooperation mit Katastrophenschutz mit Unterstützung Umwelt & Klima

Beteiligte Akteure

- Gesundheitsamt,
- Einrichtungen für vulnerable Gruppen

Zielgruppen

- vulnerable Gruppen,
- Bevölkerung,
- Stadtgesellschaft

Erwartete Anpassungsleistung

- Schutz vulnerabler Gruppen,
- Schutz und Erhalt der Lebensqualität als Wohnort und Lebensmittelpunkt Ludwigshafen bei zukünftigen Hitzeperioden

Erwartete Kosten und Finanzierungsmöglichkeiten

Ggf. Förderung durch BMUV als Anschlussvorhaben des Klimaanpassungskonzepts möglich (dafür aber über normale Bedingungen hinausgehendes Projekt notwendig)

Erfolgsindikatoren

abgeschlossener Hitzeaktionsplan

M9 Bereitstellung von kostenlosem Trinkwasser im öffentlichen Raum

Ziel 3: Schutz vulnerabler Bevölkerungsgruppen vor den Folgen des Klimawandels

Kategorie: Pilotprojekte

Priorität: gering mittel hoch

Nachhaltigkeitsziele:

Zeithorizont: kurzfristig mittelfristig langfristig

Naturbasierte Lösungen:

Beschreibung der Maßnahme

Angesichts der steigenden Temperaturen und der damit verbundenen Gefahr von Dehydrierung und Hitzebelastung der Bevölkerung wird es zunehmend wichtiger im öffentlichen Raum ausreichend Trinkwasser bereitzustellen. Besonders gefährdet sind ältere Menschen, Kinder, Personen mit Vorerkrankungen sowie Menschen, die sich viel im Freien aufhalten. Das Hauptziel ist es, den Bürgerinnen und Bürgern, insbesondere während extremer Hitzewellen, einen zuverlässigen Zugang zu kostenlosem Trinkwasser zu ermöglichen, um gesundheitliche Risiken zu minimieren.

Zusätzlich wird die Implementierung einer Refill-Kampagne geprüft. Dabei stellen lokale Unternehmen und Geschäfte kostenlos Trinkwasser für Passanten bereit, um den Zugang zu Trinkwasser weiter zu verbessern und die Bevölkerung während Hitzewellen zu unterstützen. Innerhalb des Förderprogramms KIPKI ist in mehreren Projekten/Standorten die Installation von Trinkwasserbrunnen vorgesehen: Spielplatz Welserstraße (Hemshof), Theaterplatz, Hans-Klüber-Platz (Hackmuseums), Karl-Kornmann-Platz (vor Kulturzentrum „Das Haus“).

Mithilfe dieser Maßnahmen soll das Trinkbrunnennetz weiter ausgebaut werden.

Handlungsschritte

- Identifikation von Hitze-Hotspots im Stadtraum (über Stadtklimaanalyse)
- Analyse stark frequentierter Orte und der Installationsmöglichkeiten von Trinkwasserbrunnen
- Einbindung von privaten Partnerunternehmen in eine Refill-Kampagne (Untersuchung der VZ Rheinland-Pfalz)
- Entwicklung eines Planes zur Wartung und Instandhaltung der Trinkwasserbrunnen
- Installation von Trinkwasserbrunnen an ausgewählten Orten (bereits über KIPKI-Fördergelder abgedeckt)

Federführung

Umwelt & Klima (u.a. zu installierendes Klimaanpassungsmanagement)

Beteiligte Akteure

- Städtische Betriebe (Stadtentwässerung, TWL),
- Private Partnerunternehmen

Zielgruppen

- Vulnerable Bevölkerung (Senioren, Vorerkrankte, Kinder)
- Menschen, die sich an heißen Tagen im Freien aufhalten müssen (auch indirekt Vögel und Haustiere)

Erwartete Anpassungsleistung

Verringerung der Hitzebelastung vulnerabler Gruppen

Erwartete Kosten und Finanzierungsmöglichkeiten

- Je Trinkwasserbrunnen sind inkl. Anschluss und Inbetriebnahme 15.000 Euro zu kalkulieren.

Erfolgsindikatoren

- Anzahl bereitgestellter Brunnen
- Stichprobenartiges Feedback von Nutzern und Betreibern

M10 Schaffung eines Förderprogramms zur Verschattung für KITAS, Schulhöfe und Spielplätze

Ziel 3: Schutz vulnerabler Bevölkerungsgruppen vor den Folgen des Klimawandels

Kategorie: Pilotprojekte

Priorität: gering mittel hoch

Nachhaltigkeitsziele:

Zeithorizont: kurzfristig mittelfristig langfristig

Naturbasierte Lösungen:

Beschreibung der Maßnahme

Die zunehmende thermische Belastung ist gerade für vulnerable Bevölkerungsgruppen wie Kinder eine große Herausforderung. Aus diesem Grund hat die Stadt Ludwigshafen bereits ein Programm zur Verschattung für KITAs auf den Weg gebracht. Um die Maßnahme zu verstetigen und entsprechende Mittel zur Verfügung zu haben, möchte die Stadt nun ein eigenes Förderprogramm aufsetzen. Dieses soll gezielt die Verschattung der Außenbereiche der KITAs, sowie öffentliche Schulhöfe und Spielplätze durch technische Maßnahmen wie Sonnensegel oder entsprechende Bepflanzung ermöglichen.

Neben der Einrichtung von Sonnensegeln soll auch die Bepflanzungen mit schattenspendenden klimaresilienten und biodiversitätsfördernden Pflanzungen/Bäumen einen positiven Beitrag zum Klimakomfort der jungen Bevölkerungsgruppen leisten.

Handlungsschritte

- Umsetzung/Planung von Maßnahmen auf Grundlage der Stadtklimaanalyse
- Aufsetzen eines Förderprogramms für Verschattung von öffentlichen Schulhöfen, Kitas und Spielplätzen mit Sonnensegeln

Federführung

Bereich Umwelt & Klima (Grünconsulting, Freiflächenentwicklung)

Beteiligte Akteure

- Schulen,
- Kitas,
- ggf. weitere Einrichtungen (auch für Ältere),
- zugehörige Bauverwaltungen

Zielgruppen

- Bevölkerung (insbesondere vulnerable Gruppen),
- Schulen,
- Kitas,
- Spielplätze

Erwartete Anpassungsleistung

- Deutliche Verbesserung der Aufenthaltsqualität an betroffenen Standorten,
- Hitzeschutz für vulnerable Gruppen und Anwohner in Hitzeperioden

Erwartete Kosten und Finanzierungsmöglichkeiten

- teilweise Fördergelder über KIPKI, ISEK, ANK, weitere Förderung dringend benötigt,
- Verschattung für Schulen benötigt mindestens 800.000 EUR

Erfolgsindikatoren

- Verschattungsgrad auf Schulhöfen und Spielplätzen
- Anzahl Bäume auf Schulhöfen
- Teilnehmende KITAS, Schulen

M11 Konzept zur Begrünung öffentlicher Verweilflächen und Aufenthaltsbereiche

Ziel 4: Hitzeangepasste Quartiersentwicklung

Kategorie: Prozesse und Instrumente

Priorität: gering mittel hoch

Nachhaltigkeitsziele:

Zeithorizont: kurzfristig mittelfristig langfristig

Naturbasierte Lösungen:

Beschreibung der Maßnahme

Durch die hohe sommerliche Hitzebelastung exponierter öffentlicher Flächen und Plätze sinkt die Aufenthaltsqualität vor Ort signifikant. Um diese Räume als Begegnungsstätten und Rückzugsorte für die Bevölkerung auch während heißer Sommertage zu erhalten, soll ein Konzept entstehen, welches Handlungsempfehlungen für eine klimaangepasste Gestaltung entsprechender Räume beinhaltet. Im Mittelpunkt steht dabei die Abkühlung und die dadurch erreichte Verbesserung der Aufenthaltsqualität.

Der Identifikation von Anwendungsräumen und Handlungserfordernissen liegen die räumlichen Analysen der Stadtklimaanalyse zugrunde. Diese helfen, individuelle Lösungen für die klimatischen Herausforderungen des jeweiligen Raumes zu entwickeln. Als Blaupause dienen unter anderem auch die bereits laufenden Förder-Projekte im Kommunalen Investitionsprogramm Klimaschutz und Innovation Rheinland-Pfalz (KIPKI).

Mittelfristig soll so insbesondere an stark frequentierten Orten, wie z. B. dem Berliner Platz eine Verbesserung der Aufenthaltsbedingungen im Freien an heißen Tagen entstehen.

Der Berliner Platz (Innenstadt) bietet sich hier als Pilotprojekt im Sinne eines Gesamtkonzepts an (insbesondere im Spannungsfeld mit dem dort entstehenden neuen Gebäudekomplex „Palatineo“, dem umgebenden Verkehrsknotenpunkt und weiteren Nutzungen.

Auch der Bereich vor der Eberthalle Friesenheim (stark angefragt vom dortigen Ortsbeirat) könnte als Pilotprojekt zur Begrünung öffentlicher Verweilflächen und Aufenthaltsbereiche umgesetzt werden.

Handlungsschritte

- Identifikation von Potenzialräumen und Handlungserfordernissen
- Erarbeitung von Begrünungs- und Verschattungsmaßnahmen
- Integration der Lessons Learned aus den bereits vorangegangenen Begrünungsprozessen
- Erstellung des Konzepts zur Begrünung öffentlicher Verweilflächen und Aufenthaltsbereiche
- Umsetzung der Maßnahmen in geeigneten Piloträumen wie Berliner Platz oder Vorplatz Eberthalle Friesenheim

Federführung

Bereich Umwelt & Klima (Grünconsulting) und Grünbetrieb

Beteiligte Akteure

- Stadtplanung,
- ansässige Institutionen und Bewohner*innen, etc.

Zielgruppen

- Anwohner*innen,
- Stadtgesellschaft,
- vulnerable Gruppen

Erwartete Anpassungsleistung

Deutliche Aufwertung der Aufenthaltsqualität und Schaffung von benötigten Schattenplätzen in Hitzeperioden

Erwartete Kosten und Finanzierungsmöglichkeiten

Zur Maßnahmenumsetzung werden weitergehende Fördergelder benötigt

Erfolgsindikatoren

- Vorliegendes Konzept zur Begrünung im öffentlichen Raum.
- Laufende/abgeschlossene Projekte.

M12 Konzept zur klimaangepassten Gestaltung von Verkehrsflächen

Ziel 4: Hitzeangepasste Quartiersentwicklung

Kategorie: Prozesse und Instrumente

Priorität: gering mittel hoch

Nachhaltigkeitsziele:

Zeithorizont: kurzfristig mittelfristig langfristig

Naturbasierte Lösungen:

Beschreibung der Maßnahme

Neben den Verweilflächen sind auch die stark versiegelten und exponierten Verkehrsflächen von der hohen Temperaturentwicklung an heißen Sommertagen betroffen. Dadurch sinkt der Verkehrskomfort für die motorisierten Verkehrsteilnehmer, besonders für Fußgänger und Radfahrer. Diese sind einer erhöhten thermischen Belastung ausgesetzt.

Um das stadtklimatische Potenzial dieser Räume auszuschöpfen, soll ein Konzept entstehen, welches Handlungsempfehlungen für eine klimaangepasste Gestaltung von Verkehrsflächen hervorhebt.

Mit Blick auf Synergieeffekte des Starkregenmanagements soll die Umsetzung von Flächenentsiegelung und die Optimierung von Straßenbegleitgrün geprüft und geplant werden. Dabei werden auch weitergehende Möglichkeiten zur Stärkung der urbanen Biodiversität mit beispielsweise Wildblumenstreifen angestrebt. Wichtig ist in diesem Zusammenhang auch die Beachtung der Biotopverbundfunktion, welche durch einen Ausbau des Straßenbegleitgrüns und des Straßenbaumbestands gestärkt werden soll.

Handlungsschritte

- Beachtung der Empfehlungen aus der Klimaanalyse
- Konzept zur Überschattung von Verkehrsflächen und versiegelten Flächen (EU-Verordnung zur Wiederherstellung der Natur, städtische Grünflächen und Baumüberschirmung erhalten und ausweiten)
- Konzept zur Priorisierung für Baumpflanzungen durch Abgleich von Leitungen, freiwerdender Flächen
- Sicherung und Unterschutzstellung von wichtigen Grünzügen
- Planung der Vernetzung von Grünzügen im Rahmen des neuen Stadtquartiers

Federführung

- Bereich Umwelt & Klima,
- Verkehrsplanung,
- Tiefbau

Beteiligte Akteure

- Stadtentwässerung,
- WBL (Grünbetrieb),
- TWL,
- Baugesellschaften,
- Partner im INTERREG-Projekt

Zielgruppen

- Anwohner*innen,
- Stadtgesellschaft,
- vulnerable Gruppen

Erwartete Anpassungsleistung

- Deutliche Verbesserung der Aufenthaltsqualität an betroffenen Standorten,
- Sicherstellung der nächtlichen Abkühlung und Hitzeschutz für vulnerable Gruppen und Anwohner in Hitzeperioden

Erwartete Kosten und Finanzierungsmöglichkeiten

Fördergelder KIPKI, ISEK, INTERREG

Erfolgsindikatoren

- Vorliegendes Konzept zur Begrünung im öffentlichen Raum
- Identifikation von Pilotprojekten

M13 Festlegung von Standards für Baumscheiben im Bereich von Straßen

Ziel 4: Hitzeangepasste Quartiersentwicklung

Kategorie: Prozesse und Instrumente

Priorität: gering mittel hoch

Nachhaltigkeitsziele:

Zeithorizont: kurzfristig mittelfristig langfristig

Naturbasierte Lösungen:

Beschreibung der Maßnahme

Der Straßenraum ist kein idealer Standort für Bäume und stellt für sich schon eine Herausforderung für den Bestand dar. Die Veränderungen der klimatischen Bedingungen wirken zusätzlich negativ auf die Vitalität, Standsicherheit und die Ökosystemdienstleistungen der Grünstruktur. Um die Standortbedingungen zu verbessern und einen Beitrag zur Erhöhung der Lebensdauer des Straßenbaumbestands zu leisten, möchte die Stadt Ludwigshafen Standards festlegen für die im Straßenraum befindlichen Baumscheiben.

Dafür sollen nachhaltige Baumscheibensysteme in Verbindung mit blaugrüner Infrastruktur (Wasserversorgung sicherstellen und Förderung der Schwammstadt) entwickelt, gefördert und langfristig erhalten werden.

Auch soll eine erhöhte Priorität auf Grünerhalt bei Bauvorhaben gelegt werden.

Durch die Mitgliedschaft der Stadt im Netzwerk „Kommunen für biologische Vielfalt“, wird hier ein besonderer Wert auf den Erhalt der urbanen biologischen Vielfalt gelegt.

Handlungsschritte

- Erstellung eines Standards für Baumscheiben von Straßenbäumen
- Pilotmäßige Umsetzung der Standards im Rahmen des Modellprojekts Baumscheiben im Straßenbereich Orangeriestraße und Rosenwörthstraße
- Umsetzung der Standards im gesamten Stadtgebiet, ggf. Standorte zum Monitoring mit Messsensorik ausstatten

Federführung

- Bereich Umwelt & Klima (Grünconsulting, Freiraumplanung, Landschaftsplanung, Naturschutz)
- Verkehrsplanung

Beteiligte Akteure

- Stadtentwässerung,
- WBL (Grünbetrieb),
- TWL

Zielgruppen

- Anwohner*innen,
- Stadtgesellschaft,
- vulnerable Gruppen

Erwartete Anpassungsleistung

Verbesserung der Standortbedingungen und dadurch der Vitalität des Straßenbaumbestands

Erwartete Kosten und Finanzierungsmöglichkeiten

Im Pilot zu testen, in laufende Kosten aufzunehmen

Erfolgsindikatoren

Vorliegender Zielstandard bis 31.12.2026

M14 Leuchtturmprojekte für klimaangepasstes Bauen (Neubau): "Neues Stadtquartier"

Ziel 4: Hitzeangepasste Quartiersentwicklung

Kategorie: Pilotprojekte

Priorität: gering mittel hoch

Nachhaltigkeitsziele:

Zeithorizont: kurzfristig mittelfristig langfristig

Naturbasierte Lösungen:

Beschreibung der Maßnahme

Durch den Rückbau der Hochstraße Nord und des Rathauses stehen große infrastrukturelle Umbauten für das städtische Gebiet „Neues Stadtquartier“ bevor. Dort entstehen Flächenpotenziale, die große Chancen bieten, ein neues Leitbild für das Stadtquartier zu entwickeln.

Hierbei werden Anforderungen an die Neubebauung unter dem Aspekt der Klimaanpassung gestellt. Die Bebauung soll durch die Integration vertikaler und horizontaler Begrünung die Idee der doppelten Innenentwicklung aufgreifen und zur Reduktion thermischer Belastung beitragen. Dabei sind Dach- und Fassadenbegrünungen sowie Versickerungen vor Ort mitzudenken (siehe M18).

Über Teilnahme als Jurymitglied aus dem Bereich Umwelt & Klima konnten bereits Aspekte der Klimaanpassung in den Planungswettbewerb eingegeben werden. Der ausgewählte und weiter zu verfolgende Planungsentwurf mit vernetzten städtischen Grünachsen kann auf der Beteiligungsplattform eingesehen werden: Wettbewerbsverfahren mit Bürgerwerkstatt, Vorstellung der Entwürfe: https://ludwigshafen-diskutiert.de/node/847.

Handlungsschritte

- Integration der Maßnahmenempfehlungen aus Klimaanalyse und Vorgaben zu Umwelt- und Klimabelangen in Planungsphasen
- Kontinuierliche Beteiligung des Bereichs Umwelt & Klima bei weiteren Planungsphasen

Federführung

- Bauherren,
- Vorhabenträger,
- LCE,
- GAG

Beteiligte Akteure

- Stadtplanung,
- Bereich Umwelt & Klima und
- alle beteiligten Akteure

Zielgruppen

- Bevölkerung,
- Stadtgesellschaft,
- Anwohner

Erwartete Anpassungsleistung

Beitrag zu Verringerung bestimmter Betroffenheiten/Risiken durch den Klimawandel

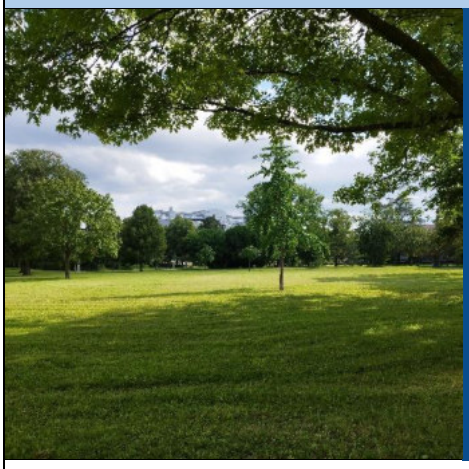
Erwartete Kosten und Finanzierungsmöglichkeiten

Nicht bezifferbar

Erfolgsindikatoren

Anzahl geplanter und umgesetzter Projekte

M15 Optimierung bestehender öffentlicher Grünflächen



Ziel 5: Stadtgrün und Naturräume erhalten und klimaangepasst weiterentwickeln

Kategorie: Prozesse und Instrumente

Priorität: gering mittel hoch

Nachhaltigkeitsziele:

Zeithorizont: kurzfristig mittelfristig langfristig

Naturbasierte Lösungen:

Beschreibung der Maßnahme

Städtische Grünflächen sind wichtige Rückzugsorte für die Bevölkerung an Heißen Tagen und tragen nachts zur Minderung der lokalen Überwärmung bei. Durch den Klimawandel, heißere Sommer, länger anhaltende Trockenperioden und den zunehmenden Nutzungsdruck, stehen diese Flächen vor einer wachsenden Herausforderung. Um diese Flächen in ihren Ökosystemdienstleistungen und ihrer Aufenthaltsqualität zu erhalten, sollen sie durch Maßnahmen wie beispielsweise die Aufstockung und Pflanzung klimaresistenterer Grünstruktur oder ein optimiertes Bewässerungskonzept angepasst werden.

Auch der Ausbau der Grünstruktur in Zusammenspiel mit der Erstellung von Pocketparks/ Tiny Forests (M17), dem Straßenbaumprogramm, den „Ludwigsbäumen “und des Straßenbegleitgrüns (M12) sorgen für eine Verbesserung des Mikroklimas und eine Förderung der urbanen Biodiversität. Zudem optimiert ein hoher Durchgrünungsgrad im Ludwigshafener Stadtgebiet die Habitatvernetzung und schafft neue Lebensräume für die urbane Fauna und Flora.

Um die Ressourcen für die Optimierung der öffentlichen Grünflächen effizient einzusetzen, bietet sich eine Evaluierung der bestehenden Grünflächen an. Dadurch kann der konkrete Handlungsbedarf identifiziert und die Flächen mit Fokus auf die Themen Hitze und Starkregen klimaangepasst umgestaltet werden.

Als Pilotprojekt bietet sich die Erweiterung des Friedensparks im Rahmen der Planung des neuen Stadtquartiers an.

Handlungsschritte

- Identifikation von Handlungsräumen
- Analyse der Ausgangslage
- Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen

Federführung

- Bereich Umwelt & Klima (Grünconsulting)
- Grünbetrieb

Beteiligte Akteure

- Stadtplanung,
- ansässige Institutionen und Bewohner*innen, etc.

Zielgruppen

- Anwohner*innen,
- Stadtgesellschaft,
- vulnerable Gruppen

Erwartete Anpassungsleistung

- Deutliche Verbesserung der Aufenthaltsqualität an betroffenen Standorten,
- Hitzeschutz für vulnerable Gruppen und Anwohner in Hitzeperioden

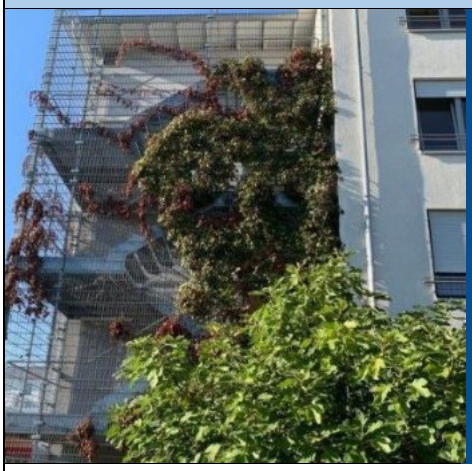
Erwartete Kosten und Finanzierungsmöglichkeiten

- Teilweise KIPKI-Fördergelder,
- notwendige weitere Fördergelder,
- Sponsoren oder Spenden

Erfolgsindikatoren

- Anzahl optimierter Grünflächen
- Anzahl umgesetzter Optimierungsmaßnahmen in städtischen Grünflächen

M16 Erlass einer Grüngestaltungssatzung für Privatflächen



Ziel 5: Stadtgrün und Naturräume erhalten und klimaangepasst weiterentwickeln

Kategorie: Prozesse und Instrumente

Priorität: gering mittel hoch

Nachhaltigkeitsziele:

Zeithorizont: kurzfristig mittelfristig langfristig

Naturbasierte Lösungen:

Beschreibung der Maßnahme

Die Stadt Ludwigshafen hat die Möglichkeit durch die Entwicklung neuer Satzungen die Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen zu fördern und zu fordern, um so beispielsweise die Prinzipien der Hitzevorsorge effektiver zu verfolgen und auch Private für die Umsetzung von Klimafolgenanpassungsmaßnahmen zu binden.

Aus diesem Grund soll eine Grüngestaltungssatzung erlassen werden. Diese soll den Zubau von Grünflächen fördern und die Anlage von Schottergärten verhindern.

Die Satzung verfolgt das Ziel, die Nutzung, Gestaltung und Bepflanzung von Grundstücksfreiflächen und die Begrünung baulicher Anlagen in klimaangepasster Form sicher zu stellen, um gesunde Lebensverhältnisse zu gewährleisten und die natürlichen Lebensgrundlagen zu bewahren.

Die Satzung bezweckt: die Begrünung und Gestaltung der unbebauten Flächen der bebauten Grundstücke und ihrer Einfriedungen, die äußere Gestaltung von baulichen Anlagen durch Fassaden- und Dachbegrünung, die Vermeidung von Stein- und Schottergärten, die Förderung der Verwendung von wasserdurchlässigen Belägen, den Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen durch die dauerhafte Sicherstellung und Förderung der Begrünung von bebauten Grundstücken.

Handlungsschritte

- Erstellung und Erlass einer Grüngestaltungssatzung
- Kontrolle des Vollzugs: Begleitung und Überwachung der Durchführung der Maßnahmen
- Notwendige Kontrollen der Bauaufsicht zur Einhaltung der Satzung

Federführung

Bereich Umwelt & Klima

Beteiligte Akteure

- Stadtplanung,
- Bauaufsicht

Zielgruppen

- Anwohner*innen,
- Stadtgesellschaft,
- vulnerable Gruppen

Erwartete Anpassungsleistung

- Deutliche Verbesserung der Aufenthaltsqualität an betroffenen Standorten,
- Hitzeschutz für vulnerable Gruppen und Anwohner in Hitzeperioden

Erwartete Kosten und Finanzierungsmöglichkeiten

Notwendige Kontrollen zur Durchsetzung (> Personal)

Erfolgsindikatoren

- Vorliegende Satzung
- Verringertes Vorkommen von Schottergärten

M17 Entwicklung von Mikro-/ Pocket-Parks auf kleineren Brachflächen

Ziel 5: Stadtgrün und Naturräume erhalten und klimaangepasst weiterentwickeln

Kategorie: Pilotprojekte

Priorität: gering mittel hoch

Nachhaltigkeitsziele:

Zeithorizont: kurzfristig mittelfristig langfristig

Naturbasierte Lösungen:

Beschreibung der Maßnahme

Städtische Grünflächen sind an heißen Tagen wichtige Rückzugsorte für die Bevölkerung. Der Ausbau beziehungsweise die Ergänzung der vorhandenen Grünstrukturen steigert die Aufenthaltsqualität im Stadtgebiet, verbessert das Mikroklima und fördert die urbane Biodiversität. Zudem optimiert ein hoher Grad an Begrünung im Ludwigshafener Stadtraum die Habitatvernetzung und schafft neue Lebensräume für Flora und Fauna.

Pocket-Parks sind im Vergleich zu großflächigen Grünanlagen kleinräumiger und dadurch niedrigschwelliger umzusetzen. Auch kleine, brachliegende Flächen können hier zur Entwicklung entsprechender Rückzugsorte in Form von Parks oder auch Tiny Forests genutzt werden.

Aus diesem Grund möchte die Stadt Ludwigshafen auf entsprechenden Potenzialflächen im Stadtgebiet kleinräumige Grünstrukturen entwickeln.

Handlungsschritte

- Ermittlung der Flächenpotenziale für Pocket-Parks und Tiny Forests
- Umsetzung/ Etablierung von Pocket-Parks und Tiny Forests auf den entsprechenden Flächen

Federführung

- Bereich Umwelt & Klima (Grünconsulting)
- Grünbetrieb

Beteiligte Akteure

- Stadtplanung,
- ggf. auch in GAG-Wohnanlagen,
- Ortsbeirät*innen /Bürger*innen als Paten

Zielgruppen

- Anwohner*innen,
- Stadtgesellschaft,
- vulnerable Gruppen,
- Ortsbeirät*innen /Bürger*innen als Paten

Erwartete Anpassungsleistung

- Deutliche Verbesserung der Aufenthaltsqualität an betroffenen Standorten,
- Hitzeschutz für vulnerable Gruppen und Anwohner in Hitzeperioden

Erwartete Kosten und Finanzierungsmöglichkeiten

Benötigte Fördergelder für Konzept und zur Umsetzung

Erfolgsindikatoren

Hektarneuschaffung/Anzahl begrünte Flächen

M18 Konzeptioneller Ausbau der blau-grünen Infrastruktur zur Überflutungsvorsorge

Ziel 6: Vorsorge für Starkregen und Hochwasser

Kategorie: Prozesse und Instrumente

Priorität: gering mittel hoch

Nachhaltigkeitsziele:

Zeithorizont: kurzfristig mittelfristig langfristig

Naturbasierte Lösungen:

Beschreibung der Maßnahme

Durch den Klimawandel treten Starkregenereignisse mit zunehmender Frequenz und Intensität auf. Dieser Umstand trifft auf den durch den großflächig hohen Versiegelungsgrad geprägten Stadtraum, in welchem kaum Versickerung stattfindet und das anfallende Wasser, welches nicht über das Kanalnetz abgeführt werden kann, oberflächlich abläuft.

Um den Abfluss zu reduzieren, soll das Niederschlagswasser in der Fläche gehalten werden, wo es versickern oder gespeichert werden kann. Neben dem Rückhalteeffekt kann so auch Wasser für die Bewässerung der Grünstruktur genutzt werden. Neben der Überflutungsvorsorge leistet dies auch einen wertvollen Beitrag zur Hitze- und Trockenheitsvorsorge. Das im Boden oder in Rückhalteelementen (z.B. Zisternen) gespeicherte Wasser steht in Hitzeperioden zur Bewässerung und Verdunstung zur Verfügung (entweder über die Vegetation oder direkt über den Oberboden) und wirkt dadurch kühlend auf den umliegenden Stadtraum.

An der bestehenden Grünfläche der Damaschkestraße soll ein Retentionsraum zur Überflutungsvorsorge eines gefährdeten Bereiches geschaffen werden. Diese Maßnahme wird zu 100 % im Kommunalen Investitionsprogramm Klimaschutz und Innovation (KIPKI) Rheinland-Pfalz gefördert und wird bis Ende 2026 abgeschlossen sein.

Um die Wirkung der Maßnahme in der Damaschkestraße auf den weiteren Stadtraum zu übertragen, sollen Standards zur Regenwasserversickerung und Bewirtschaftung im öffentlichen Raum geschaffen werden.

Handlungsschritte

- Evaluierung/ Lessons Learned aus der Maßnahmenumsetzung in der Damaschkestraße
- Erstellung eines Standards zur Regenwasserversickerung und Bewirtschaftung im öffentlichen Raum
- Entwicklung weiterer Pilotprojekte für die Anwendung der Maßnahmen

Federführung

Bereich Umwelt & Klima (Grünconsulting)

Beteiligte Akteure

- Bauverwaltung,
- WBL (Grünbetrieb),
- Stadtentwässerung

Zielgruppen

- Bewohner*innen + Beschäftigte in betroffenen Gebäuden und Quartieren,
- Bevölkerung

Erwartete Anpassungsleistung

Überflutungsvorsorge in gefährdetem Bereich

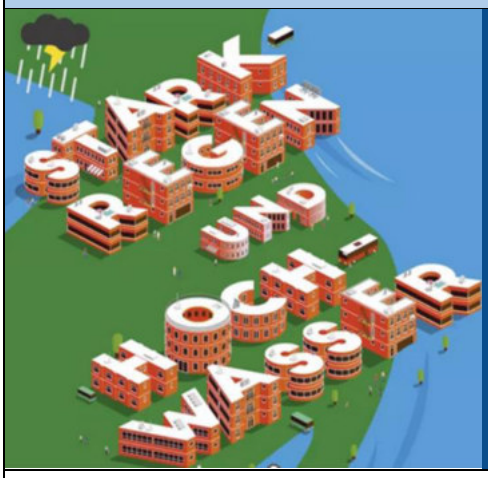
Erwartete Kosten und Finanzierungsmöglichkeiten

Kostenschätzung zur Konzepterstellung

Erfolgsindikatoren

Anzahl umgesetzter Projekte/Maßnahmen

M19 Umsetzung des Starkregen- und Hochwasservorsorgekonzepts



Ziel 6: Vorsorge für Starkregen und Hochwasser

Kategorie: Pilotprojekte

Priorität: gering mittel hoch

Nachhaltigkeitsziele:

Zeithorizont: kurzfristig mittelfristig langfristig

Naturbasierte Lösungen:

Beschreibung der Maßnahme

Seit 2001 wurden viele Maßnahmen des Hochwasserschutzes, der Niederschlagswasserrückhaltung und der Gewässerentwicklung umgesetzt (Gewässerkonzept 2020). Parallel zum Projekt „Fit for Climate Future“ wird das Hochwasser- und Starkregenvorsorgekonzept erarbeitet.

Gefördert durch das Land Rheinland-Pfalz werden hier weitere Maßnahmenbündel zum Hochwasserschutz, Gewässerentwicklung und Starkregenvorsorge entwickelt. Das Konzept wird voraussichtlich 06/25 verabschiedet werden, siehe hierzu das separate Konzept zur Starkregen- und Hochwasservorsorge: https://ludwigshafen-diskutiert.de/group/16

Um den Prozess der Anpassung an Starkregen und Hochwasser in der Stadt Ludwigshafen weiter zu stärken, sollen die in dem Konzept enthaltenen Maßnahmen im Stadtraum umgesetzt werden.

Handlungsschritte

- Verabschiedung des Hochwasser- und Starkregenvorsorgekonzepts
- Umsetzung der Maßnahmen aus dem Konzept zur Hochwasser - und Starkregenvorsorge

Federführung

Bereich Umwelt & Klima

Beteiligte Akteure

- Tiefbau,
- Stadtentwässerung,
- Katastrophenschutz,
- Bürgerschaft

Zielgruppen

- Stadtgesellschaft,
- Anwohner*innen besonders gefährdeter Bereiche von Starkregen oder Hochwasser,
- benachbarte Kommunen (Einzugsbereich für Abfluss Hochwasser und Starkregen)

Erwartete Anpassungsleistung

- Schutz von Anwohnern und betroffenen Betrieben, etc.,
- Katastrophenvorsorge und Vermeidung von hohen Folgekosten durch aktive Klimafolgenanpassung (Eigenvorsorge)

Erwartete Kosten und Finanzierungsmöglichkeiten

Fördergelder und private Investitionen notwendig zur Eigenvorsorge

Erfolgsindikatoren

Anzahl umgesetzter Projekte/Maßnahmen

6.5 LANGFRISTIGE MAßNAHMEN

Neben den Schlüsselmaßnahmen plant die Stadt Ludwigshafen langfristig eine Vielzahl weiterer Maßnahmen, welche bisher aufgrund verminderter Dringlichkeit oder noch zu klärender Rahmenbedingungen nicht als Schlüsselmaßnahmen ausgewählt wurden. Diese Maßnahmen sind in diesem Kapitel als perspektivische Maßnahmen für die Klimaanpassung in Ludwigshafen aufgeführt (Tabelle 28). Die Klimaanpassung in Ludwigshafen ist mit der Umsetzung der Schlüsselmaßnahmen nicht getan, sondern erfordert vielmehr fortwährende Anpassungsaktivitäten an die sich ändernden klimatischen Umstände. Die hier festgehaltenen Maßnahmen können somit beispielsweise im Anschluss an die Umsetzung der Schlüsselmaßnahmen, im Rahmen einer Fortschreibung des Klimaanpassungskonzepts oder bei sich bietenden Gelegenheitsfenstern eingebracht werden.

Tabelle 28: Übersicht der langfristigen Maßnahmen als perspektivische Ausrichtung der Klimaanpassung der Stadt Ludwigshafen

Ziel	Kategorie	Maßnahme
Beraten, Informieren, Fördern, Kooperieren	Analysen	Monitoring der Notaufnahmekontakte KliLu
	Prozesse uns Instrumente	Einrichtung eines Umweltinformationssystems (Fachkataster Klima)
	Prozesse uns Instrument/, Kommunikation, Austausch	Einrichtung eines Umweltinformationszentrums
	Prozesse und Instrumente	Fortschreibung der Stadtklimaanalyse
Schutz vulnerabler Bevölkerungsgruppen vor den Folgen des Klimawandels	Analysen	Identifikation von Handlungs- und Potenzialräumen für kühle Orte (Teil des HAP)
	Prozesse und Instrumente	Sicherung und Schaffung öffentlich zugänglicher Räumlichkeiten zur Abkühlung bei Hitze (Kühle Orte)
	Pilotprojekte	Einsatz von Zerstäubersystemen zur Kühlung während Hitzeperioden in stark frequentierten Fußgängerbereichen (Evtl. Förderung über Kooperationsprojekt mit Uni KL für ausgewählte Plätz)
Hitzeangepasste Quartiersentwicklung (Stadtplanung)	Analysen	Klimamessnetz ausweiten (mit Metropolregion und Mannheim)
	Prozesse und Instrumente	Erstellung eines Konzeptes zur Überschattung von Verkehrsflächen und versiegelten Flächen (EU-Richtlinie zur Verschattung von Flächen)
	Prozesse und Instrumente	Schaffung eines Inklusionsbetriebs Grünpflege zur Bewältigung von mehr Grünpflege und Schaffung von Arbeitsplätzen für Menschen mit Behinderung
	Pilotprojekte	Pilotprojekt Klimapaten (in Anlehnung an Umweltpaten) (mögliche Multiplikatoren HAP)
	Pilotprojekte	Leuchtturmprojekte für klimaangepasstes Bauen (Neubau): Heinrich-Pesch-Siedlung
	Pilotprojekte	Umgestaltung Berliner Platz, Entsiegelung, Schaffen von Baumstandorten
	Pilotprojekte	Klimaangepasste Entwicklung des Vorgeländes der Eberthalle (Friesenheim) als auch der Bereich um den asphaltierten Herbert-Müller-Platz (samt seitlichen Parkplätzen)
	Kommunikation und Austausch	Förderung von städtischem Grün bei Stadtentwicklungsprojekten

Stadtgrün und Naturräume erhalten und klimaangepasst weiterentwickeln	Prozesse und Instrumente	Erlass einer Grüngestaltungssatzung
	Prozesse und Instrumente	Erlass einer Baumschutzsatzung
	Prozesse und Instrumente	Unterschutzstellung klimarelevanter Flächen
	Prozesse und Instrumente	Artenschutzorientierte Grünpflege (neue Arten durch Klimaerwärmung)
	Pilotprojekte	Begrünung von städtischen Einrichtungen, Balkone/ Fensterbänke und Innenhöfe begrünen Schulgärten anlegen
Vorsorge für Starkregen und Hochwasser	Prozesse und Instrumente/Pilotprojekt	Maßnahmen zum Schutz kritischer Infrastruktur (wie Trafostationen, Pumpwerke, Stromleitungen, technische Infrastrukturen, Krankenhäuser, Energie und Wasser, Informationstechnik, (KRITIS-Dachgesetz), zentrale Versorgungseinrichtungen) im Zusammenhang mit Starkregen und Hochwasser

7. Konzept für die Öffentlichkeitsarbeit

Öffentlichkeitsarbeit und Sensibilisierung zur Klimaanpassung

Nur durch Information und aktive Einbindung der Öffentlichkeit können die übergeordneten Ziele eines Klimaanpassungskonzeptes erreicht werden. Die Bevölkerung, die lokale Politik und die ansässigen Unternehmen müssen für die Handlungsanforderungen sensibilisiert werden, die sich für die Stadtverwaltung, aber auch für jeden Einzelnen ergeben. Um ein entsprechendes Bewusstsein für die Klimaanpassung zu schaffen, als auch zur aktiven Beteiligung an der Anpassung zu motivieren, ist eine transparente und umfassende Kommunikation notwendig.

Konzeptionelle Überlegungen für Aktivitäten zur Bewusstseinsbildung und Aktivierung, mit denen die Klimawandelanpassung in Ludwigshafen bereits während des Projektes bespielt wurde und durch die sie eine kontinuierliche Fortentwicklung erfährt, sind:

• Aufbau eines barrierefreien, wertschätzenden und offenen Dialogs mit den unterschiedlichen Anspruchsgruppen der Zivilgesellschaft, Politik, Wirtschaft und Verwaltung um zu informieren, aufzuklären / Bewusstsein zu schaffen: wie kann jeder auch in seinem Einflussbereich als Multiplikator wirken?

• Transparenz über Planungs- und Entscheidungswege sowie Aufgabenstellungen und Rahmenbedingungen: was tun wir und warum? welche Gefahren gibt es?

• Vermittlung des Prozessverständnisses: wie sind die Abläufe und Zusammenhänge?

• Vorstellung örtlicher Konzepte mit Bezug zur Klimaanpassung

• Aktivierung der Eigenvorsorge der Betroffenen: was kann jede/r einzelne Bürger*in und jedes einzelne Unternehmen tun? > Besser vorsorgen als die Folgekosten schultern zu müssen, sowohl individuell als auch gesamtgesellschaftlich > durch Wissen zum Handeln

• Barrierefreie, wertschätzende Kommunikation

- ➢ Integration und Verstetigung der Klimaanpassung innerhalb der Stadt

Ein zentrales Ziel ist, den Glaubenssatz der Bürger*innen zu überwinden, wonach die Klimaanpassung einzig Aufgabe „des Staates oder der Kommune“ ist. Zusätzlich sollen die Herausforderungen des Verwundbarkeitsparadoxons bewältigt werden, welches besagt, dass eine Gesellschaft, die im Alltag zuverlässig versorgt wird, im Ernstfall umso hilfloser sein kann. Den Menschen soll bewusst gemacht werden, dass es eine Neigung gibt, Risiken zu verdrängen und sich ungern mit Gefahren und Vorsorge auseinanderzusetzen.

Um die in der Konzepterstellung begonnenen Ansätze und Aktivitäten möglichst nachhaltig und langfristig weiterzuführen, benötigt es

- die Etablierung eines Klimaanpassungsmanagements
- der Intensivierung bisheriger Aktivitäten
- der Stärkung von vorhandenen Kooperationen und Netzwerken sowie dem Knüpfen von neuen Verbindungen

Zur Übertragung dieser Ziele in die praktische Öffentlichkeitsarbeit können bereits etablierte städtische Kanäle und Kommunikationswege und genutzt werden, die auch schon während des Projektes eingebunden wurden.

Vorhandene Kommunikationswege:

- Städtischer Presseverteiler (örtliche Medien)
- Städtische Internetseite ludwigshafen.de
- Beteiligungsplattform ludwigshafen-diskutiert.de mit Bürgerveranstaltungen (online, Stream) und/oder Online-Dialog (F&A)
- Thematische Broschüren/Flyer (analog und online), z.B. Tipps für Bauwillige zur klimaangepassten Planung und Gestaltung als Erweiterung der „Leitlinien für Klimaschutz und Klimaanpassung in der räumlichen Planung der Stadt Ludwigshafen“
- Städtische Social-Media-Kanäle
- Städtische Filmbeiträge (YouTube-Kanal)
- Städtischer Podcast (z.B. zu Versiegelung/Entsiegelung: https://www.youtube.com/watch?v=scqKSck2rcM)
- „analoge“ Veranstaltungsformate, z.B. Runde Tische oder Klimaspaziergänge (ggf. in Kooperation mit Verbraucherzentrale)
- Regelmäßige etablierte Veranstaltungsformate mit Kooperationspartnern, z.B. mit VHS „Grün statt Grau“ Oktober 2024 und April 2025
  - „Dach, Fassade und Balkon klimagerecht begrünen“ mit Verbraucherzentrale Rheinland-Pfalz
  - Klimagerechter Garten und Regenwassermanagement „Wassersparend & klimafreundlich: Der (Vor-)Garten als Schwamm“ mit Gartenplanerin
- regelmäßige Klimawoche (Online-Seminare) gemeinsam mit Klimaschutzmanager*innen benachbarter Kommunen und VHSen
- Umweltbildung / Bildung für nachhaltige Entwicklung (s.a. Kapitel XI „Umweltkommunikation“ im Umweltbericht 2019), z.B. in Kooperation mit städtischer Abfall- und Umweltberatung möglich, z.B. bei Kinderzukunftsdiplom der ILA21LU, bei Veranstaltungsformat „Better World Market“, bei Familientag im Wildpark, etc.
- Kooperationen mit hack-MuseumsgARTen
- Umweltbildung/Aktivitäten, z.B. bei Freiwilligentag „Wir schaffen was“ der Metropolregion im September (Bspw. Pflanzung Tiny Forest)
- Städtischer Umweltpreis (wechselnde Themen)

Die Information der Bevölkerung durch regelmäßige Artikel, Veranstaltungen oder Aktivitäten sollte bestenfalls ereignisbezogen oder jahreszeitlich passend platziert werden, z.B. über gesundheitsgefährdende (invasive) Arten (z.B. Wanzen, Tigermücken, Zecken, Ambrosia) und angepasstes Verhalten während Hitzeperioden im Sommer.

8. Verstetigungsstrategie

Verstetigung von Klimaanpassung in der Verwaltung

Die bei der Erarbeitung des Ludwigshafener Anpassungskonzeptes gewonnenen Erkenntnisse zu den räumlichen und funktionalen Wirkungen des Klimawandels sowie die daraus abgeleiteten Ziele und Schlüsselmaßnahmen müssen künftig stärker als Abwägungsbelange in die Planungs- und Entscheidungsprozesse der Stadt Ludwigshafen eingebracht werden. Ziel muss es sein, dass Aspekte der Klimafolgenanpassung in Zukunft bei allen Prozessen noch frühzeitiger und kontinuierlicher als bisher berücksichtigt werden, ohne den Verwaltungsaufwand spürbar zu erhöhen. Vor allem die Bereiche Umwelt & Klima und die Stadtplanung übernehmen dabei eine tragende, koordinierende Rolle. So wurden bereits im Zuge der Mitgliedschaft im Kommunalen Klimapakt Rheinland-Pfalz unter Federführung der Stadtplanung während der Projektlaufzeit die Leitlinien für Klimaschutz und Klimaanpassung im Stadtrat beschlossen, mit denen nicht nur im Neubau, sondern auch im Bestand entsprechende Klimaanpassungsmaßnahmen berücksichtigt werden sollen.

Die Vorsorge vor den Risiken des Klimawandels ist eine Querschnittsaufgabe der Verwaltung, die verschiedenste, eigentlich alle Bereiche betrifft und eine planerische Koordinierung sowie Unterstützung erfordert. Dabei geht es darum, räumlich konkrete Vorsorge- und Anpassungsmaßnahmen zu kombinieren und in enger Abstimmung mit den Fachbereichen (Grünflächen, Straßenbau, Gebäudemanagement, etc.) zu verfolgen. Für eine erfolgreiche Zielerreichung ist es daher wichtig, dass die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aller relevanten Fachbereiche kontinuierlich für das Thema sensibilisiert werden und dass ein möglichst breiter Konsens erreicht wird. Die begonnene Zusammenarbeit der Fachbereiche in der Erarbeitung des Anpassungskonzeptes hat hierfür wichtige Grundlagen geschaffen. Durch die engagierte Mitarbeit der Fachbereiche konnten die wesentlichen Kernpunkte des Konzeptes, insbesondere die Ziele und Schlüsselmaßnahmen, fachbereichsübergreifend abgestimmt werden. Es empfiehlt sich, dass zur Verstetigung des interdisziplinären Austausches zu Klimaanpassungsbelangen sowie zur Umsetzungskontrolle des Anpassungskonzeptes ein regelmäßiger Austausch fortgeführt wird. Dies kann durch folgende unterstützenden Strategien zur Verstetigung erreicht werden.

<u>Etablierung einer interdisziplinären Arbeitsgruppe Klimaanpassung</u>

Die Querschnittsaufgabe Klimafolgenanpassung berührt eine Vielzahl von Handlungsfeldern und erfordert eine intensive Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Fachbereichen und Eigenbetrieben. Daher soll die Umsetzung der Maßnahmen aus dem Klimafolgenanpassungskonzept durch die dezernatsübergreifende Fortführung der etablierten Strategiegruppe begleitet werden. Die fachübergreifende Strategiegruppe unterstützt die Einbeziehung von Klimafolgenanpassungsmaßnahmen in Vorhaben und Planungsprozesse der nachhaltigen Stadtentwicklung. In sie können bisherige thematische oder temporäre Arbeitsgruppen (bspw. Hochwasser- Starkregenvorsorge) übergreifend kontinuierlich integriert oder überführt werden. Sie dient gleichzeitig zur Identifikation von Synergien und Zielkonflikten zwischen den Handlungsfeldern und zur Abstimmung über die Nutzung von Fördermöglichkeiten. Der regelmäßige Informationsaustausch der Strategiegruppe (viertel- oder halbjährlich) zu Klimabelangen und aktuellen Projekten der Stadtentwicklung zielt darauf ab:

- fachliche Bezüge im Hinblick auf Klimafolgenanpassung zu erkennen
- aktuelle Erkenntnisse, neue Datengrundlagen bekannt zu machen
- positive und negative Auswirkungen sowie übergreifende Lösungen zu identifizieren
- Anforderungen aus Klimafolgenanpassung in Planungsprozessen transparent und frühzeitig zu berücksichtigen
- konkrete Maßnahmenumsetzung zu begleiten

- ein Monitoring sicherzustellen
- weitere Maßnahmenentwicklung zu initiieren

Einführung und Etablierung eines Klimaanpassungsmanagements

Durch Schaffung einer dauerhaften Koordinationsstelle für die Klimaanpassung / eines Klimaanpassungsmanagements innerhalb der Verwaltung, soll insbesondere die notwendige interdisziplinäre und bereichsübergreifende Koordination und Organisation der Thematik innerhalb der Verwaltung integriert und vorangetrieben werden.

Das Klimaanpassungsmanagement soll Fachbereiche in Fragen der Klimaanpassung koordinieren, bei Entwicklung und Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen unterstützen sowie die bereits angestoßenen und bewilligten Projekte in der Klimaanpassung betreuen. Darüber hinaus kümmert es sich insbesondere um die Beteiligung, Vernetzung und Information von Bürger*innen, Bildungseinrichtungen, Unternehmen, etc., baut die Netzwerkarbeit aus, hilft bei Akquise von Fördermitteln und überprüft die Maßnahmenumsetzung. Eine kontinuierliche Fortschreibung von Klimaanalyse und Klimaanpassungskonzeptes nach 5 bis 10 Jahren soll durch das Klimaanpassungsmanagement angestrebt werden.

Organisatorische Einbindung des Klimaanpassungsmanagements *in die Verwaltungsstruktur*

Notwendigkeit der Etablierung von angestoßenen Vernetzungen und Maßnahmen

- wünschenswerte Fortführung der bereits angestoßenen Vernetzung durch Kontinuität als unbefristete Stelle mit Aufgabenbereich Klimaanpassung / Hochwasserschutz im Bereich Umwelt & Klima
  > Notwendigkeit eines dauerhaften Kümmerers (unbefristete Stelle) zur Klimaanpassung im Bereich Umwelt und Klima
  > Möglichkeit der Förderung von Personalkosten für Klimaanpassungsmanagement zunächst als befristete Stelle im Anschluss an das Förderprojekt/an die Erstellung des Klimaanpassungskonzeptes im Bereich Umwelt und Klima mit Bundesförderung im Förderschwerpunkt 2
- Perspektivisch auch Ausweitung als Team Klimaanpassung im Bereich Umwelt & Klima

Bereitstellung von relevanten Daten

Über die städtische Internetseite, das städtische Geoinformationssystem sowie ein möglicherweise weiterzuentwickelndes Umweltinformationssystem sollen die kontinuierlich gesammelten Informationen und Daten für alle Bereiche zur Verfügung gestellt werden, um eine möglichst barrierefreie, schnelle und unkomplizierte Nutzung zu gewährleisten.

Langfristige Finanzierung und Bereitstellung von finanziellen Ressourcen

Die Notwendigkeit der langfristigen Integration und Verstetigung der Klimaanpassung in die Verwaltung ist auch mit einer langfristigen Finanzierung verbunden. So sollte etwa das Klimaanpassungsmanagement nicht nur über Fördermittel finanziert werden, sondern muss mit seinen übergreifenden integrativen Aufgaben unbefristet gewährleistet sein, um das Wissen und das aufgebaute Netzwerk zu festigen und nachhaltig voranzubringen. Projekte und Maßnahmen können zwar über Fördermittel abgedeckt werden, jedoch sollten auch feste Haushaltsmittel für die Klimaanpassung zur Verfügung gestellt werden. Es bleibt zu hoffen, dass mit dem Klimaanpassungsgesetz im Bund und der sukzessiven Durchsetzung von diesem in die Landes- und Kommunale Ebene neben den zusätzlichen Aufgaben, auch entsprechende finanzielle Zuwendungen verbunden sind.

Sukzessive und kontinuierliche Umsetzung der Maßnahmen

Das oben genannte Klimaanpassungsmanagement soll gemeinsam mit der Arbeitsgruppe Klimaanpassung die langfristige Umsetzung der Maßnahmen sicherstellen (s.a. oben).

Einbindung von Akteuren und Zivilgesellschaft zur dauerhaften weiteren Umsetzung

Auf die bereits in den Kapiteln „Akteursbeteiligung“ sowie „Öffentlichkeitsarbeit und Kommunikation“ genannten Punkte soll verwiesen werden. Aus dem Projekt ist insbesondere auf die Etablierung eines Runden Tisch zur Klimaanpassung für Unternehmen (Industrie & Gewerbe) in Zusammenarbeit mit der IHK und der BASF hinzuweisen (s.a. Maßnahmenkatalog).

Netzwerkarbeit (Kooperationen), Wissensaustausch, (Umwelt- & Klima-) Bildung

Ein kontinuierlicher Wissensaufbau, aber auch Austausch in internen und externen Netzwerken ist essenziell und muss unbedingt integrativ gefördert werden. Denn nur mit dem entsprechenden Wissen über Strategien, Maßnahmen und konkrete Handlungsschritte kann die Klimaanpassung in das Handeln übertragen werden. Auf die im Projekt etablierten Kooperationen kann aufgebaut und weitere bestehende Netzwerke können thematisch bespielt werden. Auch die unter den Kapiteln „Akteursbeteiligung“ sowie „Öffentlichkeitsarbeit und Kommunikation“ genannten Punkte sollen entsprechend Beachtung finden.

Bereits laufende Maßnahmen / bewilligte Projekte zur Klimaanpassung mit Förderung

Einige der in der Analyse als besonders betroffene „Hot Spots“ identifizierte Bereiche innerhalb der Innenstadt konnten bereits während der Projektlaufzeit über verschiedene Förderprogramme zur klimaangepassten Entwicklung eingereicht und bewilligt werden. D.h. es kann bereits in Teilen von einer erfolgreichen Umsetzung der Ergebnisse während der Projektlaufzeit gesprochen werden. Die bislang bewilligten Projekte werden nachfolgend dargestellt.

Im Landesprogramm "Kommunales Investitionsprogramm Klimaschutz und Innovation" (kurz KIPKI) konnten sechs Projekte im Bereich Klimaanpassung vom Umwelt- und Klimaministerium RLP bewilligt werden. Beim KIPKI bestand sogar die Besonderheit einer 100%-Förderung durch das Land Rheinland-Pfalz. Die einzelnen Maßnahmen müssen bis 2026 abgeschlossen sein: https://kipki.rlp.de/

- Schaffung eines Retentionsraums in der Damaschkestraße zur Überflutungsvorsorge eines gefährdeten Bereiches

- Investition in die Nutzung von Brauch- und Brunnenwasser für die Bewässerung von Bäumen

- Umgestaltung des Spielplatz Welserstraße im Hemshof mit Spielgeräten, Trinkbrunnen sowie zusätzliche Bepflanzungen mit schattenspendenden klimaresilienten Bäumen

- ca. 250 vorwiegend klimaresiliente Baumpflanzungen an verschiedenen Orten im Stadtgebiet

- Förderprogramm f. Bürger*innen zur Entsiegelung privater Flächen, auch Dach- und Fassadenbegrünung (https://ludwigshafen.de/standort-mit-zukunft/klima/foerderprogramme)

- Entsiegelung Schulhof Mundenheim, Installation von ein oder mehreren "Schatteninseln

Hinzu kommen im Wettbewerbsteil des Landesprogramm KIPKI zwei weitere Förderprojekte, die ebenfalls bis 2026 abgeschlossen sein müssen:

- „Nachhaltige Innenstädte der Zukunft – Maßnahmen zur Beeinflussung von Urbanen Hitzeinseln in der Metropolregion Rhein-Neckar und Klimawandelfolgenanpassung“ mit Worms + Ludwigshafen: Entsiegelung und klimaangepasste Platzgestaltung mit Trinkwasserbrunnen und Verschattung (Sonnensegel und/oder Baumpflanzungen) am Theaterplatz (vor Pfalzbau), Hans-Klüber-Platz (HackmuseumsgARTen) und Karl-Kornmann-Platz (vor Kulturzentrum „Das Haus“), Sensorik an einzelnen Standorten zu Temperatur und Feuchtigkeit, Verdunstung, Trockenheit in Innenstadtbereichen

- „Bürgerhimmel blau-weiß-grün! Klimabewusste Aufwertung des Bürgerhofs – ein nutzbarer sozialer Raum entsteht“ > Begrünung + Verschattung des Bürgerhofs

Im Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz des Bundesumweltministeriums wurden im November 2024 drei Förderprojekte für Ludwigshafen zur Bearbeitung bis 2030 mit einer 90%-Förderung bewilligt:

- „Ein Niedermoor mitten in der Großstadt - Maudacher Bruch“

- „Hecken, Bäume, Streuobst – Gehölzpflanzungen im Stadtgebiet Ludwigshafen“

- „Ludwigsbäume“

Mögliche Umsetzung ausgewählter Maßnahmen als Anschlussvorhaben aus dem vorliegenden Projekt / Konzept durch Förderung des Bundes innerhalb der DAS-Förderung

Eine Anschlussfähigkeit könnte sich anhand der Ergebnisse in Bezug auf die thermische Überlastung von bestimmten Bereichen und Gruppen im Bereich der Hitzeaktionsplanung darstellen. Diese Thematik wurde schon von diversen Stadträten als Vorschlag an die Gremien herangetragen. Dafür wäre eine Beantragung als Folgeprojekt innerhalb der DAS-Förderung erfolgsversprechend. Voraussetzung für Projekte innerhalb dieses Programms ist allerdings eine Hitzeaktionsplanung, die deutlich über den Standard hinausgeht und spezifische Besonderheiten einbezieht. Hierzu und auch zur allgemeinen Umsetzung von den im vorliegenden Projekt/ Klimaanpassungskonzept entwickelten Maßnahmen wäre als zusätzliche Beantragung die Unterstützung durch eine Personalstelle im Klimaanpassungsmanagement sinnvoll (wie bereits genannt).

Nach dem derzeit laufenden Rathausabriss und den tiefgreifenden Veränderungen in der Stadtstruktur wäre auch eine Vertiefung der bisherigen Ergebnisse aus der Stadtklimaanalyse mit einer weiteren Modellierung sowie konkretere Maßnahmen- und Gebäudeplanungen in der anstehenden nächsten Planungsphase des neuen Stadtquartiers interessant. Für diese Fortführung wäre ggf. eine Beantragung als Folgeprojekt innerhalb der DAS-Förderung möglich/sinnvoll.

Im Maßnahmenkatalog des Förderprojektes/Klimaanpassungskonzeptes sind zahlreiche Projektansätze zur weiteren konkreten Umsetzung vorhanden.

9. Controllingkonzept

Um das Klimaanpassungskonzept erfolgreich umzusetzen, bedarf es eines effektiven Controllingkonzepts. Dabei wird das Ziel verfolgt, die sich verändernden klimatischen Bedingungen, ihre lokalen Folgen im Stadtgebiet und die Umsetzung von Maßnahmen systematisch zu erfassen, zu dokumentieren sowie zu bewerten und damit den Prozess der Klimafolgenanpassung in Ludwigshafen kontinuierlich zu verbessern. Dies wird durch die Auswahl von passenden Indikatoren und die Festlegung von Abläufen für die Erfassung und Aufbereitung der Daten, sowie die nachfolgende Evaluierung der entwickelten Maßnahmen erreicht.

Abbildung 69: Schematischer Aufbau des Controlling-Konzeptes (GEO-NET)

Das Controllingkonzept für die Klimaanpassung in Ludwigshafen gliedert sich in die zwei Komponenten Klimamonitoring und Fortschrittsmonitoring (Abbildung 69). Die Zustands-Indikatoren im Klimamonitoring bilden dabei die Basis für die Erfassung der aktuellen Klimatendenzen und Extremwetterereignisse in einem bestimmten Zeitraum an bestimmten Orten im Stadtraum. Die Wirkungs-Indikatoren (Fortschrittscontrolling) haben einerseits das Ziel die Klimafolgen und deren direkte und indirekte Auswirkungen im Stadtraum zu bewerten und funktionieren andererseits als Indikatoren für die Bewertung von Maßnahmen zur Reduzierung der Klimafolgen. Die Erfolgs-Indikatoren (Fortschrittscontrolling) dienen der Steuerung der Maßnahmenumsetzung und sollen aufzeigen, ob die Umsetzung der Maßnahmen im geplanten Rahmen abläuft und die gewünschte Anpassungsleistung erreicht worden ist. Die im Klimaanpassungskonzept festgelegten Maßnahmen bedingen also im besten Fall, dass anhand entsprechender Indikatoren eine Verringerung einer bestimmten Klimafolge beziehungsweise ein Fortschritt bei der Anpassung an die formulierten Klimafolgen messbar wird. Daher werden auch die Wirkungs- und Erfolgsindikatoren unter dem Begriff des Fortschrittmonitorings zusammengefasst.

Da die Erhebung von Indikatoren einen gewissen Arbeitsaufwand bedeutet, ist ein wesentlicher Bestandteil des Controllingkonzepts die Entwicklung und Umsetzung von festgelegten Abläufen zur Durchführung. Die Kernpunkte sind hierbei die Klärung von Verantwortlichkeiten, sowie die Freigabe von Ressourcen für die Durchführung des Controllings innerhalb der städtischen Verwaltung. Während der initialen Umsetzungsphase der Klimaanpassungsstrategie sollte ein in Dimension und Auswahl angemessener, aber nicht ausufernder

Grundstock von Indikatoren für das Controlling erfolgen. Entscheidende Vorgabe ist hierbei, dass die Indikatoren ausreichend spezifisch, messbar, fachlich und inhaltlich akzeptiert, realistisch nachvollziehbar und in der Überprüfung terminierbar sind.

Nachfolgend befindet sich eine Übersicht möglicher Indikatoren für die Umsetzung des Controllingkonzepts unter Berücksichtigung der Kategorisierung des Klimaanpassungskonzepts und des Maßnahmenkatalogs. Die Auswahl der Indikatoren erfolgt abhängig von der Datenverfügbarkeit und der Machbarkeit einer vergleichenden Bewertung. Es ist ratsam mit einem kleinen Set von Indikatoren zu beginnen und das Controlling mit der Zeit auf Basis gewonnener Erfahrungswerte sinnvoll auszubauen und anzupassen. Die verwaltungsinterne Verstetigung der Klimaanpassung ist ein wichtiger Faktor für eine auch zukünftig erfolgreiche und bedarfsorientierte Maßnahmenentwicklung und wird dementsprechend ebenfalls auf die Effektivität und Reichweite der Abläufe evaluiert.

Im Sinne des Controllings und der erfolgreichen Verstetigung der Klimaanpassung fällt dem mit der Umsetzung der Maßnahme M5 einzustellenden Klimaanpassungsmanagement eine Schlüsselrolle zu. Unter dessen Leitung werden die Indikatoren und Abläufe mit den jeweilig zuständigen Fachabteilungen abgestimmt und Berichtsformate erstellt. Das Ziel des Controllingkonzeptes ist die Erhebung und Dokumentation von Klimaänderungen und Fortschritten der Maßnahmen, um auf Grundlage der vorliegenden Indikatoren entsprechende Verbesserungen in der Klimaanpassung vorzunehmen und langfristige Abläufe für die Maßnahmenumsetzung und die Verstetigung zu garantieren.

9.1 KLIMAMONITORING

Die Erfassung von Hitzebelastung, Starkregenereignissen und Trockenheit bilden die Grundlage für ein weiterführendes Verständnis der Klimaänderung in Ludwigshafen. Aufgrund dessen ist eine kontinuierliche und systematische Erfassung der wesentlichen Klimaparameter von großer Bedeutung für die Fokussierung der Strategieentwicklung der Klimaanpassung. Die nachfolgende Tabelle zeigt eine Übersicht über die wichtigsten Klimaparameter zur Bewertung der Veränderungen.

Klimaänderungen (Zustands-Indikatoren)
Temperaturveränderungen
Mittlere, Maximale, Minimale Temperatur (Monats- und Jahresmittel)
Anzahl der Tropennächte (Tmin > 20°C)
Anzahl der Heißen Tage (Tmax > 30°C)
Anzahl der Sommertage (Tmax > 25°C)
Anzahl und Länge Hitzeperioden
Anzahl der Frosttage
Anzahl der Eistage
Niederschlagsveränderungen
Jahreszeitenniederschlagssummen
Trockenperioden (Anzahl und Länge in Tage)
Tage mit Niederschlägen > 30 mm (Starkniederschläge)
Saisonale Verteilung der Niederschläge
Weitere hydro-meteorologische Parameter
Bodenfeuchte
Grundwasserstand Pegelstände
Starkwinde

9.2 STADTWEITES KLIMAMESSNETZ

Um möglichst genaue Aussagen über den aktuellen Stand der Änderungen des Klimas an einem konkreten Ort im Stadtraum treffen zu können, ist der Aufbau eines Messnetzes mit mehreren Messstationen empfehlenswert. Dabei werden verschiedene Klimaparameter (wie beispielsweise Temperatur, gefühlte Temperatur, Windgeschwindigkeit und -richtung, Niederschlag, Strahlungsgrößen und Lufthygiene) in regelmäßigen zeitlichen Abständen an ausgewählten Referenzzeitpunkten erfasst und sowohl in Echtzeit als auch vergleichend für unterschiedliche Zeiträume der Vergangenheit zur Darstellung der räumlichen Temperaturverteilung im Stadtgebiet ausgewertet. Da die Stadt Ludwigshafen in diesem Bereich bereits im Rahmen einiger Pilotmaßnahmen tätig ist, bietet sich der weitere Ausbau auf ein stadtweites Messnetz an.

9.3 FORTSCHRITTSCONTROLLING

Zur Begleitung und Steuerung der Umsetzung des Klimaanpassungskonzeptes werden einerseits die Fortschritte der Maßnahmen anhand der Erreichung der gewünschten Ergebnisse der Maßnahmen auf Grundlage von Erfolgs-Indikatoren bewertet. Dabei wird jede Maßnahme individuell in Bezug auf die erwartete Anpassungsleistung auf Basis der strategischen Zielvorgaben des Klimaanpassungskonzepts erfasst und bewertet.

Die langfristige Wirkung der Maßnahmen wird durch übergeordnete Wirkungs-Indikatoren für den gesamten Stadtraum eingeschätzt. Im Vordergrund stehen dabei die Messbarkeit der Verringerung wesentlicher Klimafolgen, sowie der Verbesserung im Stadtraum, welche durch eine oder im Zusammenspiel mehrerer Maßnahmen erreicht wird.

9.4 ZIELERREICHUNG DER KLIMAFOLGENANPASSUNG

Anpassungsziel 1: Beraten, Informieren, Fördern, Kooperieren
M1: Verstetigung der Öffentlichkeitsarbeit und Sensibilisierung zur Klimaanpassung
Erfolgsindikatoren (Anpassungsleistung)
• Anzahl durchgeführter Veranstaltungen und veröffentlichter Artikel • Vorliegendes Informationsmaterial
M2: Zentrale Bereitstellung von Daten zur Klimaanpassung
Erfolgsindikatoren (Anpassungsleistung)
• Daten auf der städtischen Homepage zur Verfügung gestellt • Daten sind verwaltungsintern im städtischen GIS abrufbar
M3: Fortschreibung und Verstetigung des Förderprogramms zur Entsiegelung und Begrünung privater Flächen
Erfolgsindikatoren (Anpassungsleistung)
• Etabliertes Förderprogramm • Anzahl Förderanträge • Feedback/Umfrage unter Teilnehmern
M4: Etablierung und Verstetigung des Formats Runder Tisch "Klimaanpassung Industrie und Gewerbe" als Netzwerk für den Klimaanpassungsdialog mit Unternehmen
Erfolgsindikatoren (Anpassungsleistung)
• regelmäßiges Stattfinden der Veranstaltung (mit wechselnden Themenschwerpunkten) • Teilnehmende Unternehmen

Anpassungsziel 2: Etablierung und Verstetigung der Klimaanpassung in der städtischen Verwaltung
M5: Etablierung eines Klimaanpassungsmanagements sowie einer Arbeitsgruppe Klimaanpassung
Erfolgsindikatoren (Anpassungsleistung)
• Vorliegendes Organigramm für die strukturierte und behördenübergreifende Klimaanpassung • Eingestelltes Klimaanpassungsmanagement • Anzahl durchgeführter Sitzungen der Arbeitsgruppe Klimaanpassung
M6: Integration der Klimaanpassung in die Fortschreibung des Flächennutzungsplans
Erfolgsindikatoren (Anpassungsleistung)
• Aktualisierter Flächennutzungsplan liegt vor
M7: Klimaanpassung in der Bauleitplanung
Erfolgsindikatoren (Anpassungsleistung)
• Anzahl an B-Plänen mit erfolgter Integration von Klimaanpassungsmaßnahmen • Vorliegende Dokumentation zum Ablauf der Einbindung von Klimaanpassungsmaßnahmen in Bauprojekten

Anpassungsziel 3: Schutz vulnerabler Bevölkerungsgruppen vor den Folgen des Klimawandels
M8: Erarbeitung eines Hitzeaktionsplans
Erfolgsindikatoren (Anpassungsleistung)
• abgeschlossener Hitzeaktionsplan
M9: Bereitstellung von kostenlosem Trinkwasser im öffentlichen Raum
Erfolgsindikatoren (Anpassungsleistung)
• Anzahl bereitgestellter Brunnen • Stichprobenartiges Feedback von Nutzern und Betreibern
M10: Schaffung eines Förderprogramms zur Verschattung für KITAS, Schulhöfe und Spielplätze
Erfolgsindikatoren (Anpassungsleistung)
• Verschattungsgrad auf Schulhöfen und Spielplätzen • Anzahl Bäume auf Schulhöfen • Teilnehmende KITAS, Schulen

Anpassungsziel 4: Hitzeangepasste Quartiersentwicklung

M11: Konzept zur Begrünung öffentlicher Verweilflächen und Aufenthaltsbereiche

Erfolgsindikatoren (Anpassungsleistung)

- Vorliegendes Konzept zur Begrünung im öffentlichen Raum.
- Laufende/abgeschlossene Projekte.

M12: Konzept zur klimaangepassten Gestaltung von Verkehrsflächen

Erfolgsindikatoren (Anpassungsleistung)

- Vorliegendes Konzept zur Begrünung im öffentlichen Raum
- Identifikation von Pilotprojekten

M13: Festlegung von Standards für Baumscheiben im Bereich von Straßen

Erfolgsindikatoren (Anpassungsleistung)

- Vorliegender Zielstandard bis 31.12.2026

M14: Leuchtturmprojekte für klimaangepasstes Bauen (Neubau): "Neues Stadtquartier"

Erfolgsindikatoren (Anpassungsleistung)

- Anzahl geplanter und umgesetzter Projekte

Anpassungsziel 5: Stadtgrün und Naturräume erhalten und klimaangepasst weiterentwickeln

M15: Optimierung bestehender öffentlicher Grünflächen

Erfolgsindikatoren (Anpassungsleistung)

- Anzahl optimierter Grünflächen
- Anzahl umgesetzter Optimierungsmaßnahmen in städtischen Grünflächen

M16: Erlass einer Grüngestaltungssatzung für Privatflächen

Erfolgsindikatoren (Anpassungsleistung)

- Vorliegende Satzung
- Verringertes Vorkommen von Schottergärten

M17: Entwicklung von Mikro-/ Pocket-Parks auf kleineren Brachflächen

Erfolgsindikatoren (Anpassungsleistung)

- Hektarneuschaffung/Anzahl begrünte Flächen

Anpassungsziel 6: Vorsorge für Starkregen und Hochwasser

M18: Konzeptioneller Ausbau der blau-grünen Infrastruktur zur Überflutungsvorsorge

Erfolgsindikatoren (Anpassungsleistung)

- Anzahl umgesetzter Projekte/Maßnahmen

M19: Umsetzung des Starkregen- und Hochwasservorsorgekonzepts

Erfolgsindikatoren (Anpassungsleistung)

- Anzahl umgesetzter Projekte/ Maßnahmen

9.5 WIRKUNGEN DER MAßNAHMEN

Gesamtstädtische Wirkungsindikatoren	
Indikator (Langfristige Erhöhung der Resilienz in Bezug auf die Ziele der Klimaanpassung)	**Ziel**
Temperaturverteilung am Tag und in der Nacht im Stadtraum	3, 4, 5, 6
Flächenanteile Grünflächen im Stadtraum	4, 5, 6
Schadensereignisse durch Starkregen an Gebäuden und Infrastruktur	6
Zustand der städtischen Grünflächen (Zeigerarten Flora und Fauna, Bodenfeuchte)	4, 5
Hitzebedingte Erkrankungen	3
Durch Maßnahmen erreichte Bevölkerung (Umfrage unter vulnerablen Gruppen)	1, 3
Einsatzzahlen durch Extremereignisse	3, 6

9.6 VERSTETIGUNG UND KOMMUNIKATION

Der kontinuierliche Austausch unter den beteiligten Fachabteilungen der Ämter unter der Koordinierung der Klimaanpassungsmanagements ist ein wichtiger Bestandteil für eine nachhaltige Implementierung der Klimaanpassung. Dabei gilt es insbesondere die fachlichen Grundlagen fortlaufend zu verbessern und der für die Steuerung der Maßnahmenumsetzung notwendigen strukturellen Voraussetzungen und Abläufe innerhalb der städtischen Verwaltung zu optimieren. Aufgrund der hervorgehobenen Bedeutung der Prozesse zur Verstetigung und Kommunikation in Bezug auf die nachhaltige Klimaanpassung hat sich die Stadt Ludwigshafen diese beiden Themen als mit fünf Maßnahmen hinterlegte Ziele

- Anpassungsziel 1: Beraten, Informieren, Fördern, Kooperieren
- Anpassungsziel 2: Etablierung und Verstetigung der Klimaanpassung in der Städtischen Verwaltung

prominent vorgenommen. Zusätzlich zu den oben bereits aufgeführten Erfolgs-Indikatoren sind zudem folgende zu nennen:

Erfolgs-Indikatoren
Verstetigung
• Verwaltungsinterne Umfragen zur Umsetzung des Klimaanpassungskonzeptes • Durchgeführte verwaltungsinterne Fortbildungen und Workshops • Interdisziplinäre verwaltungsinterne Austauschformate (z. B. Arbeitsgruppentreffen) • Bewertung der Integration von Klimaanpassungsbelangen in Planungsprozesse • Erfolgreiche Akquise von Folgefinanzierung für die Umsetzung des Klimaanpassungskonzeptes
Kommunikation
• Erstelltes Informationsmaterial • Durchgeführte Öffentlichkeitsveranstaltungen • Angebot und Nutzung von Beratungsangeboten (Online, Broschüren, …)

9.7 ABLÄUFE UND DOKUMENTATION

Für eine erfolgreiche Umsetzung des Controllings sind die wesentlichen Abläufe, wie die behördliche Verantwortlichkeit für das übergeordnete Controlling der Klimaanpassung, die Zuständigkeiten für die Umsetzung der Datenerhebung zur Bewertung der Indikatoren, sowie die individuellen Messzeitpunkte zu benennen. Eine wichtige Rolle fällt dabei dem Klimaanpassungsmanagement zu, das durch seine Vernetzung und interdisziplinäre Ausrichtung die Abläufe des Controllings koordiniert und die Umsetzung der Klimaanpassung in Ludwigshafen evaluiert und steuert. Ziel ist es, dass die Ergebnisse der Evaluierung in Form von Nachjustierungen der durchgeführten Maßnahmen und der Identifizierung neuer Inhalte Eingang in die Klimaanpassung finden und somit die langfristige Nachhaltigkeit des Klimaanpassungskonzepts garantiert wird. Dabei kann die verwaltungsinterne und eventuell externe Erhebung der dargestellten Indikatoren sukzessive aufgebaut werden. Die bereits identifizierten Datenquellen können dementsprechend schrittweise um weitere Quellen ergänzt werden. Alle Daten sollten mit festgelegter Regelmäßigkeit erhoben und in entsprechende Dokumentationsformate überführt werden.

Dokumentation Controllingkonzept	
Klimaveränderungen (Zustands-Indikatoren)	Regelmäßigkeit
Bericht zu beobachteten Klimaveränderungen • Monatliche/jährliche Minimum-, Maximum- und Mittelwerte • Abweichungen von langjährigen Mittelwerten • Beschreibung von Extremereignissen (Hitzewellen, Starkregen, Starkwinde, Trockenheit)	Jährlich
Zielerreichung der Klimafolgenanpassung (Erfolgs-Indikatoren)	Regelmäßigkeit
Bericht zum Fortschritt der Maßnahmenumsetzung • Ressourceneinsatz • Personaleinsatz • Stärken und Schwächen der jeweiligen Maßnahme • Erfordernisse und Vorschläge zur Verbesserung der Maßnahmen	Jährlich
Bericht zur Verstetigung der Klimafolgenanpassung • Ergebnisse der verwaltungsinternen Umfragen und Besprechungen • Starken und Schwächen (strukturell und inhaltlich) der Umsetzung der Klimafolgenanpassung • Erfordernisse und Vorschläge zur Verbesserung der Klimafolgenanpassung	Zwei-jährlich
Gesamtstädtische Fortschritte (Wirkungs-Indikatoren)	Regelmäßigkeit
Bericht zur Bewertung der gesamtstädtischen Wirkungen und Klimafolgen • Beschreibung der Veränderungen der gesamtstädtischen Wirkungs-Indikatoren	Zwei-jährlich
Aktualisierung der Risikobewertung • Verwaltungsintern, gegebenenfalls unter Beteiligung relevanter Akteure	Zwei-jährlich
Fortschreibung des Klimaanpassungskonzeptes	Nach 5 Jahren

Quellenverzeichnis

An der Heiden, M.; Muthers, S.; Niemann, H.; Buchholz, U.; Grabenhenrich, L.; Matzarakis, A. (2019): Schätzung hitzebedingter Todesfälle in Deutschland zwischen 2001 und 2015. In: Bundesgesundheitsblatt 62, Heft 5, S. 571-579.

Adept (2025): Verbundene Stadtlandschaft – Grüne Membranen als Weg zur nachhaltigen Stadt, Zielkonzept im Werkstattverfahren für das neue Stadtquartier Ludwigshafen 2024/2025 ausgewählt, https://ludwigshafen-diskutiert.de/group/19

BBSR (2015): Überflutungs- und Hitzevorsorge durch die Stadtentwicklung. Strategien und Maßnahmen zum Regenwassermanagement gegen urbane Sturzfluten und überhitzte Städte.

Beckmann S., Hiete M., Beck C. (2021): Threshold temperatures for subjective heat stress in urban apartments — Analysing nocturnal bedroom temperatures during a heat wave in Germany. Climate Risk Management, Volume 32. https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100286

BFN (2016) – Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.): Urbanes Grün in der doppelten Innenentwicklung. BFN-Skripten 444.

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2023): Was uns die Folgen des Klimawandels kosten – Merkblatt #08 - Klimawandel: Milliarden-Schäden zu erwarten, https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/M-O/Merkblaetter/merkblatt-klimawandelfolgen-in-deutschland-08.pdf?__blob=publicationFile&v=4

BMVI (2016): Handlungshilfe Klimawandelgerechter Regionalplan. Ergebnisse des Forschungsprojektes KlimREG für die Praxis: Schriftenreihe: MORO-Praxis. BMVI.

Bundesregierung (2004): Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV).

Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel.

Business Wissen (2023): Grundlagen und Vorgehensweise bei der Szenario-Technik. Online: https://www.business-wissen.de/hb/grundlagen-und-vorgehensweise-bei-der-szenario-technik (Abruf Januar 2023).

Boden T.A., Marland G., Andres R.J. (2017): Global, Re-gional, and National Fossil-Fuel CO2 Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge Nation-al Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.

Cannon A.J.; Sobie S.R.; Murdock T.Q. (2015): Bias Correction of GCM Precipitation by Quantile Mapping: How Well Do Methods Preserve Changes in Quantiles and Extremes? J. Climate, 28, 6938–6959.

Copernicus Climate Change Service (C3S) and World Meteorological Organization (WMO) (2025): European State of the Climate 2024, climate.copernicus.eu/ESOTC/2024, doi.org/10.24381/14j9-s541

Deutsche Umwelthilfe (2024): Hitzecheck, https://www.duh.de/presse/pressemitteilungen/pressemitteilung/zu-viel-grau-zu-wenig-gruen-viele-deutsche-staedte-fallen-durch-im-ersten-hitze-check-der-deutschen/

DGNB (2020): DGNB System – Kriterienkatalog Quartiere VERSION2020. Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges bauen.

DKRZ - Deutsche Klimarechenzentrum (2023): Die SSP-Szenarien. Online: https://www.dkrz.de/de/kommunikation/klimasimulationen/cmip6-de/die-ssp-szenarien

DWD (2014): MUKLIMO_3 Modell.

DWD (2020): Nationaler Klimareport, Klima – gestern, heute und in der Zukunft.

DWD (2020a): Bundesweites Stadtklimamessnetz wird ausgebaut. Pressemitteilung des Deutschen Wetterdienstes vom 12.11.2020.

DWD (2023a): Datenbasis: Deutscher Wetterdienst, Beobachtungsdaten. ftp://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/

DWD (2023b): Datenbasis: Deutscher Wetterdienst, Rasterdaten. ftp://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/

DWD (2023c): Wetter- und Klimalexikon. https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/lexikon_node.html.

DWD (2023d): Stadtklima - die städtische Wärmeinsel. https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimawirk/stadtpl/projekt_waermeinseln/startseite_projekt_waermeinseln.html.

Fanger, P.O. (1972): Thermal Comfort, Analysis and Application in Environment Engineering. New York: McGraw Hill.

Gaede, M. und Härtling, J. (2010): Umweltbewertung und Umweltprüfung. Braunschweig: Westermann.

Gesamtverband der Versicherer (GDV) (2023): Versiegelungsstudie: Ludwigshafen ist die am stärksten versiegelte Stadt in Deutschland, https://www.gdv.de/gdv/medien/medieninformationen/versiegelungsstudie-ludwigshafen-ist-die-am-staerksten-versiegelte-stadt-in-deutschland--133126

Giorgi F., Jones C., Asrar G. R. (2009): Addressing climate information needs at the regionale level: The CORDEX Framework, WMO BULLETIN, 58(3):175-183.

Groß, G. (1987): Some effects of deforestation on nocturnal drainage flows and local climate – a numerical study. Boundary-Layer Meteorol. 38, 315-337.

Groß, G. (1992): Results of supercomputer simulations of meteorological mesoscale phenomena. Fluid Dynamics Research (10): 483-498.

Groß, G.; Frey, T.; Trute, P. (2002): Die Anwendung numerischer Simulationsmodelle zur Berechnung der lokalen Windverhältnisse in komplexem Gelände, DEWI Magazin Nr. 20.

Groß, G. (2002): The exploration of boundary layer phenomena using a nonhydrostatic mesoscale model, Meteorologische Zeitschrift, Vol. 11, No. 5, 701-710 (October 2002)
DOI: 10.1127/0941-2948/2002/0011-0601.

Groß, G. (2012a): Effects of different vegetation on temperature in an urban building environment. Micro-scale numerical experiments, Meteorologische Zeitschrift, Vol. 21, No. 4, 399-412.

Groß, G. (2012b): Numerical simulation of greening effects for idealised roofs with regional climate forcing, Meteorologische Zeitschrift, Vol. 21, No. 2, 173-181.

Groß, G. (2013): On the parametrization of urban land use in mesoscale models, Boundary-Layer Meteorol (2014) 150:319-326.

Groß G. (2016): Dispersion of traffic exhausts emitted from a stationary line source versus individual moving cars – a numerical comparison, Meteorologische Zeitschrift.

Groß, G. (2017): Some effects of water bodies on the environment – numerical experiments, Journal of Heat Island Institute International Vol. 12-2.

HLNUG - Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (Hrsg., 2019): KLIMPRAX Stadtklima. Handlungsleitfaden zur kommunalen Klimaanpassung in Hessen -Hitze und Gesundheit-. 167 S.

HLNUG [Hrsg.] (2019): Handlungsleitfaden zur kommunalen Klimaanpassung in Hessen – Hitze und Gesundheit – KLIMPRAX Stadtklima https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/klimprax/KLIMPRAXStadtklima2019/L-Handlungsleitfaden2019_Einzelseiten.pdf

HLNUG (Hg.) (2022): Interaktive Entscheidungshilfe – Checklisten und Einführung in Methoden der Stadtklimaanalyse. Unter Mitarbeit von Infrastruktur & Umwelt, Professor Böhm und Partner. Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, Fachzentrum Klimawandel und Anpassung. Online verfügbar unter https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/Handlungshilfen/Interaktive_Entscheidungshilfe_Stadtklimaanalysen.pdf, zuletzt geprüft am 11.01.2023.

Höppe,P.; H.Mayer: Planungsrelevante Bewertung der thermischen Komponente des Stadtklimas. Landschaft und Stadt 19 (1987) 1, S. 22–29.

IPCC (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovern-mental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

IPCC (2021): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the sixth Assessment Report of the Intergovern-mental Panel on Climate Change – In Vorbereitung.

ISO (1989). ISO 7243. Hot environments - Estimation of the heat stress on working man based in the WBGT-index (wet bulb globe temperature). Geneva, Switzerland, International Organisation for Standards.

Jacob et al. (2016): Regionale Klimamodellierung. In: Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven S. 27-35.Cham: Springer-Verlag.

Jendritzky, G.; Menz, G.; Schirmer, H.; Schmidt-Kessen, W. (1990): Methodik zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell). In: Beiträge der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Bd. 114.

Jendritzky (2007): The Universal Thermal Climate Index UTCI. http://www.utci.org/cost/publications/ICEE_2007-12-Abstract_UTCI_Jendritzky.pdf

Jöhnk, C. N. (2023): Schätzung der hitzebedingten Exzessmortalität in Rheinland-Pfalz zwischen 2003 und 2021 - Identifikation von Jahren mit signifikant erhöhter hitzebedingter Exzessmortalität, vulnerablen Bevölkerungsgruppen und regionalen Unterschieden (Bachelorarbeit TH Bingen).

Kaspar F., Müller-Westermeier G., Penda E., Mächel H., Zimmermann K., Kaiser-Weiss A., Deutschländer T. (2013): Monitoring of climate change in Germany – data, products and services of Germany´s National Climate Data Centre. ADV. SCI. RES., 10, 99–106

Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen Rheinland-Pfalz (2025): Klimadaten-Tool, https://www.klimawandel.rlp.de/klimadaten-tool

Kuttler, W. (2013): Klimatologie. Paderborn: UTB, 2. Auflage.

Laureant et al (2018): Reduced cognitive function during a heat wave among residents of non-air-conditioned buildings: An observational study of young adults in the summer of 2016. In: PLOS Medicine.

Linke C. et al. (2016): Leitlinien zur Interpretation regionaler Klimamodelldaten des Bund-Länder-Fachgespräches „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“, Potsdam.

Mayer, H.; Beckröge, W. ; Matzarakis, A. (1994): Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen. UVP-report 5/94, S. 265-268.

Mosimann et al. (1998): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Bearbeitung der klima- und immissionsökologischen Inhalte im Landschaftsrahmenplan und Landschaftsplan. Schriftenreihe: Informationsdient Naturschutz Niedersachsen. Niedersächsisches Landesamt für Ökologie.

Moss R. H., Edmonds J. A., Hibbard K. A., Manning M. R., Rose S. K., van Vuuren D. P., Carter T. R., Emori S., Kai-numa M., Kram T., Meehl G. A., Mitchell J. F. B., Nakicenovic N., Riahi K., Smith S. J., Stouffer R .J., Thomson A. M., Weyant J. P., Wilbanks T. J. (2010): The next generation of scenarios for climate change re-search and assessment. Nature 463, 747–756.

MVI (2012) - Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg: Städtebauliche Klimafibel. Hinweise für die Bauleitplanung.

Oke (2017): Urban Climates. Cambridge: Cambridge University Press.

Ökoplana (2022): Erfassung meteorologischer Daten in Ludwigshafen am Rhein, https://ludwigshafen.de/standort-mit-zukunft/klima/klimaanpassung#c955

Peters G.P., Andrew R.M., Boden T., Canadell J.G., Ciais P., Le Quéré C., Marland G., Raupach M.R., Wilson C. (2012): The challenge to keep global warming below 2 °C. Nat. Clim. Change 3, 4–6.

Piani C., Haerter J.O., Coppola E. (2010): Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe. Theor Appl Climatol 99:187–192

R Core Team (2019): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

ReKliEs-De (2017): Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland - Nutzerhandbuch.

SANTHOLZ und SETT (2019): Erfahrungen und Bedarfe von Akteuren der Stadtplanung im Hinblick auf Vulnerabilität gegenüber Hitzestress. Ergebnisse einer Haushalts-Umfrage zum Hitzeempfinden in Bonn. UNU Workingpaper.

Schär, Ch., Ch. Frei, D. Lüthi, H.C. Davies (1996): Surrogate climate-change scenarios for regional climate models. Geophys. Res. Lett. 23, 669-672.

Sievers, U. (2005): Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21. Berichte des DWD 227, Offenbach.

Stachowiak, H. (1973): Allgemeine Modelltheorie. Wien: Springer.

S Jena (2016): Bäume in Jena. Stadt- und Straßenbäume im Klimawandel. Schriften zur Stadtentwicklung Nr. 7.

Stadt Zürich (2020): Fachplanung Hitzeminderung. https://www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/gsz/planung-und-bau/fachplanung-hitzeminderung.html

Stadtverwaltung Ludwigshafen am Rhein (2011): Klimaschutzkonzept, https://www.ifeu.de/publikation/klimaschutzkonzept-fuer-die-stadt-ludwigshafen-am-rhein-1

Stadtverwaltung Ludwigshafen am Rhein (2018): Masterplan „Nachhaltige Mobilität für die Stadt“ - Green City Plan, https://ludwigshafen.de/fileadmin/ludwigshafen/standort_mit_zukunft/Mobilit%C3%A4t/E-Mobilit%C3%A4t/masterplan_green_city.pdf

Stadtverwaltung Ludwigshafen am Rhein (2020): Umweltbericht 2019, https://ludwigshafen.de/standort-mit-zukunft/umwelt/veroeffentlichungen

Stadtverwaltung Ludwigshafen am Rhein (Hrsg.), Zebralog GmbH (2021): Beteiligungsdialog Fortschreibung Flächennutzungsplan, https://ludwigshafen-diskutiert.de/sites/default/files/files/auswertungsbericht_fnp_2021.pdf

Stadtverwaltung Ludwigshafen am Rhein (2021-2025): Fortschreibung des Flächennutzungsplans / Landschaftsplan (derzeit laufend, https://ludwigshafen-diskutiert.de/flaechennutzungsplan)

Stadtverwaltung Ludwigshafen am Rhein (2022): Integriertes Stadtentwicklungskonzept (ISEK) Innenstadt, https://ludwigshafen-diskutiert.de/group/6, https://ludwigshafen-diskutiert.de/sites/default/files/files/isek_ludwigshafen_mitte_innenstadt_oktober_22.pdf

Stadtverwaltung Ludwigshafen am Rhein (2024): Leitlinien für Klimaschutz und Klimaanpassung in der räumlichen Planung der Stadt Ludwigshafen, https://ludwigshafen.de/fileadmin/ludwigshafen/verwaltung_und_politik/stadtverwaltung_rathaus/dezernat_4/4-12/leitlinien_klimaschutz_raeumliche_planung.pdf

Stadtverwaltung Ludwigshafen am Rhein (2025): Wärmeplanung (derzeit laufend, https://ludwigshafen-diskutiert.de/group/18)

Stadtverwaltung Ludwigshafen am Rhein (2025): Starkregen- und Hochwasservorsorgekonzept (derzeit laufend, https://ludwigshafen-diskutiert.de/group/16)

Stadtverwaltung Ludwigshafen am Rhein, LCE (2025): Ludwigshafen plant ein neues Stadtquartier, https://ludwigshafen-diskutiert.de/group/19

The COMET program (2017): Wildfire Smoke Tracing Up-Valley/Down-Valley Winds. https://satelliteliaisonblog.com/2017/10/13/wildfire-smoke-tracing-up-valleydown-valley-winds/

The International Civil Aviation Organization (ICAO) Standard Atmosphere (1957). Nature 179, 299–300. https://doi.org/10.1038/179299a0

Themeßl M.J., Gobiet A., Leuprecht A. (2011): Empirical-statistical downscaling and error correction of daily precipitation from regional climate models. Int J Cli-matol 31(10):1530–1544.

UBA (2005): Gesünder Wohnen — Aber wie? Praktische Tipps für den Alltag. Umweltbundeamt.

UBA (2019): Handbuch für Emissionsfaktoren für Straßenverkehr (HBEFA). Umweltbundesamt.

UBA (2019a): Untersuchung der Potentiale für die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung in Städten. UBA-Texte.

UBA (2020): Gesundheitsrisiken durch Hitze. Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-gesundheit/gesundheitsrisiken-durch-hitze#gesundheitsrisiko-hitze

UBA – Umweltbundesamt (2022a): Trends der Lufttemperatur. Online: https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/trends-der-lufttemperatur#steigende-durchschnittstemperaturen-weltweit

UBA – Umweltbundesamt (2022b): Trends der Niederschlagshöhe. Online: https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/trends-der-niederschlagshoehe

UBA – Umweltbundesamt (2022c): Indikator: Heiße Tage. Online: https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren/indikator-heisse-tage#die-wichtigsten-fakten

Universität Trier - “Arbeitsgruppe Klima, Luft und Lärm” (2000): Klimagutachten 2000 für den Flächennutzungs-/Landschaftsplan der Stadt Ludwigshafen am Rhein, https://ludwigshafen.de/standort-mit-zukunft/klima/klimaanpassung#c955

Urban H. & Steininger K.W. (2015): Manufacturing and Trade: Labour Productivity Losses. In: Steininger K., König M., Bednar-Friedl B., Loibl W., Kranzl L., Prettenthaler F., Haas W., Formayer H., Goetzl M., Zulka K. 2015:Economic Evaluation of Climate Change Impacts – Development of a Cross-Sectoral Framework and Results for Austria. Basel: 301–322.

VDI (2003): VDI-Richtlinie 3787, Bl.5: Umweltmeteorologie. Lokale Kaltluft.

VDI (2004) VDI-Richtlinie 3787, Bl.9: Umweltmeteorologie. Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene in räumlichen Planungen.

VDI (2008) VDI-Richtlinie 3785, Bl.1: Umweltmeteorologie. Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima.

VDI (2008a) VDI-Richtlinie 3785, Bl.2: Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung - Teil I: Klima.

VDI (2015): VDI-Richtlinie 3787, Bl.1: Umweltmeteorologie. Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen.

VDI (2017): VDI-richtlinie 3783, Bl.7: Umweltmeteorologie. Prognostische mesoskalige Windfeldmodelle - Evaluierung für dynamisch und thermisch bedingte Strömungsfelder.

VDI (2020): VDI-Richtlinie 3787, Bl.4: Umweltmeteorologie. Methoden zur Beschreibung von Stark- und Schwachwinden in bebauten Gebieten und deren Bewertung.

VDI (2020a): VDI-Richtlinie 3787, Bl.8: Umweltmeteorologie. Stadtentwicklung im Klimawandel.

Anhang

Anhang A 1: Für das verwendete Modellensemble verfügbare Ensemblemitglieder (Modellkombinationen) und Szenarien (Historical, RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 8.5). GCM bzw. RCM = Globales bzw. Regionales Klimamodell (Global / Regional Climate Model).

	GCM	RCM	Historical	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
1	CanESM2	CCLM	✓	✗	✗	✓
2	EC-EARTH	CCLM	✓	✓	✓	✓
3	EC-EARTH	RACMO22E	✓	✓	✓	✓
4	EC-EARTH	RACMO22E	✓	✗	✓	✓
5	EC-EARTH	RCA4	✓	✓	✓	✓
6	IPSL-CM5A	RCA4	✓	✗	✓	✓
7	MIROC5	CCLM	✓	✓	✗	✗
8	MIROC5	REMO2015	✓	✗	✗	✓
9	HadGEM2-ES	WETTREG2013	✓	✗	✗	✓
10	HadGEM2-ES	CCLM	✓	✗	✓	✓
11	HadGEM2-ES	RACMO22E	✓	✓	✓	✓
12	HadGEM2-ES	STARS3	✓	✓	✗	✗
13	HadGEM2-ES	RCA4	✓	✓	✓	✓
14	MPI-ESM	WETTREG2013	✓	✓	✗	✗
15	MPI-ESM	CCLM	✓	✗	✓	✓
16	MPI-ESM	REMO2009	✓	✓	✓	✓
17	MPI-ESM	REMO2009	✓	✓	✓	✓
18	MPI-ESM	STARS3	✓	✓	✗	✗
19	MPI-ESM	RCA4	✓	✓	✓	✓

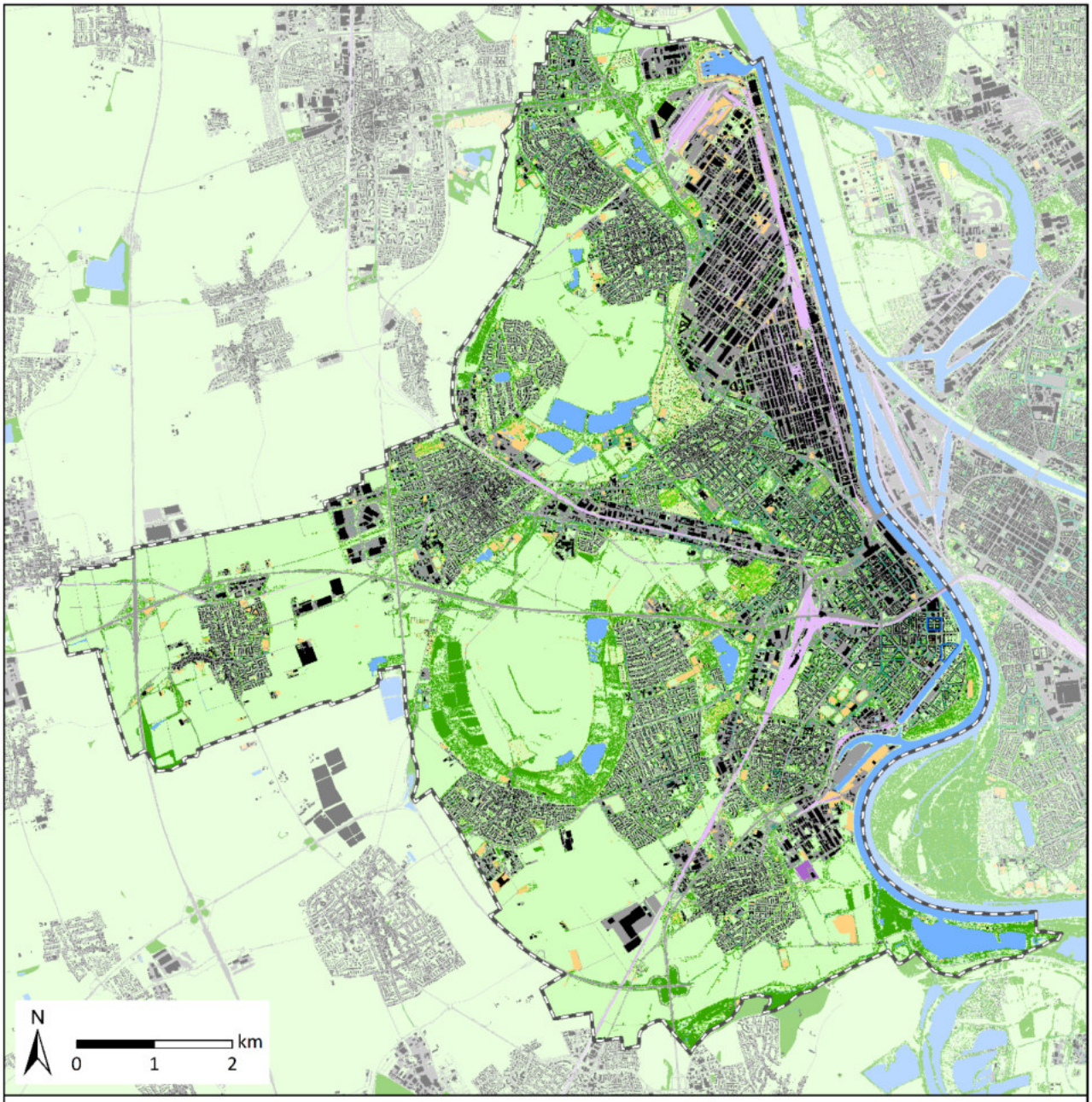
Anhang A 2: Bewertung der statistischen Signifikanz anhand des Trend-/Rauschverhältnisses.

Trend- / Rauschverhältnis	Bewertung
≥ 2,0	sehr stark zunehmend
≥ 1,5 und < 2,0	stark zunehmend
≥ 1,0 und < 1,5	schwach zunehmend
< 1,0 und > -1,0	kein Trend
≤ -1,0 und > -1,5	schwach abnehmend
≤ -1,5 und > -2,0	stark abnehmend
≤ -2,0	sehr stark abnehmend

Anhang A 3: In die Modelleingangsdaten eingeflossene B-Pläne und aktuelle Bauvorhaben

Nr	Name	Art	Einarbeitung	rechtskräftiger BP	Fläche [ha]
1	Im Zinkig (BP 504) / Oppau	Wohngebiet	Konzept	ja	2,38
2	City West - Süd	Mischgebiet	Konzept + MP-Flächen (Außenfläche, FNP-	nein	19,08
3	Entwicklungsachse West / Westlich Heinrich-Pesch-Haus (BP 657)	Urbanes Mischgebiet	B-Plan mit Mischpixelflächen nach GRZ	ja	17,76
4	Entwicklungsachse West / Mittelstandspark Mannheimer Straße (BP 586b)	Gewerbegebiet	B-Plan mit Mischpixelflächen nach GRZ	ja	16,11
5	Entwicklungsachse West / Entwicklung Bayreuther Straße (BP 586c)	Gewerbegebiet + Schule	B-Plan mit Mischpixelflächen nach GRZ + Sonderschulgebiet	nein	10,64
6	Willersinn / Oggersheim 2	Gewerbegebiet	FNP	nein	7,89
7	Am Funkfeuer / Oppau 4	Gewerbegebiet	FNP	nein	4,53
8	Oppau Südwest / Oppau 1	Wohngebiet	FNP	nein	11,61
9	Ruchheim Nordwest / Ruchheim 1	Wohngebiet	FNP	nein	6,48
10	Östlicher Ortsrand / Ruchheim 2	Wohngebiet	FNP	nein	1,55
11	Verbindungsfläche westl. Ortsrand / Ruchheim 3	Wohngebiet	FNP	nein	0,46
12	Am Friedhof / Ruchheim 4	Wohngebiet	FNP	nein	0,26
13	Rheingönheim Südost / Rheingönheim 2	Wohngebiet	FNP	nein	6,65
14	Rheingönheim Südwest / Rheingönheim 1	Wohngebiet	FNP	nein	4,30
15	Breite Straße / Maudach 1	Wohngebiet	FNP	nein	17,28
16	Heuweg / Mundenheim 1	Wohngebiet	FNP	nein	1,48
17	Im Zinkig / Ortwinstraße / Oppau 2	Wohngebiet	FNP	nein	0,98
18	Wolfsgrube/ Oppau 3	Wohngebiet	FNP	nein	0,16
19	Ruchheim Nördlich der A 650 West	Gewerbegebiet	FNP (Regionalplan)	nein	40,67
20	Maudach Süd - / Maudach 3	Gewerbegebiet	FNP	nein	49,00
21	Am Fügenberg / Gartenstadt 1	Wohngebiet	FNP	nein	0,58
22	Im Kappes / Rheingönheim	Wohngebiet	FNP	nein	9,65
23	Obere Weide / Rheingönheim	Wohngebiet	FNP	nein	7,43
24	Oppau West	Mischgebiet	FNP	nein	2,69
25	Im Bieth / Oppau	Wohngebiet	FNP	nein	1,02
26	Im Götzenstück / Rheingönheim	Wohngebiet	FNP	nein	8,58
27	Alwin-Mittasch-Park / Friesenheim 1	Wohngebiet	FNP	nein	0,56
28	Entwicklungsachse West / Gewerbegebiet südlich der Frankenthaler Straße (BP 586a)	Gewerbegebiet	B-Plan mit Mischpixelflächen nach GRZ	ja	7,96
29	Paracelsusstraße Süd (BP 551) / Oggersheim	Wohngebiet	B-Plan mit Gebäuden + Mischpixel	nein	8,81
30	Medizinisches Versorgungszentrum (BP 674) / Oppau	Sondergebiet	Konzept	ja	0,73
31	Luitpoldstraße Nord (BP 667) / Friesenheim	Wohngebiet	Konzept	ja	1,00
32	Rheingönheim 3	Wohngebiet	FNP	nein	0,78
33	Luitpoldhafen Süd (BP 644)	Urbanes Mischgebiet	B-Plan mit Gebäuden + Mischpixel	ja	2,45
34	Im Sommerfeld (BP 612) / Rheingönheim	Wohngebiet	nur wenige Gebäude und Bäume aus B-Plan	ja	3,03
35	Hochhaus Berliner Platz (BP 648)	Kerngebiet	Konzept	nein	0,48
36	Ruchheim Nördlich der A 650 Ost	Gewerbegebiet	FNP (Regionalplan)	nein	18,71
37	Polizeipräsidium / Mitte	Kerngebiet	Konzept	ja	0,51
38	Entwicklungsachse West / Südlich Stadtbahn	Gewerbegebiet	FNP	nein	19,05
39	Entwicklungsachse West / Erweiterung Engelsmann	Gewerbegebiet	FNP	nein	3,90
40	Entwicklungsachse West / Südwestlich Schulstandort	Gewerbegebiet	FNP	nein	7,86
41	Ruchheim Südwest 2	Wohngebiet	FNP	nein	7,19
42	Ruchheim Südwest 1	Wohngebiet	FNP	nein	3,83
43	Ruchheim Nordwest	Wohngebiet	FNP	nein	1,55
44	Ruchheim Süd und Ost	Wohngebiet	FNP	nein	13,32
45	Melm / Oggersheim 1	Wohngebiet	FNP	nein	2,48
46	Melm / Oggersheim 2	Wohngebiet	FNP	nein	6,50
47	Roßlache BASF Forschung/Verwaltung 1 / Oppau	Sondergebiet	FNP	nein	12,13
48	Roßlache BASF Forschung/Verwaltung 2 / Oppau	Sondergebiet	FNP	nein	0,91
49	Südlich Altholzweg / Rheingönheim	Wohngebiet	FNP	nein	1,57
50	City West - Nord / Mitte	Mischgebiet	Konzept + MP-Flächen (Außenfläche, FNP)	nein	21,89
51	City West - Mitte / Mitte	Mischgebiet	Konzept + MP-Flächen (Außenfläche, FNP)	nein	15,45
52	Ruchheim Nordost	Wohngebiet	FNP	nein	5,33
53	Betriebs- und Wertstoffhof Wollstraße (BP 603)	Gewerbegebiet	FNP (Mischpixel)	ja	8,00
54	Im Zinkig, Erweiterungsfläche	Wohngebiet	FNP (Mischpixel)	ja	1,10
55	BPP 655 Neuwiesenstraße	Wohngebiet	FNP (Mischpixel)	ja	0,20
56	westlich des Weihers, Melm	Wohngebiet	FNP (Mischpixel)	nein	1,00
57	Westlich B9 "TWL-Fläche"	Gewerbegebiet	FNP (Mischpixel)	nein	1,80
58	Schulfläche Ruchheim	Gemeinbedarfsfläche	FNP (Mischpixel)	nein	1,20
59	Photovoltaik-Anlage Metrogelände	Gewerbegebiet	FNP (Mischpixel)	nein	4,00
60	Am Sandloch (BP 257a)	Gewerbegebiet	teilweise Überplanung mit Mischpixel	ja	4,40
61	Am Sandloch, südliche Fläche	Gewerbegebiet	FNP (Mischpixel)	nein	5,50
62	Innenentwicklung im Bereich TV Rheingönheim	Mischgebiet	Konzept + Mischpixel	ja	0,30
63	Erweiterung Fa. Berkel	Gewerbegebiet	FNP (Mischpixel)		0,90

Anhang A 4: Klassifizierte Landnutzung des Ist-Zustandes.



Landnutzungsklassifizierung (Ist-Zustand)

- Gleisfläche
- Grün-/Freifläche
- Gewässer
- Sand
- Gebäude
- Straße/Versiegelung
- naturferner Boden
- Baum über Versiegelung
- Baum über Grünfläche
- Baum über naturferner Boden
- Solarpanele

sonstige Signaturen

- Entwicklungsflächen (Ist-Zustand)
- Stadtgrenze

Klimaanpassungskonzept Stadt Ludwigshafen

Kartenthema:
Modelleingangsdaten Landnutzung (Ist-Zustand & Zukunft ohne Stadtentwicklung)

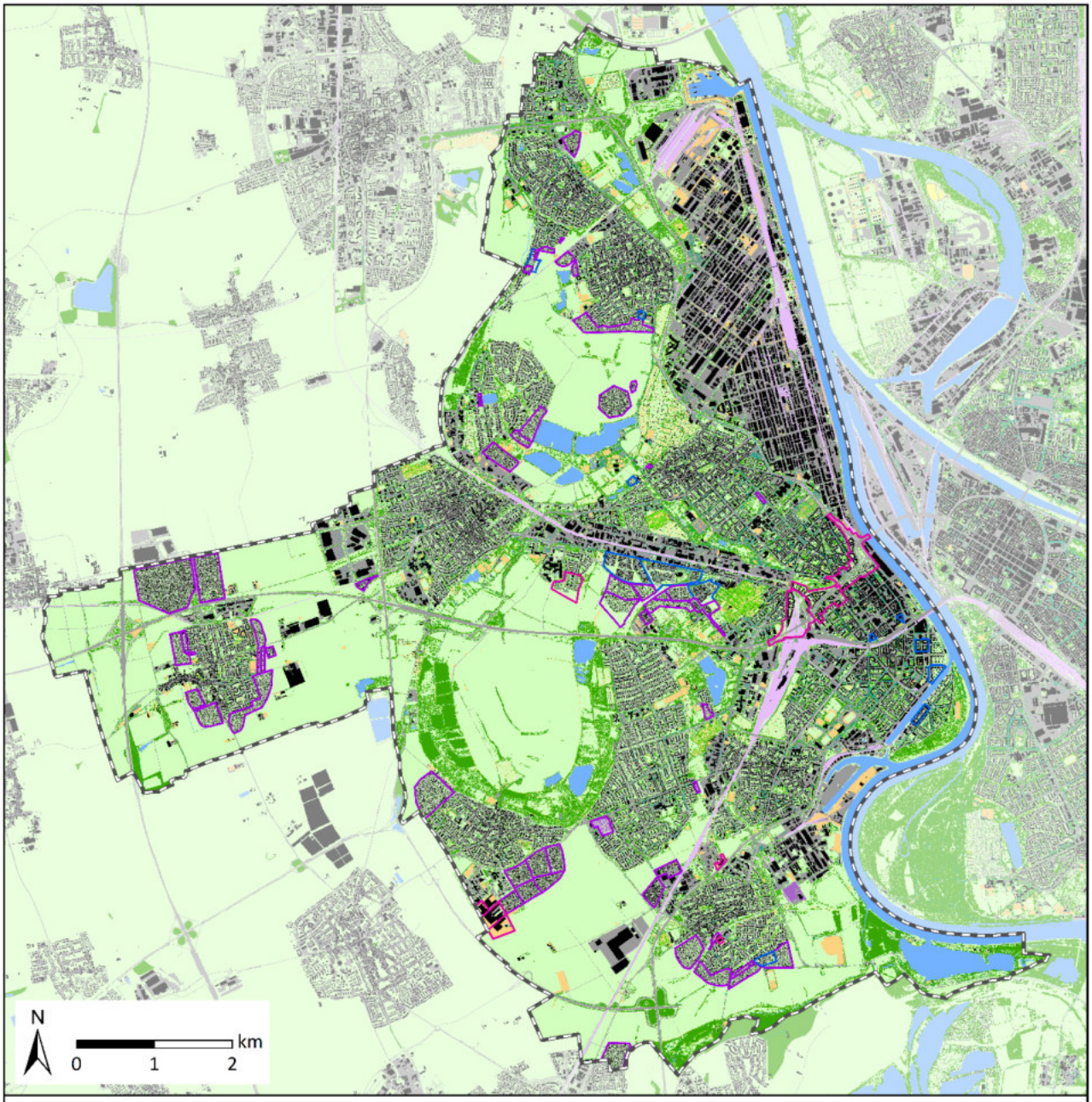
Wetterlage/Randbedingungen:
autochthoner Sommertag
Wolkenbedeckung 0/8
Bodenfeuchte: 60%

verwendetes Modell: FITNAH-3D

horizontale räumliche Auflösung: 5 m

Revisionsstand: REV00 (30.08.2024)

Anhang A 5: Klassifizierte Landnutzung mit Stadtentwicklung.



Landnutzungsklassifizierung (Zukunft mit Stadtentwicklung)

- Gleisfläche
- Grün-/Freifläche
- Gewässer
- Sand
- Gebäude
- Straße/Versiegelung
- naturferner Boden
- Baum über Versiegelung
- Baum über Grünfläche
- Baum über naturferner Boden
- Solarpanele

sonstige Signaturen

- Entwicklungsflächen (rechtskräftiger B-Plan)
- Entwicklungsflächen (Mischpixel) entsprechend der möglichen Bebauungsdichte & -höhe
- Entwicklungsflächen (erste Planungsentwürfe)
- Stadtgrenze

Klimaanpassungskonzept Stadt Ludwigshafen

Kartenthema:
Modelleingangsdaten Landnutzung (Zukunft mit Stadtentwicklung)

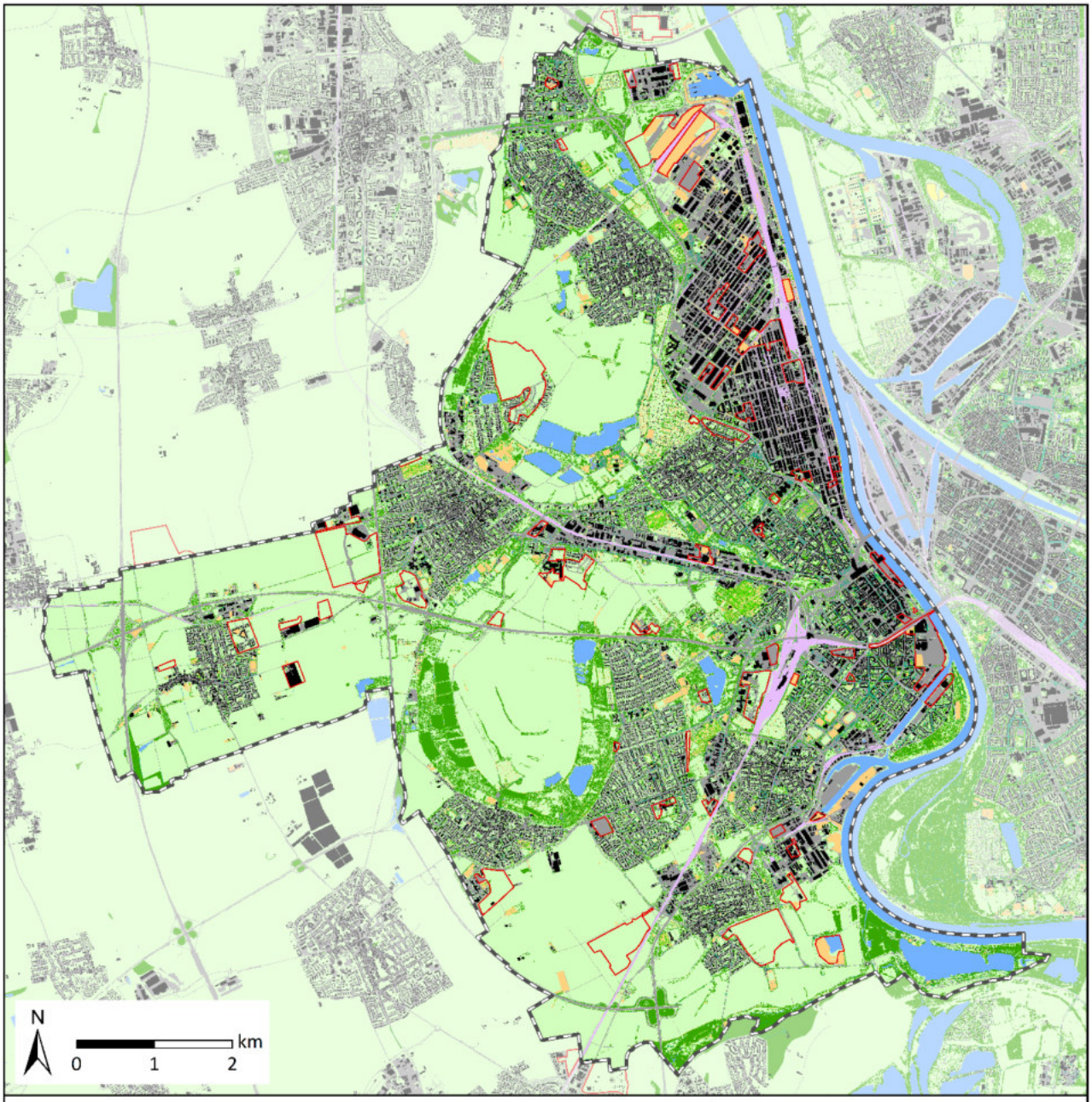
Wetterlage/Randbedingungen:
autochthoner Sommertag
Wolkenbedeckung 0/8
Bodenfeuchte: 30%

verwendetes Modell: FITNAH-3D

horizontale räumliche Auflösung: 5 m

Revisionsstand: REV02 (22.01.2025)

Anhang A 6: Klassifizierte Landnutzung des Szenarios „Vergangenheit 2000“



Landnutzungsklassifizierung (Vergangenheit 2000)

- Gleisfläche
- Grün-/Freifläche
- Gewässer
- Sand
- Gebäude
- Straße/Versiegelung
- naturferner Boden
- Baum über Versiegelung
- Baum über Grünfläche
- Baum über naturferner Boden
- Solarpanele

sonstige Signaturen

- Entwicklungsflächen (Vergangenheit)
- Stadtgrenze

Klimaanpassungskonzept Stadt Ludwigshafen

Kartenthema:
Modelleingangsdaten Landnutzung (Vergangenheit mit Stadtstruktur von 2000)

Wetterlage/Randbedingungen:
autochthoner Sommertag
Wolkenbedeckung 0/8
Bodenfeuchte: 60%

verwendetes Modell: FITNAH-3D

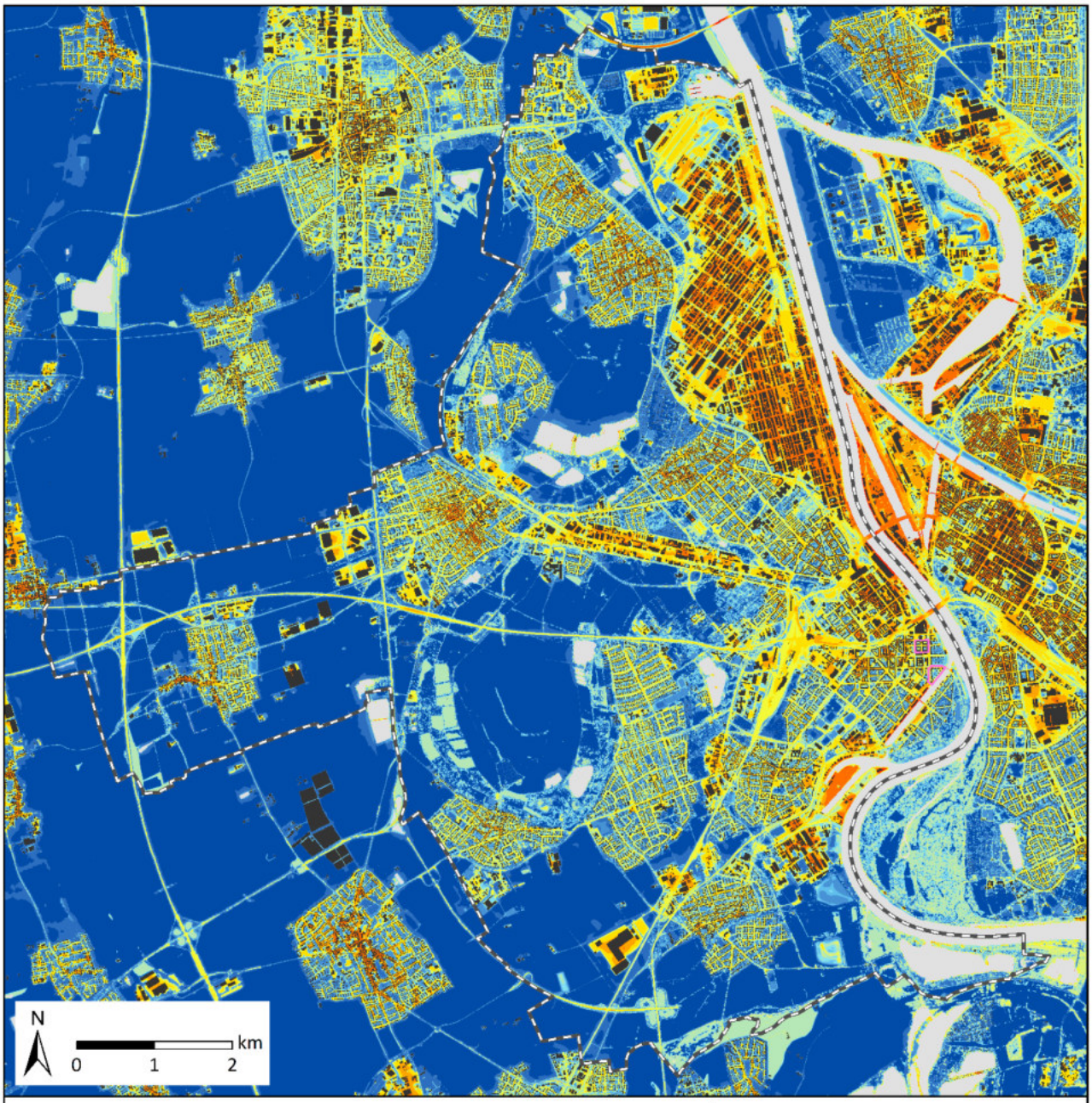
horizontale räumliche Auflösung: 5 m

Revisionsstand: REV00 (30.08.2024)

Anhang A 7: Zuordnung von Schwellenwerten des Bewertungsindexes PET während der Tagstunden (nach VDI 2004).

PET	Thermisches Empfinden	Physiologische Belastungsstufe
4 °C	Sehr kalt	Extreme Kältebelastung
8 °C	Kalt	Starke Kältebelastung
13 °C	Kühl	Mäßige Kältebelastung
18 °C	Leicht kühl	Schwache Kältebelastung
20 °C	Behaglich	Keine Wärmebelastung
23 °C	Leicht warm	Schwache Wärmebelastung
29 °C	Warm	Mäßige Wärmebelastung
35 °C	Heiß	Starke Wärmebelastung
41 °C	Sehr heiß	Extreme Wärmebelastung

Anhang A 8: Nächtliche bodennahe Lufttemperatur im Ist-Zustand in 2 m ü. Grund um 4 Uhr.



Modellergebnisse (Ist-Zustand)

nächtl. Lufttemperatur in 2 m ü. Grund *[in °C]*

bis 15	> 16,5 - 17	> 18,5 - 19	> 20,5 - 21
> 15 - 15,5	> 17 - 17,5	> 19 - 19,5	> 21 - 21,5
> 15,5 - 16	> 17,5 - 18	> 19,5 - 20	> 21,5 - 22
> 16 - 16,5	> 18 - 18,5	> 20 - 20,5	> 22

sonstige Signaturen

Stadtgrenze
Entwicklungsflächen (rechtskräftiger B-Plan)
Gebäude
Gewässer

Klimaanpassungskonzept Stadt Ludwigshafen

Kartenthema:
nächtl. Lufttemperatur 2 m ü. Grund
(4 Uhr-Nachtsituation; Ist-Zustand)

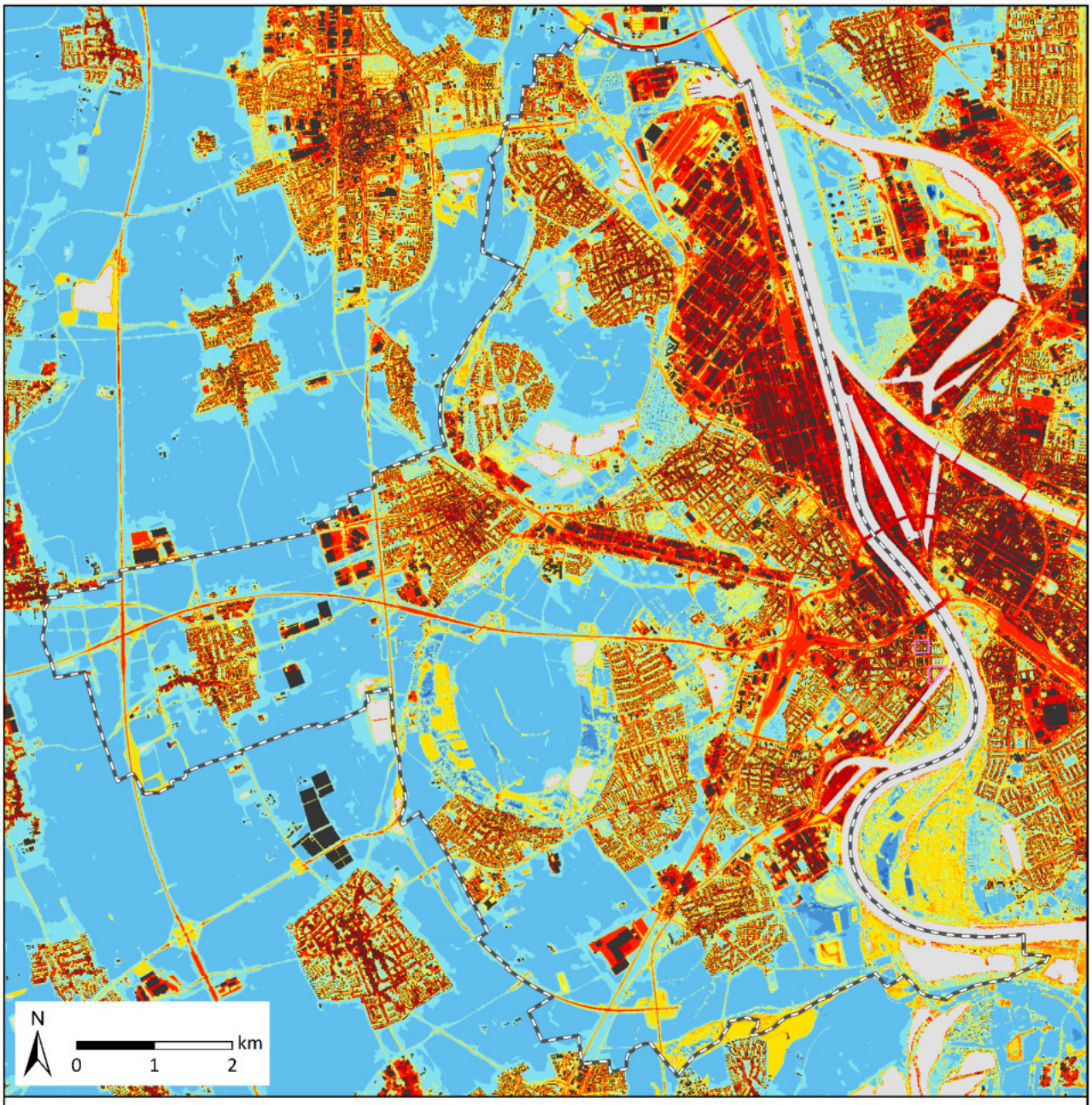
Wetterlage/Randbedingungen:
autochthoner Sommertag
Wolkenbedeckung 0/8
Bodenfeuchte 60%

verwendetes Modell: FITNAH-3D

horizontale räumliche Auflösung: 5 m

Revisionsstand: REV02 (29.10.2024)

Anhang A 9: Nächtliche bodennahe Lufttemperatur im Szenario „Starker Klimawandel ohne Stadtentwicklung“ in 2 m ü. Grund um 4 Uhr.



Modellergebnisse (Zukunft 2045 ohne Stadtentwicklung)

nächtl. Lufttemperatur in 2 m ü. Grund *[in °C]*

bis 15	> 16,5 - 17	> 18,5 - 19	> 20,5 - 21
> 15 - 15,5	> 17 - 17,5	> 19 - 19,5	> 21 - 21,5
> 15,5 - 16	> 17,5 - 18	> 19,5 - 20	> 21,5 - 22
> 16 - 16,5	> 18 - 18,5	> 20 - 20,5	> 22

sonstige Signaturen

Stadtgrenze
Entwicklungsflächen (rechtskräftiger B-Plan)
Gebäude
Gewässer

Klimaanpassungskonzept Stadt Ludwigshafen

Kartenthema:
nächtl. Lufttemperatur 2 m ü. Grund (4 Uhr-Nachtsituation; Zukunft 2045 - Klimawandel; +1.7 K & Trockenheit; ohne Stadtentwicklung)

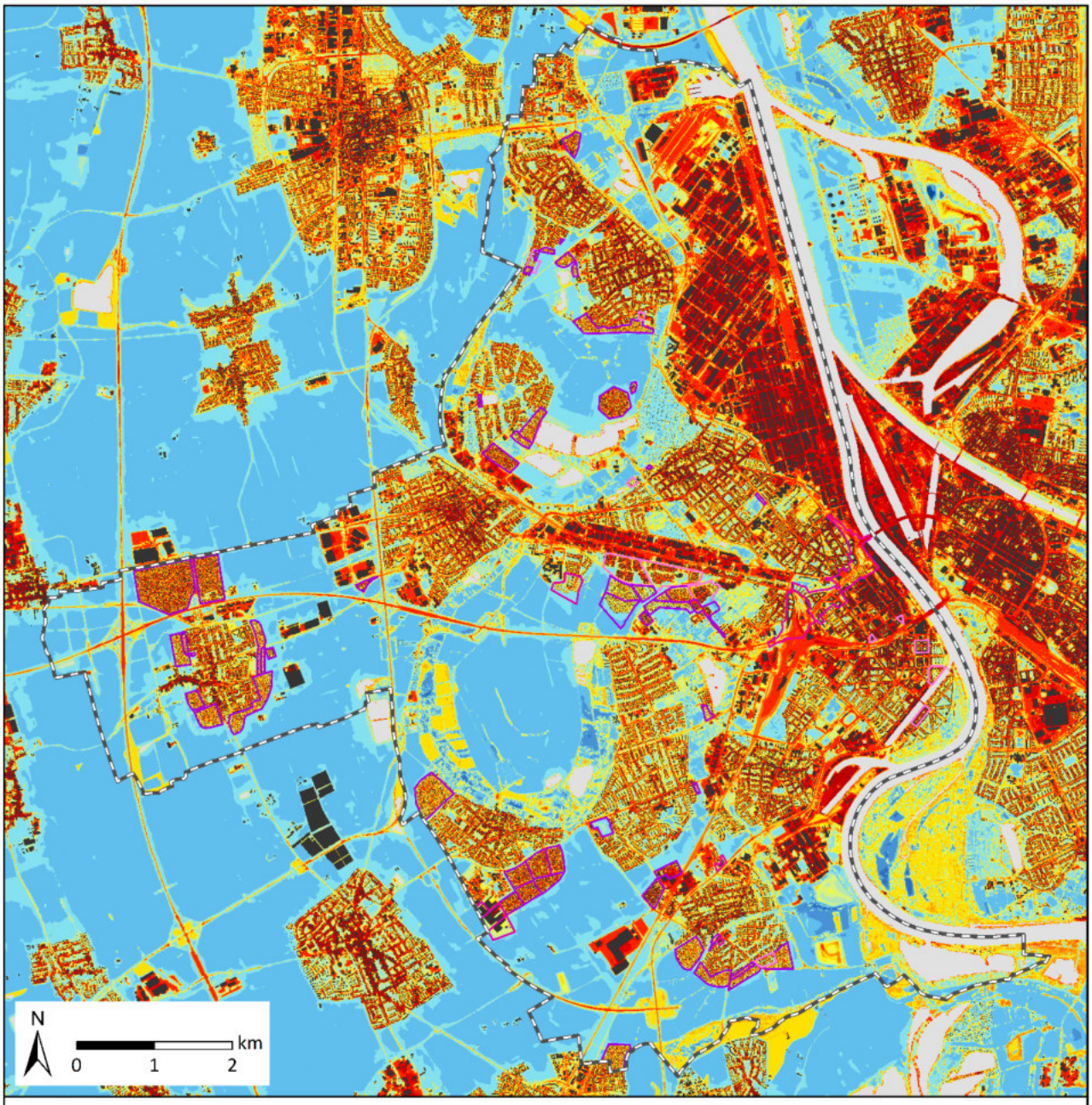
Wetterlage/Randbedingungen:
autochthoner Sommertag
Wolkenbedeckung 0/8
Bodenfeuchte 30%

verwendetes Modell: FITNAH-3D

horizontale räumliche Auflösung: 5 m

Revisionsstand: REV02 (30.09.2024)

Anhang A 10: Nächtliche bodennahe Lufttemperatur im Szenario „Starker Klimawandel mit Stadtentwicklung“ in 2 m ü. Grund um 4 Uhr.



Modellergebnisse (Zukunft 2045 mit Stadtentwicklung)

nächtl. Lufttemperatur in 2 m ü. Grund *[in °C]*

bis 15	> 16,5 - 17	> 18,5 - 19	> 20,5 - 21
> 15 - 15,5	> 17 - 17,5	> 19 - 19,5	> 21 - 21,5
> 15,5 - 16	> 17,5 - 18	> 19,5 - 20	> 21,5 - 22
> 16 - 16,5	> 18 - 18,5	> 20 - 20,5	> 22

sonstige Signaturen

- Stadtgrenze
- Gebäude
- Gewässer
- Entwicklungsflächen (rechtskräftiger B-Plan)
- Entwicklungsflächen (erste Planungsentwürfe)
- Entwicklungsflächen (Mischpixel) entsprechend der möglichen Bebauungsdichte & -höhe

Klimaanpassungskonzept Stadt Ludwigshafen

Kartenthema:
nächtl. Lufttemperatur 2 m ü. Grund (4 Uhr-Nachtsituation; Zukunft 2045 - Klimawandel; +1.7 K & Trockenheit; mit Stadtentwicklung)

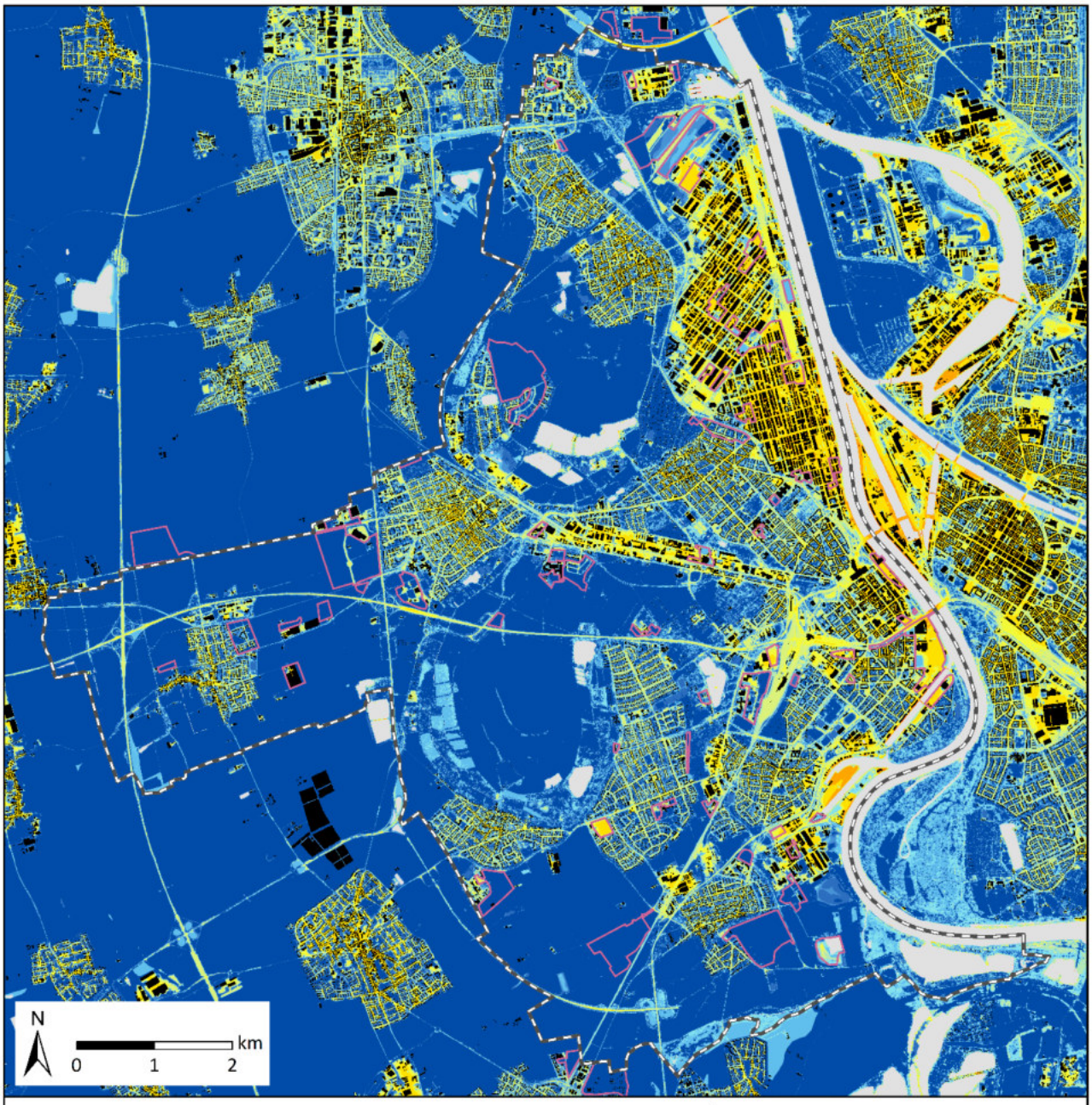
Wetterlage/Randbedingungen:
autochthoner Sommertag
Wolkenbedeckung 0/8
Bodenfeuchte 30%

verwendetes Modell: FITNAH-3D

horizontale räumliche Auflösung: 5 m

Revisionsstand: REV03 (22.01.2025)

Anhang A 11: Nächtliche bodennahe Lufttemperatur im Szenario „Vergangenheit 2000“ in 2 m ü. Grund um 4 Uhr.



Modellergebnisse (Vergangenheit 2000)

nächtl. Lufttemperatur in 2 m ü. Grund *[in °C]*

bis 15	> 16,5 - 17	> 18,5 - 19	> 20,5 - 21
> 15 - 15,5	> 17 - 17,5	> 19 - 19,5	> 21 - 21,5
> 15,5 - 16	> 17,5 - 18	> 19,5 - 20	> 21,5 - 22
> 16 - 16,5	> 18 - 18,5	> 20 - 20,5	> 22

sonstige Signaturen

Stadtgrenze
Entwicklungsflächen (Vergangenheit)
Gebäude
Gewässer

Klimaanpassungskonzept Stadt Ludwigshafen

Kartenthema:
nächtl. Lufttemperatur 2 m ü. Grund (4 Uhr-Nachtsituation; Vergangenheit 2000; -0,7 K)

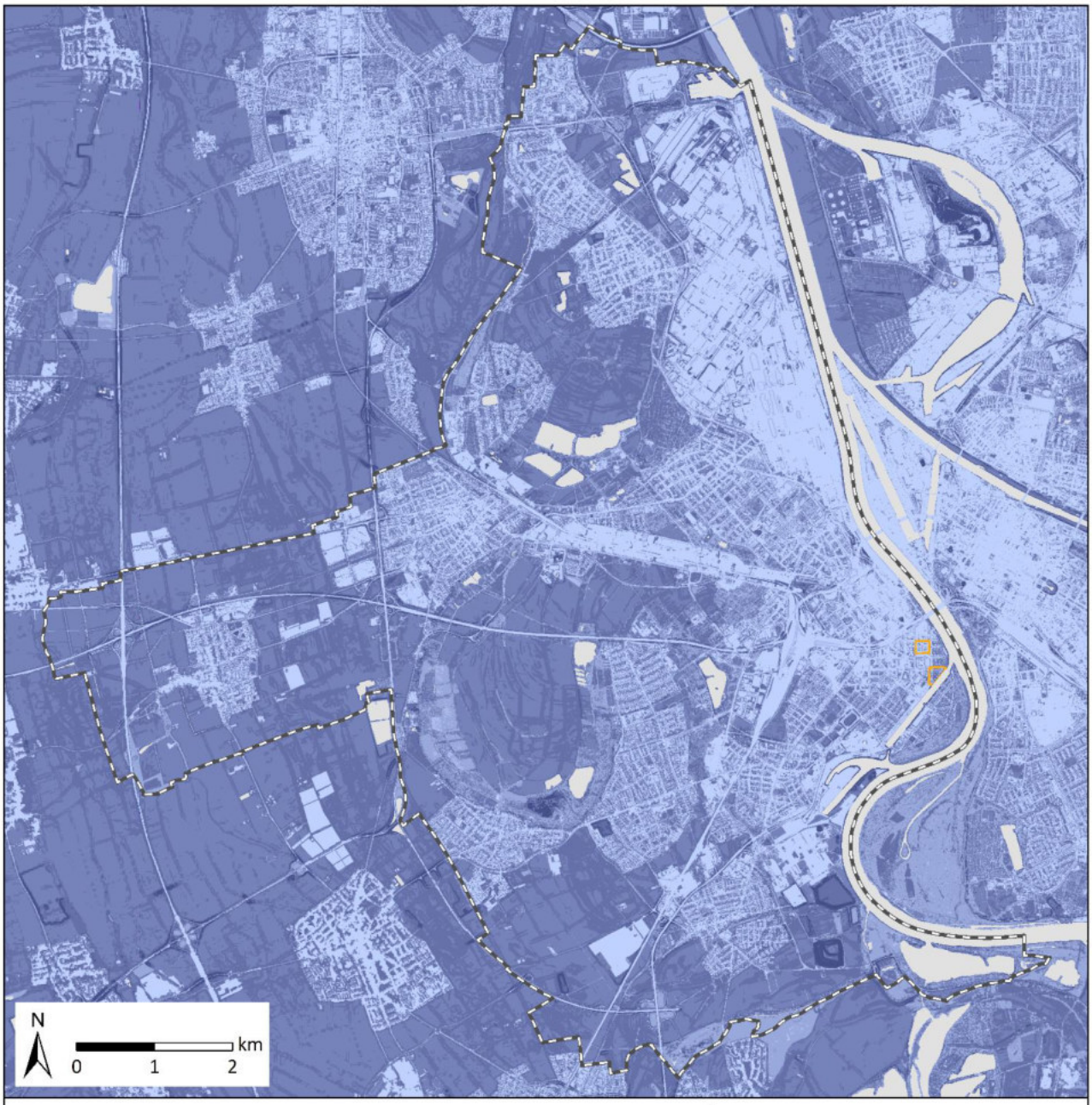
Wetterlage/Randbedingungen:
autochthoner Sommertag
Wolkenbedeckung 0/8
Bodenfeuchte 60%

verwendetes Modell: FITNAH-3D

horizontale räumliche Auflösung: 5 m

Revisionsstand: REV02 (29.10.2024)

Anhang A 12: Nächtliche Kaltluftproduktionsrate im Ist-Zustand.



Modellergebnisse (Ist-Zustand)

nächtl. Kaltluftproduktionsrate *[in m³/m²/h]*

- 0 - 5
- > 5 - 10
- > 10 - 15
- > 15 - 20
- > 20 - 30
- > 30 - 50
- > 50

sonstige Signaturen

- Stadtgrenze
- Entwicklungsflächen (rechtskräftiger B-Plan)
- Gewässer

Klimaanpassungskonzept Stadt Ludwigshafen

Kartenthema:
nächtliche Kaltluftproduktionsrate
(4 Uhr-Nachtsituation; Ist-Zustand)

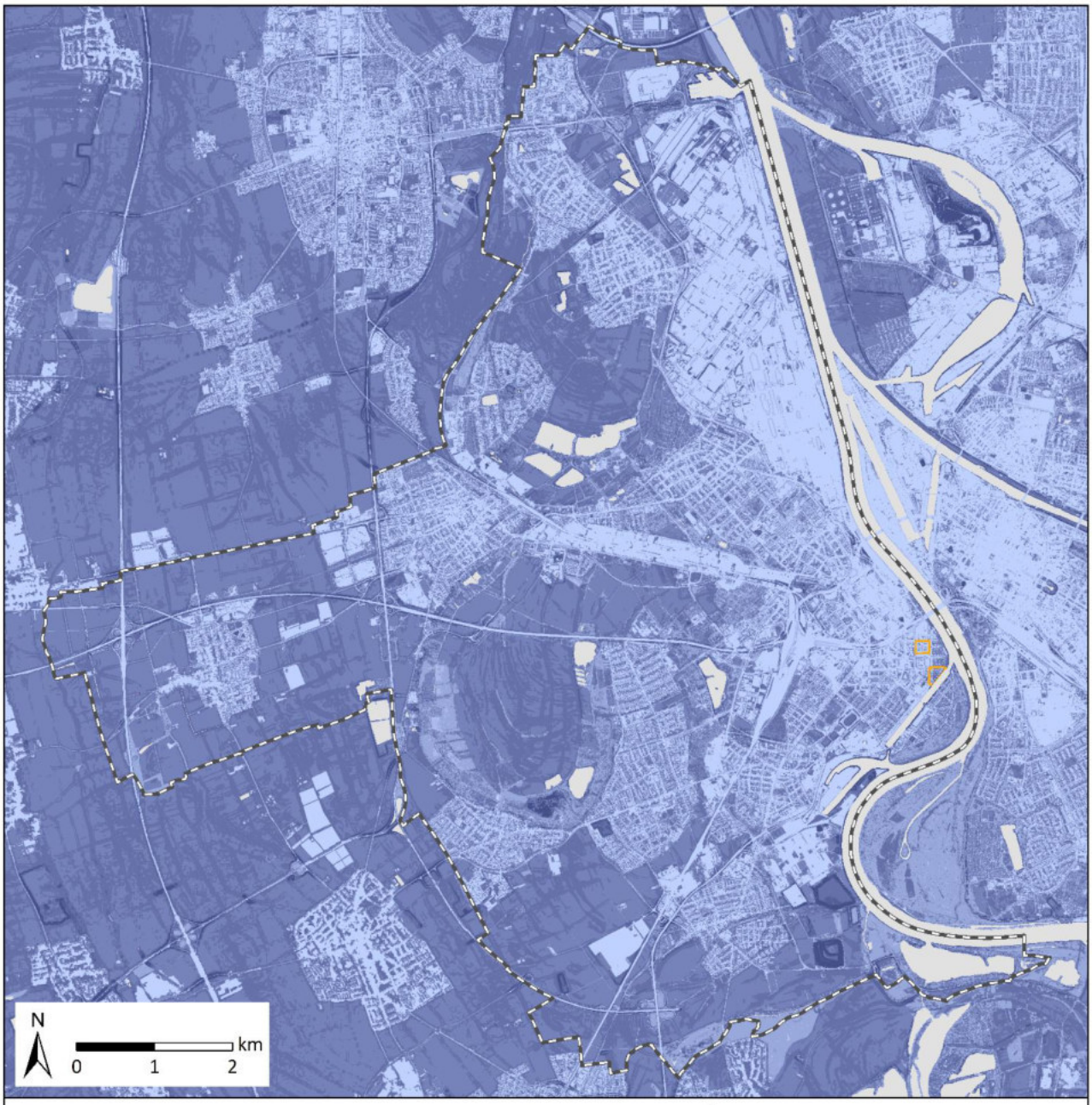
Wetterlage/Randbedingungen:
autochthoner Sommertag
Wolkenbedeckung 0/8
Bodenfeuchte 60%

verwendetes Modell: FITNAH-3D

horizontale räumliche Auflösung: 5 m

Revisionsstand: REV02 (30.09.2024)

Anhang A 13: Nächtliche Kaltluftproduktionsrate im Szenario „starker Klimawandel ohne Stadtentwicklung“.



Modellergebnisse (Zukunft 2045 ohne Stadtentwicklung)

nächtl. Kaltluftproduktionsrate *[in m³/m²/h]*

- 0 - 5
- > 5 - 10
- > 10 - 15
- > 15 - 20
- > 20 - 30
- > 30 - 50
- > 50

sonstige Signaturen

- Stadtgrenze
- Entwicklungsflächen (rechtskräftiger B-Plan)
- Gewässer

Klimaanpassungskonzept Stadt Ludwigshafen

Kartenthema:
nächtliche Kaltluftproduktionsrate (4 Uhr-Nachtsituation; Zukunft 2045 - Klimawandel; +1,7 K & Trockenheit; ohne Stadtentwicklung)

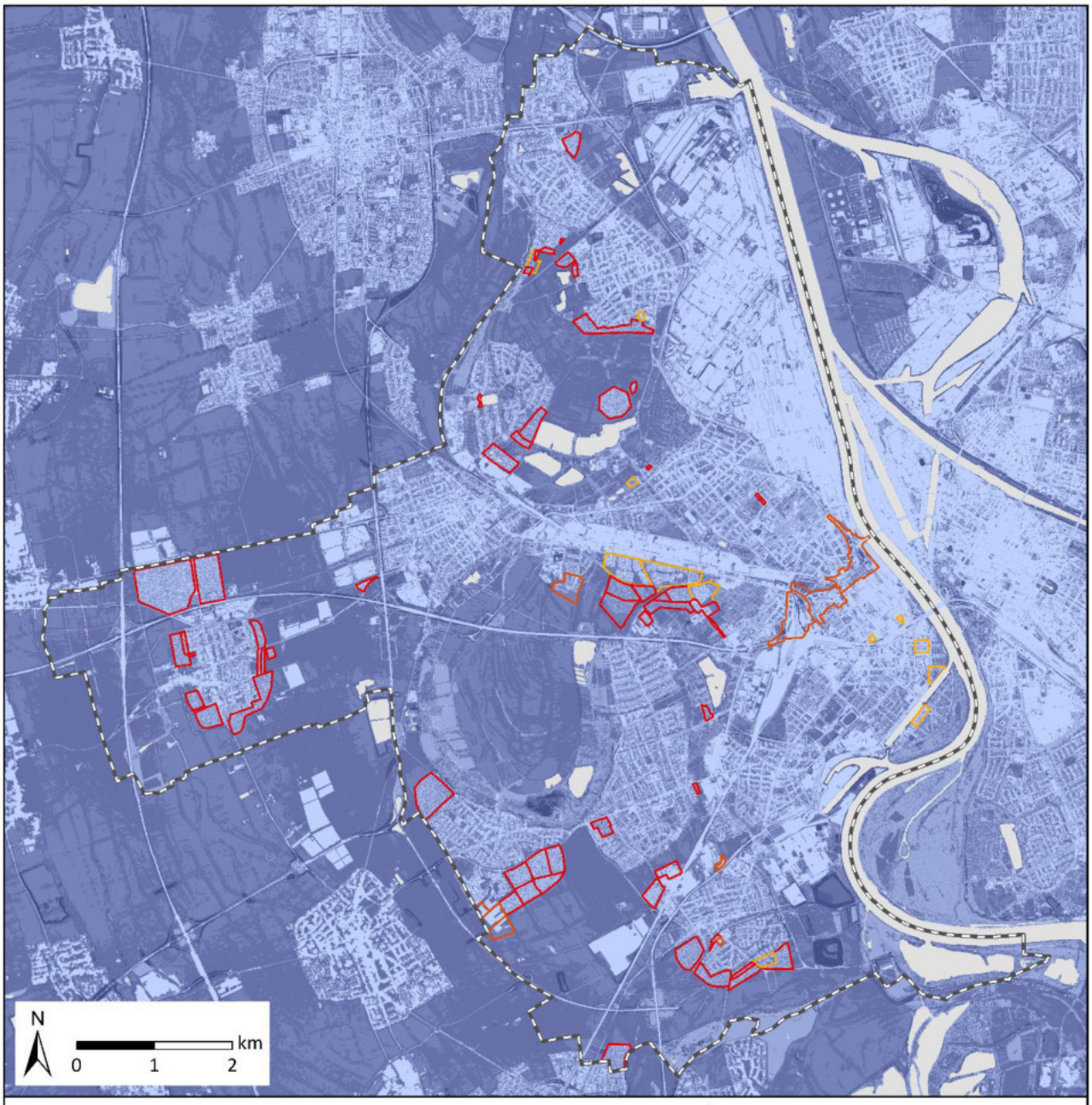
Wetterlage/Randbedingungen:
autochthoner Sommertag
Wolkenbedeckung 0/8
Bodenfeuchte 30%

verwendetes Modell: FITNAH-3D

horizontale räumliche Auflösung: 5 m

Revisionsstand: REV02 (30.09.2024)

Anhang A 14: Nächtliche Kaltluftproduktionsrate im Szenario „starker Klimawandel mit Stadtentwicklung“.



Modellergebnisse (Zukunft 2045 mit Stadtentwicklung)

nächtl. Kaltluftproduktionsrate *[in m³/m²/h]*

- 0 - 5
- > 5 - 10
- > 10 - 15
- > 15 - 20
- > 20 - 30
- > 30 - 50
- > 50

sonstige Signaturen

- Stadtgrenze
- Gewässer
- Entwicklungsflächen (rechtskräftiger B-Plan)
- Entwicklungsflächen (erste Planungsentwürfe)
- Entwicklungsflächen (Mischpixel) entsprechend der möglichen Bebauungsdichte & -höhe

Klimaanpassungskonzept Stadt Ludwigshafen

Kartenthema:
nächtliche Kaltluftproduktionsrate (4 Uhr-Nachtsituation; Zukunft 2045 - Klimawandel; +1,7 K & Trockenheit; mit Stadtentwicklung)

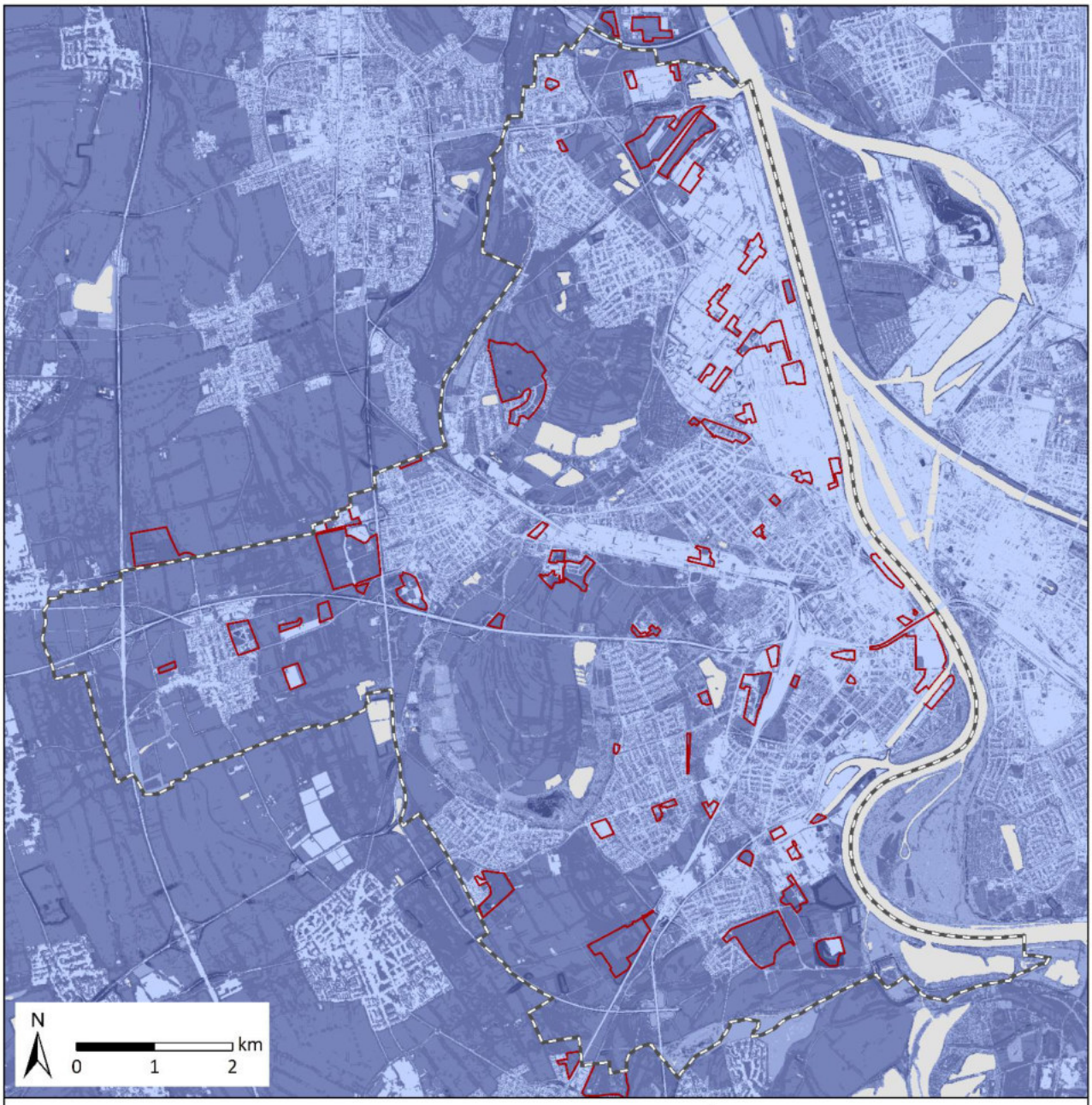
Wetterlage/Randbedingungen:
autochthoner Sommertag
Wolkenbedeckung 0/8
Bodenfeuchte 30%

verwendetes Modell: FITNAH-3D

horizontale räumliche Auflösung: 5 m

Revisionsstand: REV02 (22.01.2025)

Anhang A 15: Nächtliche Kaltluftproduktionsrate im Szenario „Vergangenheit 2000“.



Modellergebnisse (Vergangenheit 2000)

nächtl. Kaltluftproduktionsrate *[in m³/m²/h]*

- 0 - 5
- > 5 - 10
- > 10 - 15
- > 15 - 20
- > 20 - 30
- > 30 - 50
- > 50

sonstige Signaturen

- Stadtgrenze
- Entwicklungsflächen (Vergangenheit)
- Gewässer

Klimaanpassungskonzept Stadt Ludwigshafen

Kartenthema:
nächtliche Kaltluftproduktionsrate
(4 Uhr-Nachtsituation; Vergangenheit 2000; -0,7K)

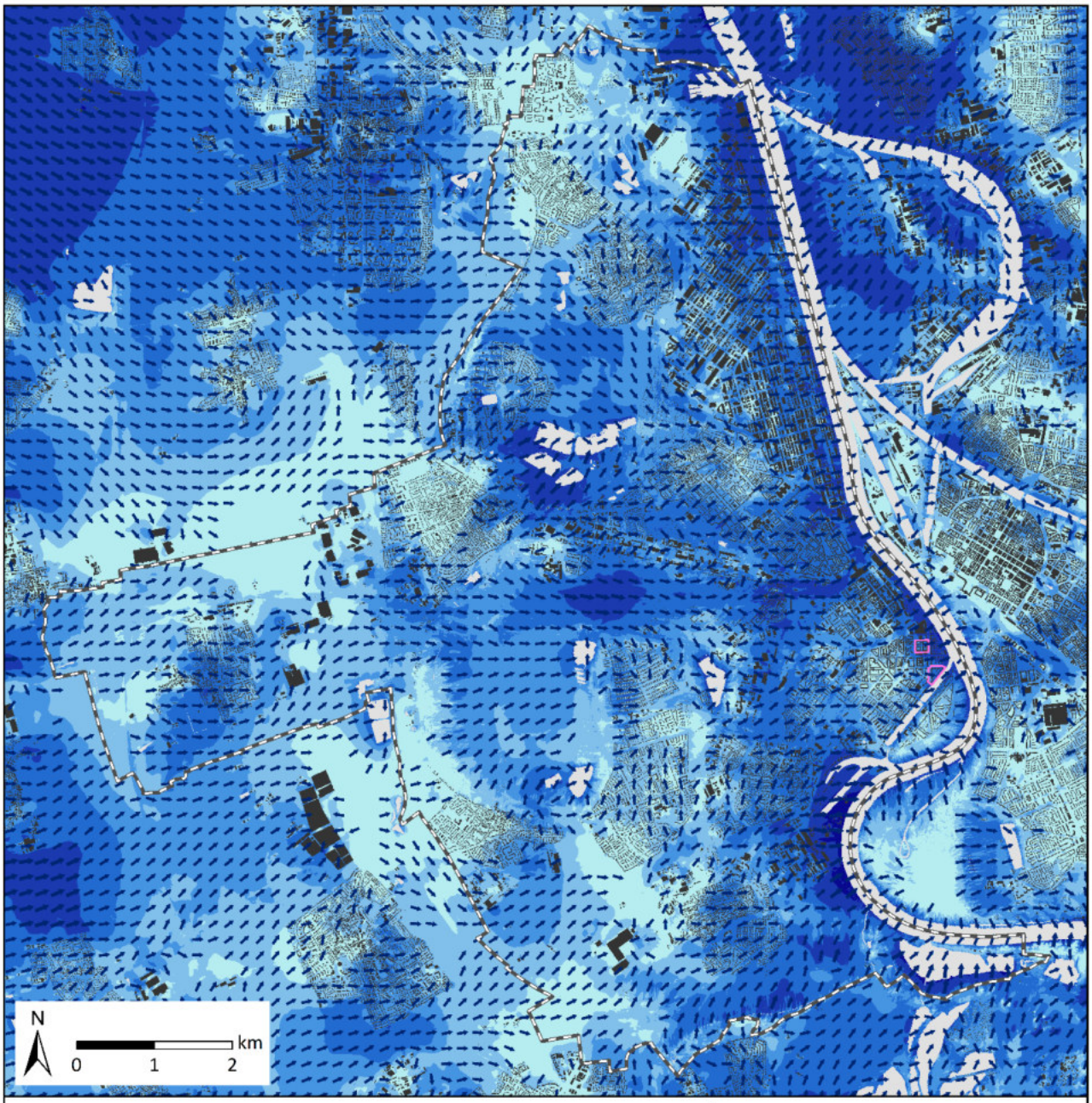
Wetterlage/Randbedingungen:
autochthoner Sommertag
Wolkenbedeckung 0/8
Bodenfeuchte 60%

verwendetes Modell: FITNAH-3D

horizontale räumliche Auflösung: 5 m

Revisionsstand: REV02 (30.09.2024)

Anhang A 16: Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom um 4 Uhr im Ist-Zustand.



Modellergebnisse (Ist-Zustand)

nächtl. Kaltluftvolumenstrom
*[in m³/(s*m)]*

- bis 5
- > 5 bis 7,5
- > 7,5 bis 10
- > 10 bis 15
- > 15 bis 25
- > 25

Windfeld in 10 m ü. Grund
[in m/s]

- 0,1 bis < 0,5
- > 0,5

sonstige Signaturen

- Stadtgrenze
- Gebäude
- Gewässer
- Entwicklungsflächen (rechtskräftiger B-Plan)

Klimaanpassungskonzept Stadt Ludwigshafen

Kartenthema:
nächtl. Kaltluftvolumenstrom
(4 Uhr-Nachtsituation; Ist-Zustand)

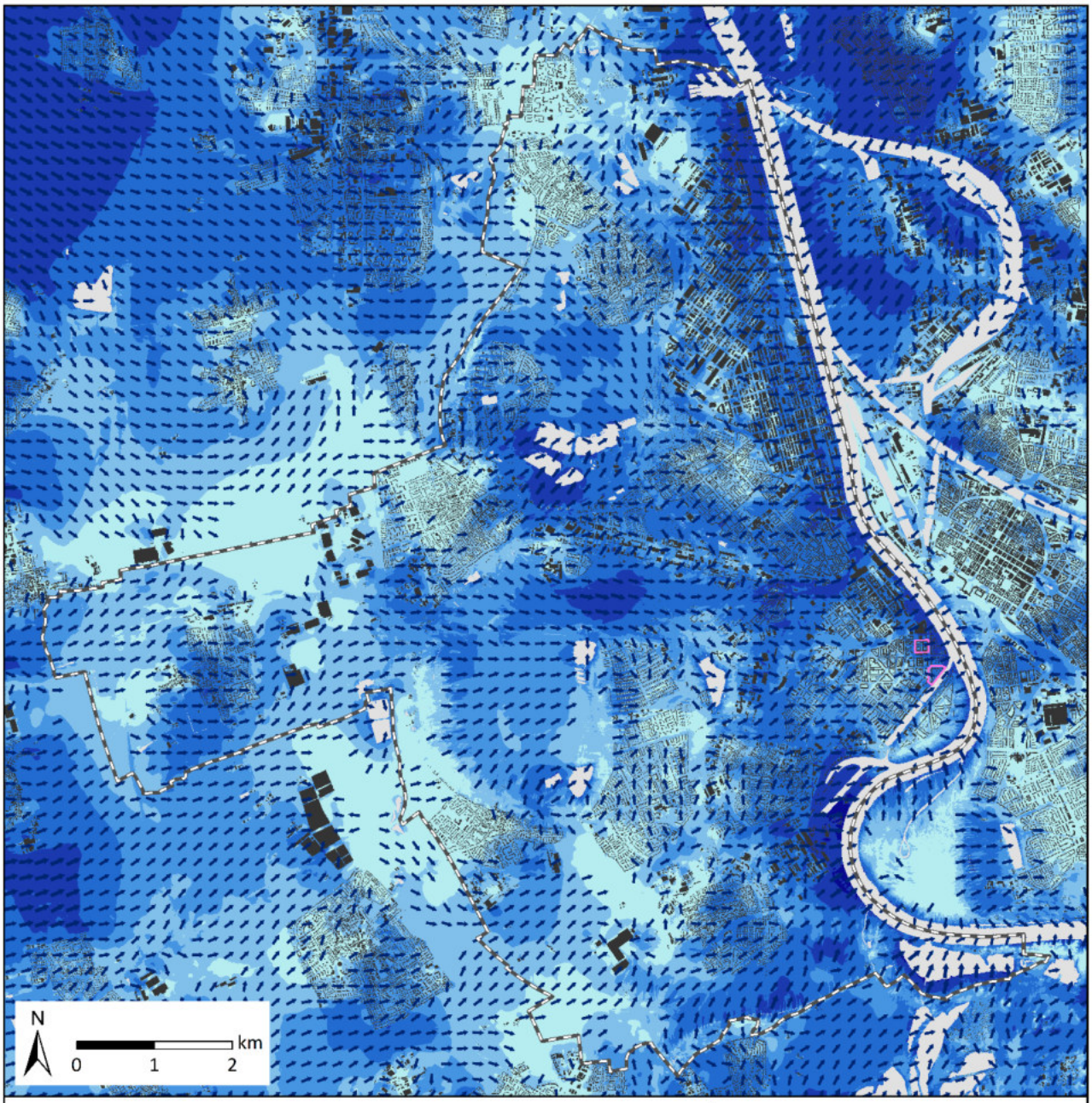
Wetterlage/Randbedingungen:
autochthoner Sommertag
Wolkenbedeckung 0/8
Bodenfeuchte 60%

verwendetes Modell: FITNAH-3D

horizontale räumliche Auflösung: 5 m

Revisionsstand: REV02 (30.09.2024)

Anhang A 17: Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom um 4 Uhr im Szenario „Starker Klimawandel ohne Stadtentwicklung“.



Modellergebnisse (Zukunft 2045 ohne Stadtentwicklung)

nächtl. Kaltluftvolumenstrom
*[in m³/(s*m)]*

- bis 5
- > 5 bis 7,5
- > 7,5 bis 10
- > 10 bis 15
- > 15 bis 25
- > 25

Windfeld in 10 m ü. Grund
[in m/s]

- 0,1 bis < 0,5
- > 0,5

sonstige Signaturen

- Stadtgrenze
- Gebäude
- Gewässer
- Entwicklungsflächen (rechtskräftiger B-Plan)

Klimaanpassungskonzept Stadt Ludwigshafen

Kartenthema:
nächtl. Kaltluftvolumenstrom
(4 Uhr-Nachtsituation; Zukunft 2045 - Klimawandel; +1,7 K & Trockenheit; ohne Stadtentwicklung)

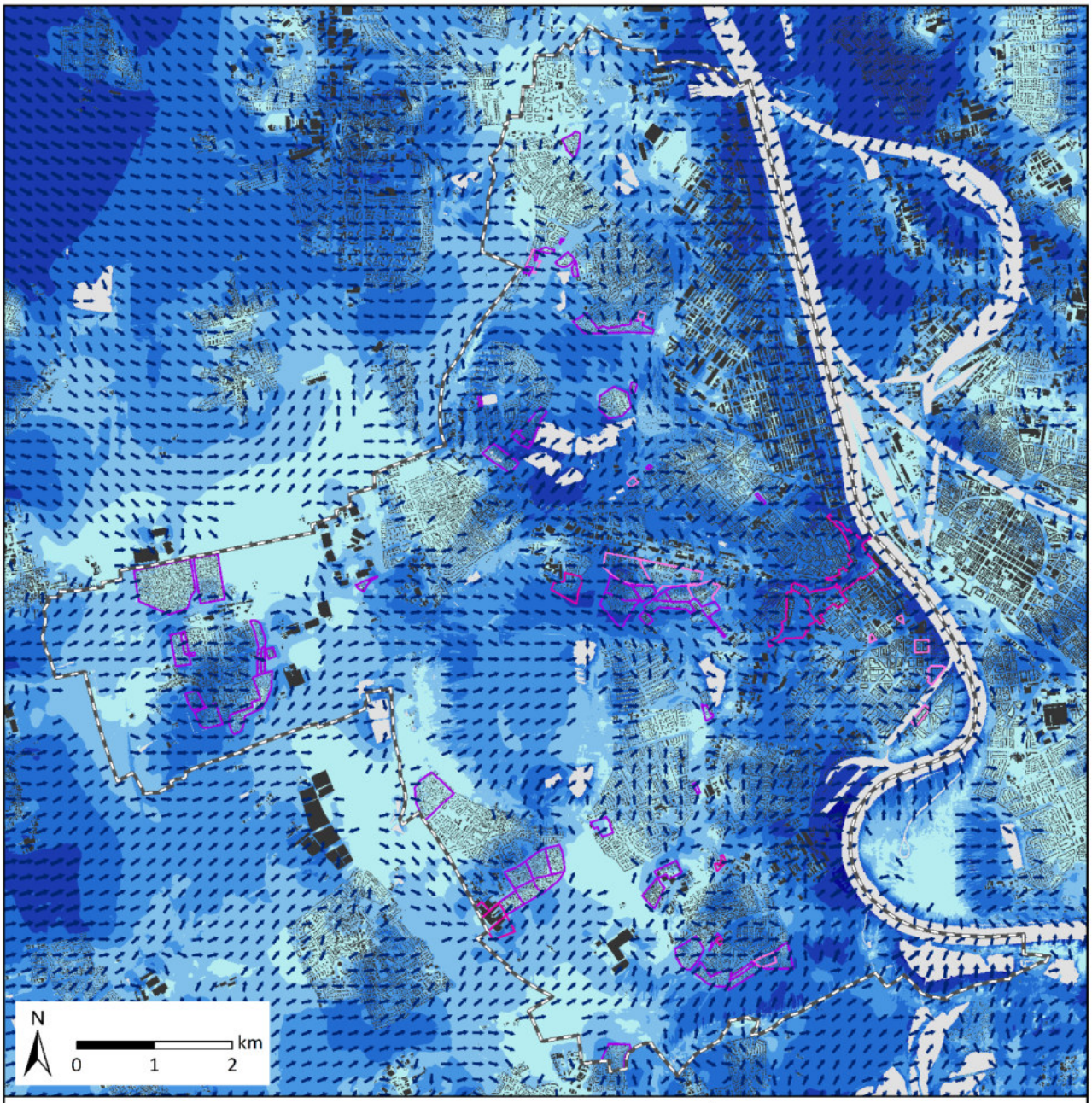
Wetterlage/Randbedingungen:
autochthoner Sommertag
Wolkenbedeckung 0/8
Bodenfeuchte 30%

verwendetes Modell: FITNAH-3D

horizontale räumliche Auflösung: 5 m

Revisionsstand: REV02 (30.09.2024)

Anhang A 18: Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom um 4 Uhr im Szenario „Starker Klimawandel mit Stadtentwicklung“.



Modellergebnisse (Zukunft 2045 mit Stadtentwicklung)

nächtl. Kaltluftvolumenstrom
*[in m³/(s*m)]*

- bis 5
- > 5 bis 7,5
- > 7,5 bis 10
- > 10 bis 15
- > 15 bis 25
- > 25

Windfeld in 10 m ü. Grund
[in m/s]

- 0,1 bis < 0,5
- > 0,5

sonstige Signaturen

- Stadtgrenze
- Gebäude
- Gewässer
- Entwicklungsflächen (rechtskräftiger B-Plan)
- Entwicklungsflächen (erste Planungsentwürfe)
- Entwicklungsflächen (Mischpixel)
  entsprechend der möglichen Bebauungsdichte & -höhe

Klimaanpassungskonzept Stadt Ludwigshafen

Kartenthema:
nächtl. Kaltluftvolumenstrom
(4 Uhr-Nachtsituation; Zukunft 2045 - Klimawandel; +1,7 K & Trockenheit; mit Stadtentwicklung)

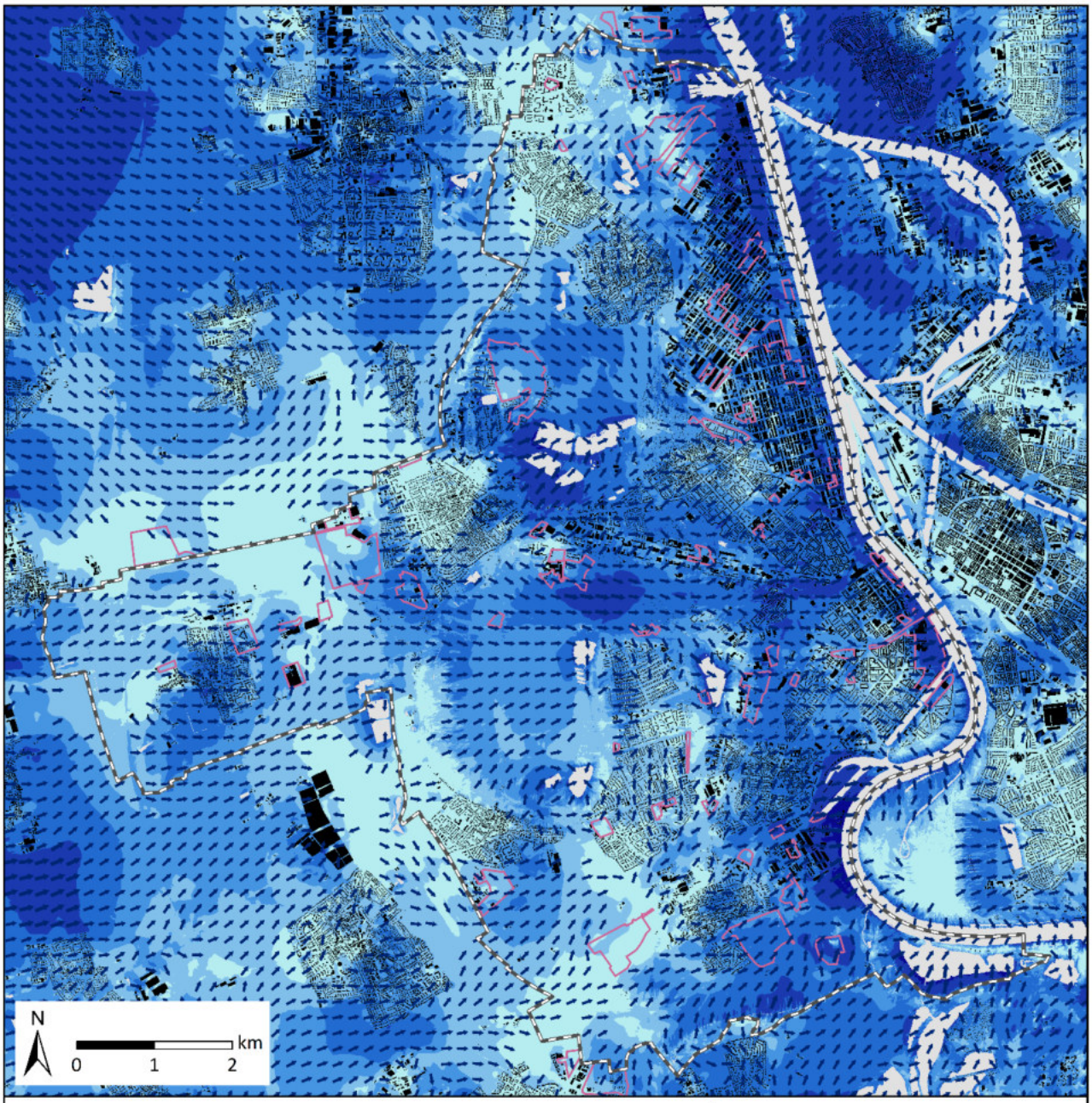
Wetterlage/Randbedingungen:
autochthoner Sommertag
Wolkenbedeckung 0/8
Bodenfeuchte 30%

verwendetes Modell: FITNAH-3D

horizontale räumliche Auflösung: 5 m

Revisionsstand: REV03 (22.01.2025)

Anhang A 19: Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom um 4 Uhr im Szenario „Vergangenheit 2000“.



Modellergebnisse (Vergangenheit 2000)

nächtl. Kaltluftvolumenstrom
*[in m³/(s*m)]*

- bis 5
- > 5 bis 7,5
- > 7,5 bis 10
- > 10 bis 15
- > 15 bis 25
- > 25

Windfeld in 10 m ü. Grund
[in m/s]

- 0,1 bis < 0,5
- > 0,5

sonstige Signaturen

- Stadtgrenze
- Gebäude
- Gewässer
- Entwicklungsflächen (Vergangenheit)

Klimaanpassungskonzept Stadt Ludwigshafen

Kartenthema:
nächtl. Kaltluftvolumenstrom
(4 Uhr-Nachtsituation; Vergangenheit 2000; -0,7K)

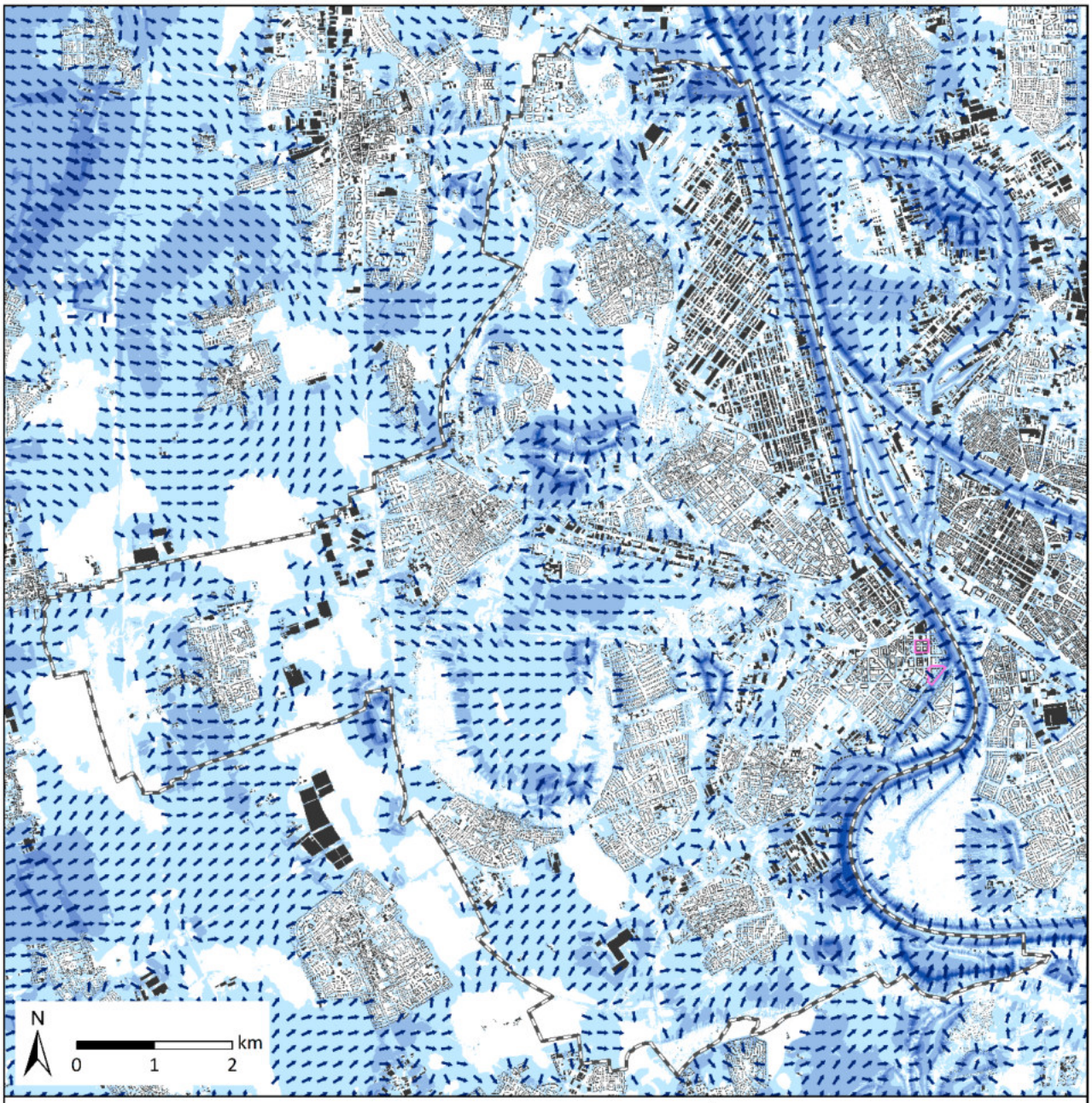
Wetterlage/Randbedingungen:
autochthoner Sommertag
Wolkenbedeckung 0/8
Bodenfeuchte 60%

verwendetes Modell: FITNAH-3D

horizontale räumliche Auflösung: 5 m

Revisionsstand: REV02 (30.09.2024)

Anhang A 20: Bodennahes Windfeld im Ist-Zustand in 2 m ü. Grund um 4 Uhr nachts.



Modellergebnisse (Ist-Zustand)

Windgeschwindigkeit in 2 m über Grund *[in m/s]*

- 0 - 0,1
- > 0,1 - 0,25
- > 0,25 - 0,5
- > 0,5 - 0,75
- > 0,75 - 1
- > 1

Windfeld in 2 m ü. Grund *[in m/s]*

- 0,1 bis < 0,5
- > 0,5

sonstige Signaturen

- Stadtgrenze
- Entwicklungsflächen (rechtskräftiger B-Plan)
- Gebäude

Klimaanpassungskonzept Stadt Ludwigshafen

Kartenthema:
Windgeschwindigkeit 2 m ü. Grund
(4 Uhr-Nachtsituation; Ist-Zustand)

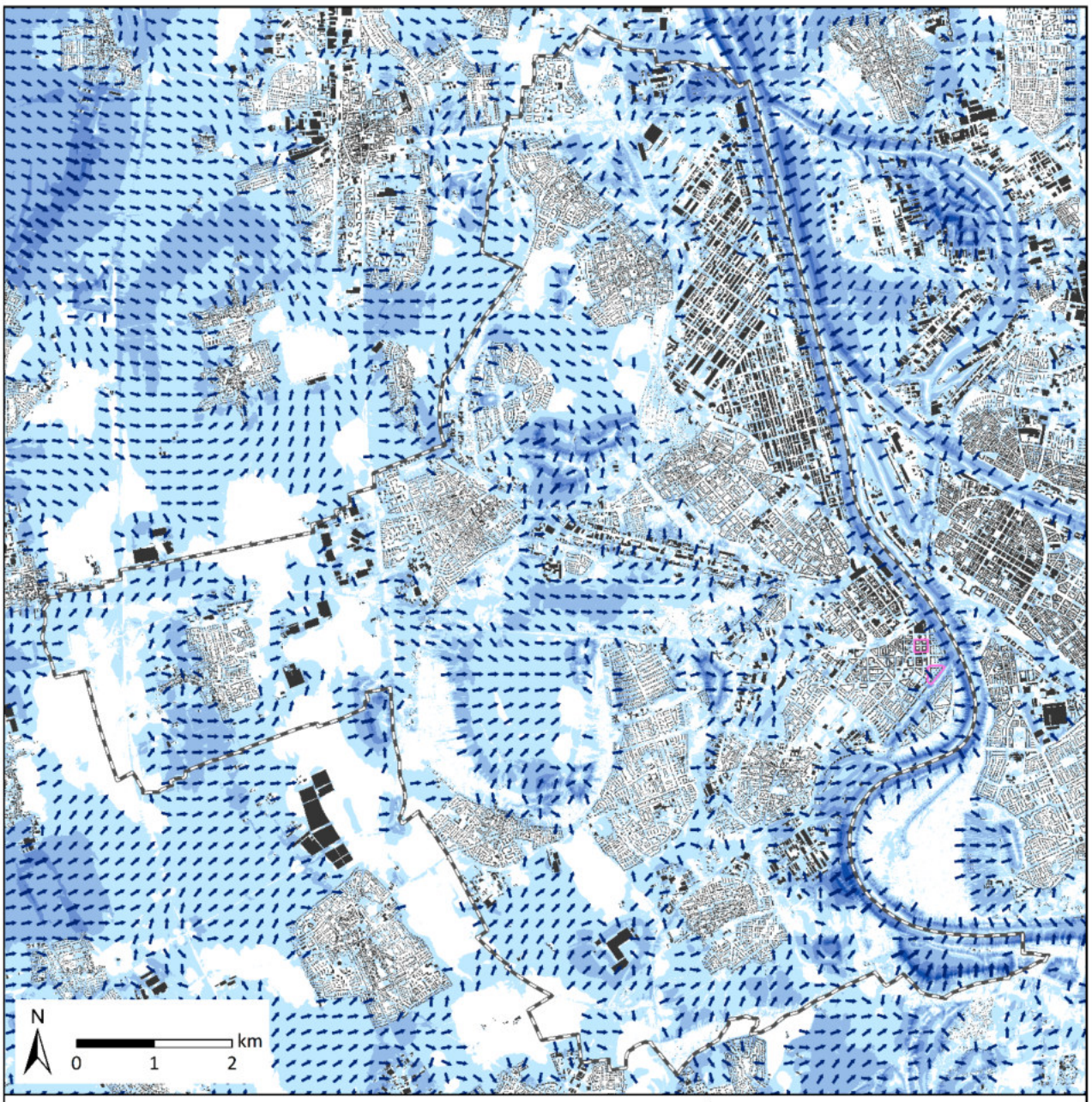
Wetterlage/Randbedingungen:
autochthoner Sommertag
Wolkenbedeckung 0/8
Bodenfeuchte 60%

verwendetes Modell: FITNAH-3D

horizontale räumliche Auflösung: 5 m

Revisionsstand: REV02 (30.09.2024)

Anhang A 21: Bodennahes Windfeld im Szenario „Starker Klimawandel ohne Stadtentwicklung“ in 2 m ü. Grund um 4 Uhr nachts.



Modellergebnisse (Zukunft 2045 ohne Stadtentwicklung)

Windgeschwindigkeit in 2 m über Grund *[in m/s]*

- 0 - 0,1
- > 0,1 - 0,25
- > 0,25 - 0,5
- > 0,5 - 0,75
- > 0,75 - 1
- > 1

Windfeld in 2 m ü. Grund *[in m/s]*

- 0,1 bis < 0,5
- > 0,5

sonstige Signaturen

- Stadtgrenze
- Entwicklungsflächen (rechtskräftiger B-Plan)
- Gebäude

Klimaanpassungskonzept Stadt Ludwigshafen

Kartenthema:
Windgeschwindigkeit 2 m ü. Grund (4 Uhr-Nachtsituation; Zukunft 2045 - Klimawandel; +1.7 K & Trockenheit; ohne Stadtentwicklung)

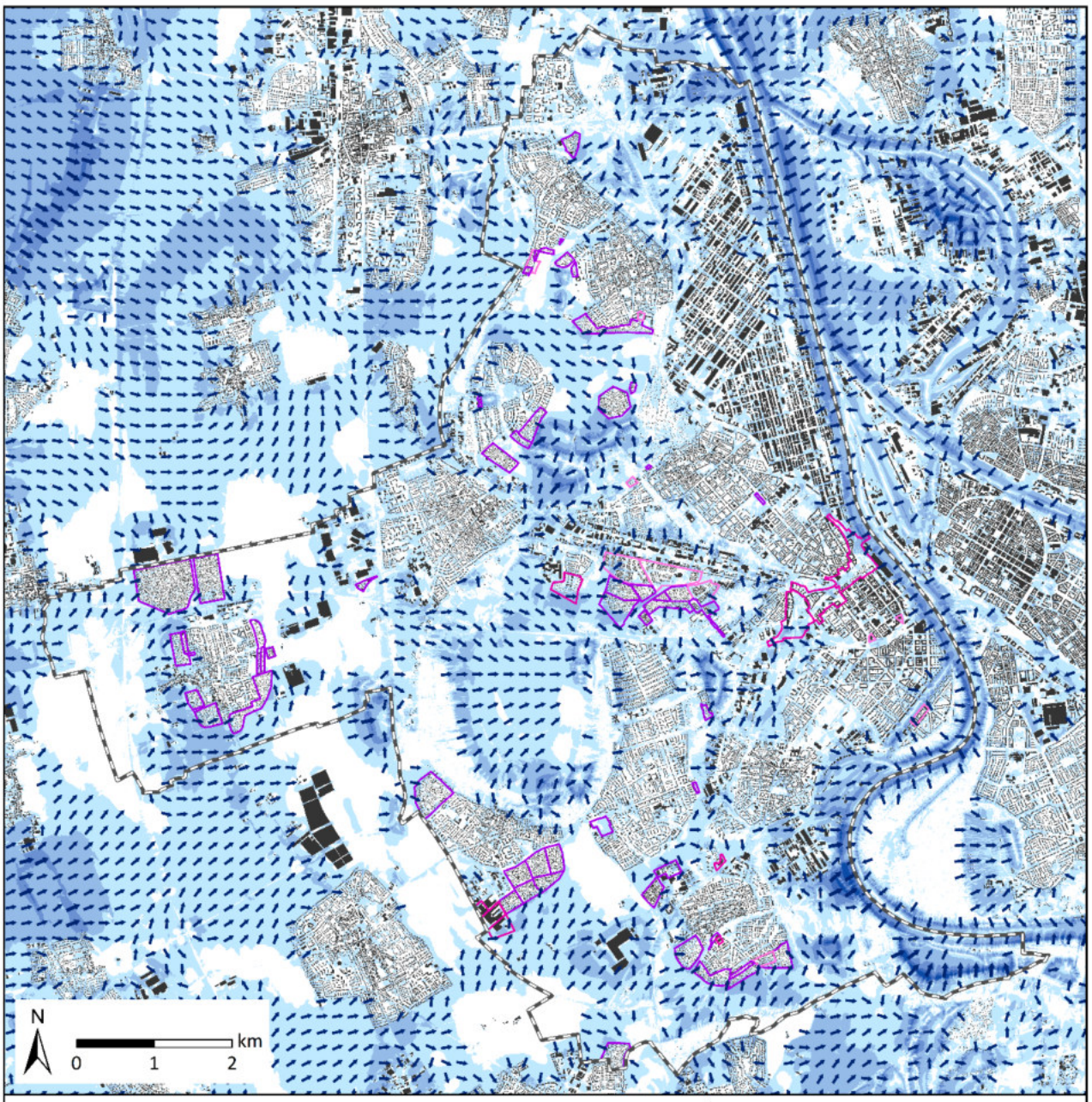
Wetterlage/Randbedingungen:
autochthoner Sommertag
Wolkenbedeckung 0/8
Bodenfeuchte 30%

verwendetes Modell: FITNAH-3D

horizontale räumliche Auflösung: 5 m

Revisionsstand: REV02 (30.09.2024)

Anhang A 22: Bodennahes Windfeld im Szenario „Starker Klimawandel mit Stadtentwicklung“ in 2 m ü. Grund um 4 Uhr nachts.



Modellergebnisse (Zukunft 2045 mit Stadtentwicklung)

Windgeschwindigkeit in 2 m über Grund *[in m/s]*

- 0 - 0,1
- > 0,1 - 0,25
- > 0,25 - 0,5
- > 0,5 - 0,75
- > 0,75 - 1
- > 1

Windfeld in 2 m ü. Grund *[in m/s]*

- 0,1 bis < 0,5
- > 0,5

sonstige Signaturen

- Stadtgrenze
- Gebäude
- Entwicklungsflächen (rechtskräftiger B-Plan)
- Entwicklungsflächen (erste Planungsentwürfe)
- Entwicklungsflächen (Mischpixel) entsprechend der möglichen Bebauungsdichte & -höhe

Klimaanpassungskonzept Stadt Ludwigshafen

Kartenthema:
Windgeschwindigkeit 2 m ü. Grund (4 Uhr-Nachtsituation; Zukunft 2045 - Klimawandel; +1.7 K & Trockenheit; mit Stadtentwicklung)

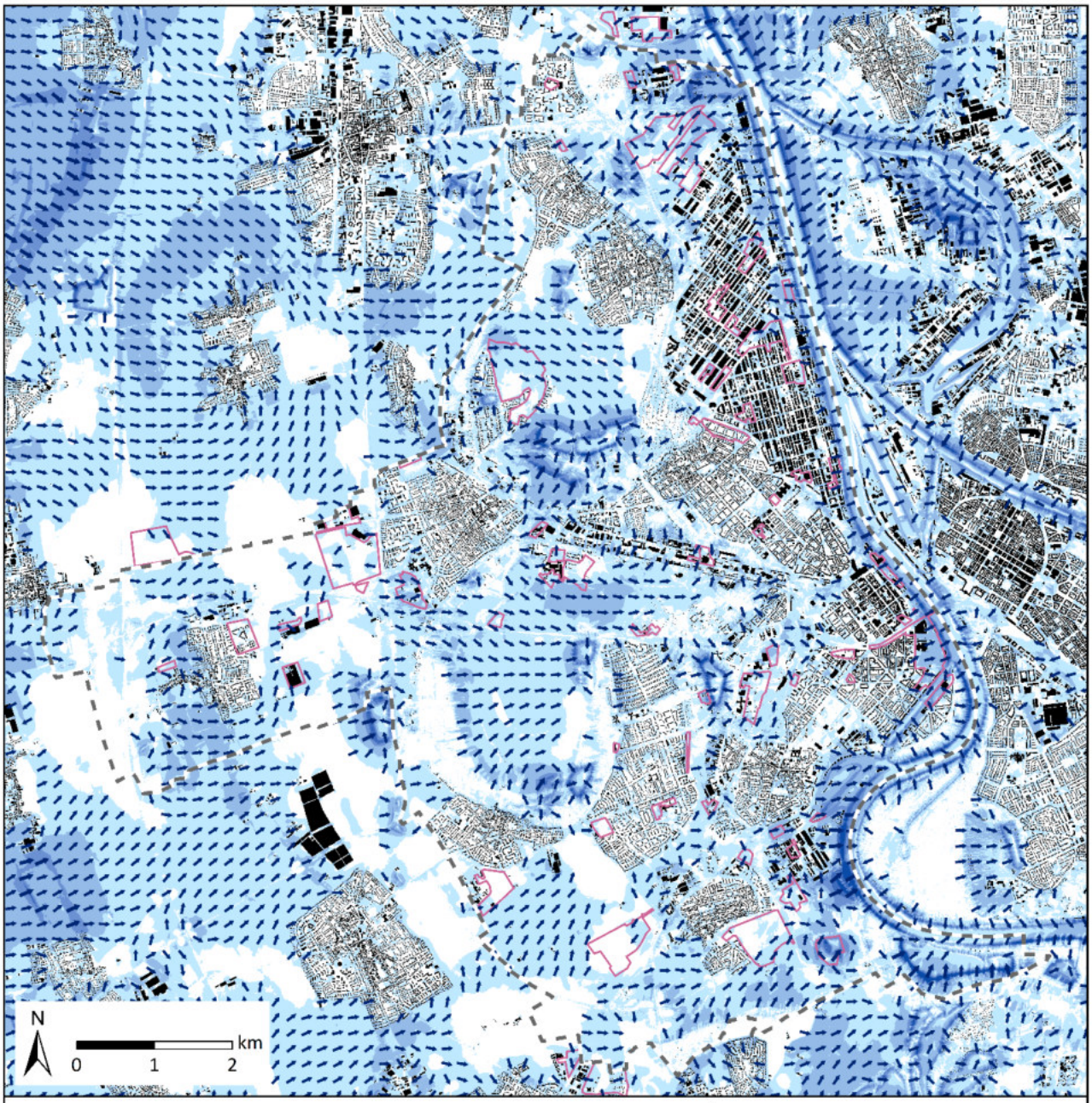
Wetterlage/Randbedingungen:
autochthoner Sommertag
Wolkenbedeckung 0/8
Bodenfeuchte 30%

verwendetes Modell: FITNAH-3D

horizontale räumliche Auflösung: 5 m

Revisionsstand: REV03 (22.01.2025)

Anhang A 23: Bodennahes Windfeld im Szenario „Vergangenheit 2000“ in 2 m ü. Grund um 4 Uhr nachts.



Modellergebnisse (Vergangenheit 2000)

Windgeschwindigkeit in 2 m über Grund *[in m/s]*

- 0 - 0,1
- > 0,1 - 0,25
- > 0,25 - 0,5
- > 0,5 - 0,75
- > 0,75 - 1
- > 1

Windfeld in 2 m ü. Grund *[in m/s]*

- 0,1 bis < 0,5
- > 0,5

sonstige Signaturen

- Stadtgrenze
- Entwicklungsflächen (Vergangenheit)
- Gebäude

Klimaanpassungskonzept Stadt Ludwigshafen

Kartenthema:
Windgeschwindigkeit 2 m ü. Grund
(4 Uhr-Nachtsituation; Vergangenheit 2000; -0,7 K)

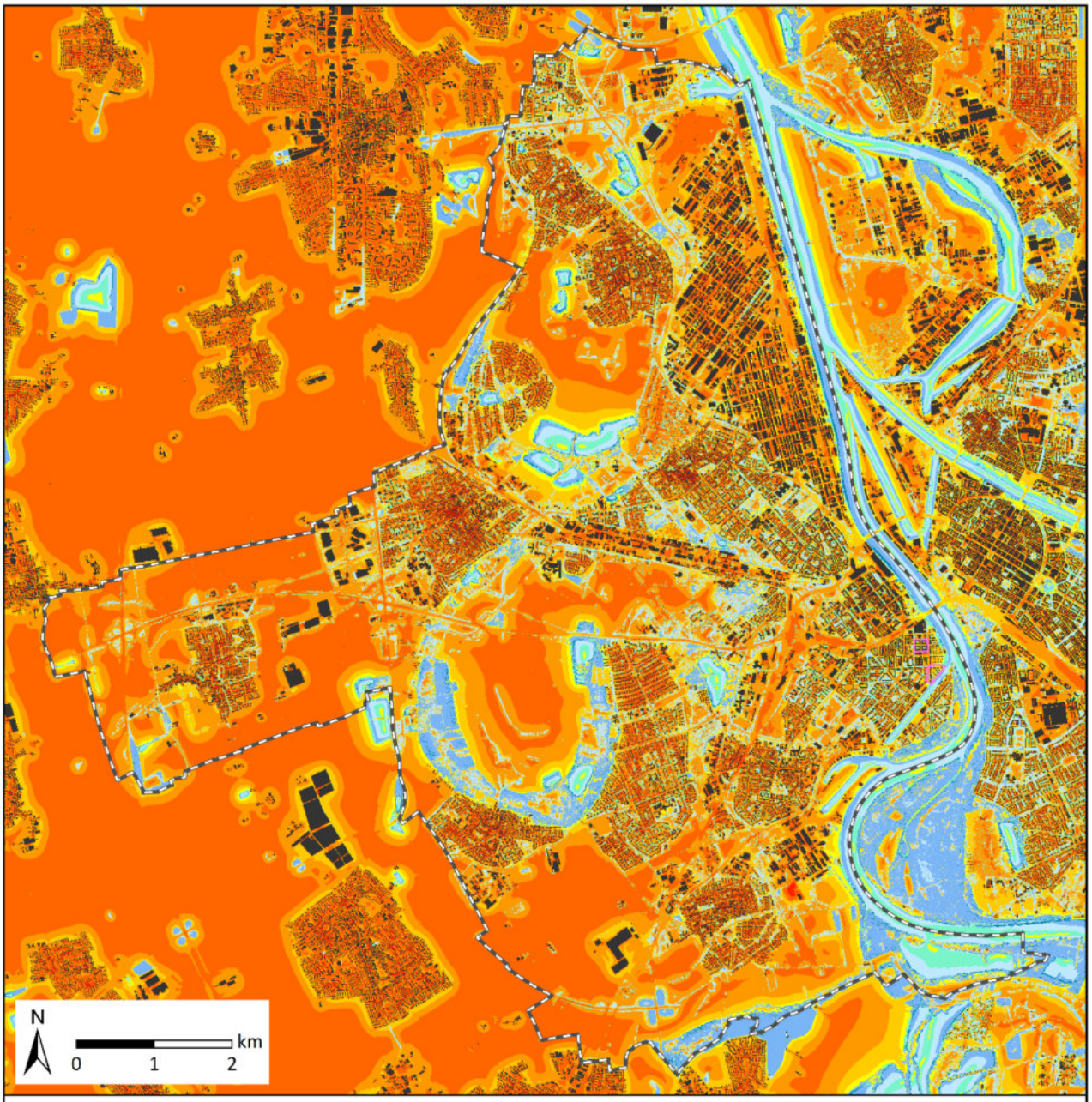
Wetterlage/Randbedingungen:
autochthoner Sommertag
Wolkenbedeckung 0/8
Bodenfeuchte 60%

verwendetes Modell: FITNAH-3D

horizontale räumliche Auflösung: 5 m

Revisionsstand: REV02 (30.09.2024)

Anhang A 24: Physiologisch Äquivalente Temperatur des Ist-Zustandes um 14 Uhr.



Modellergebnisse (Ist-Zustand)

Physiologisch Äquivalente Temperatur
[in °C; 1,1 m über Grund]

	bis 23	**keine Wärmebelastung***
	> 23 - 26	**schwache Wärmebelastung**
	> 26 - 29	
	> 29 - 32	**mäßige Wärmebelastung**
	> 32 - 35	
	> 35 - 38	**starke Wärmebelastung**
	> 38 - 41	
	> 41 - 44	**extreme Wärmebelastung**
	> 44	

sonstige Signaturen
- Stadtgebietsgrenze
- Gebäude
- Entwicklungsflächen (rechtskräftiger B-Plan)

*** Wärmebelastungsstufe gemäß VDI 3787 Blatt 9**

Klimaanpassungskonzept Stadt Ludwigshafen

Kartenthema:
Physiologisch Äquivalente Temperatur
(14 Uhr-Tagsituation; Ist-Zustand)

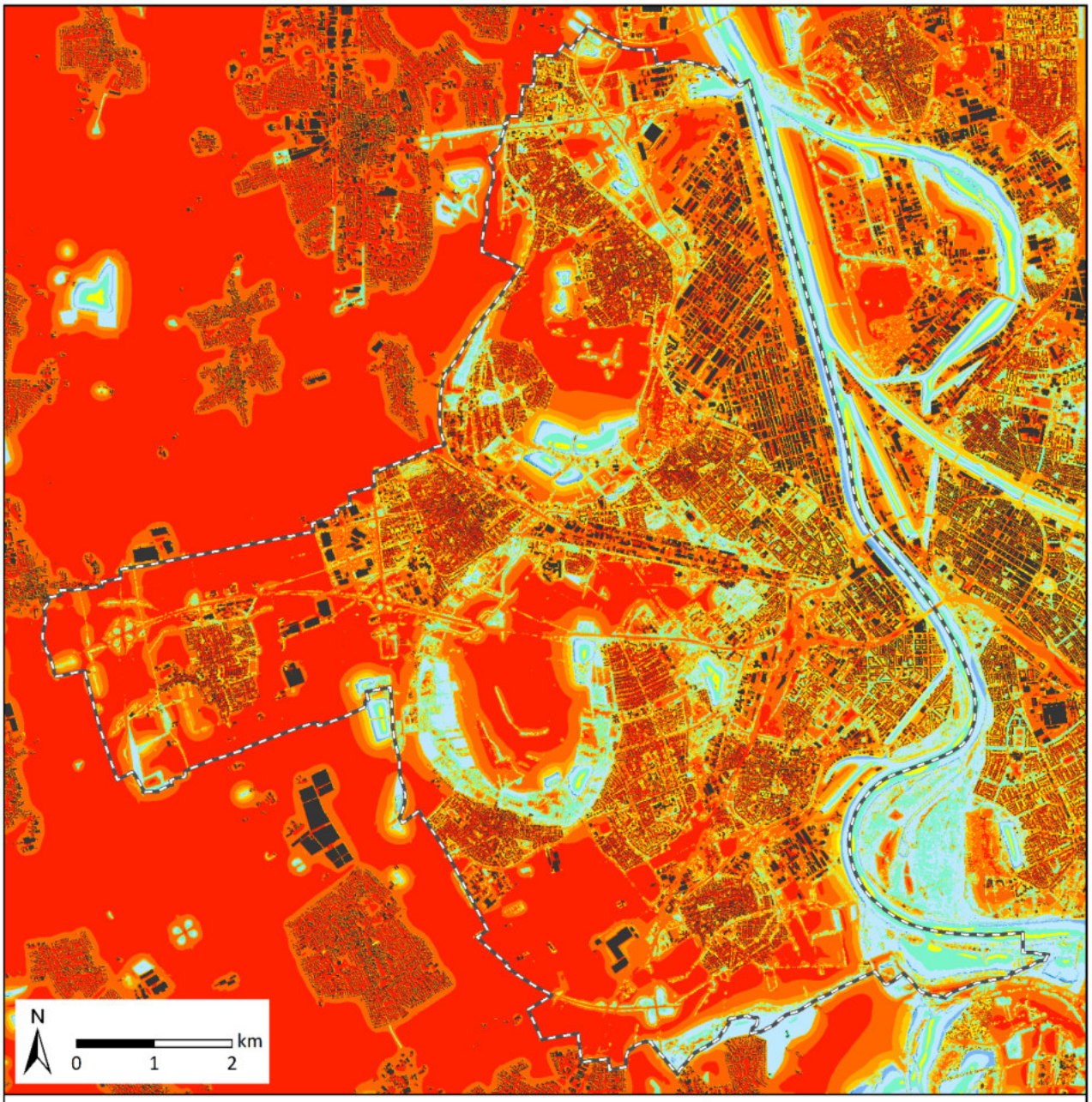
Wetterlage/Randbedingungen:
autochthoner Sommertag
Wolkenbedeckung 0/8
Bodenfeuchte 60%

verwendetes Modell: FITNAH-3D

horizontale räumliche Auflösung: 5 m

Revisionsstand: REV02 (30.09.2024)

Anhang A 25: Physiologisch Äquivalente Temperatur des Szenarios „Starker Klimawandel ohne Stadtentwicklung“ um 14 Uhr.



Modellergebnisse (Zukunft 2045 ohne Stadtentwicklung)

Physiologisch Äquivalente Temperatur

[in °C; 1,1 m über Grund]

- bis 23 — **keine Wärmebelastung***
- > 23 - 26, > 26 - 29 — **schwache Wärmebelastung**
- > 29 - 32, > 32 - 35 — **mäßige Wärmebelastung**
- > 35 - 38, > 38 - 41 — **starke Wärmebelastung**
- > 41 - 44, > 44 — **extreme Wärmebelastung**

sonstige Signaturen

- Stadtgebietsgrenze
- Gebäude
- Entwicklungsflächen (rechtskräftiger B-Plan)

*** Wärmebelastungsstufe gemäß VDI 3787 Blatt 9**

Klimaanpassungskonzept Stadt Ludwigshafen

Kartenthema:
Physiologisch Äquivalente Temperatur (14 Uhr-Tagsituation; Zukunft 2045 - Klimawandel; +1.7 K & Trockenheit; ohne Stadtentwicklung)

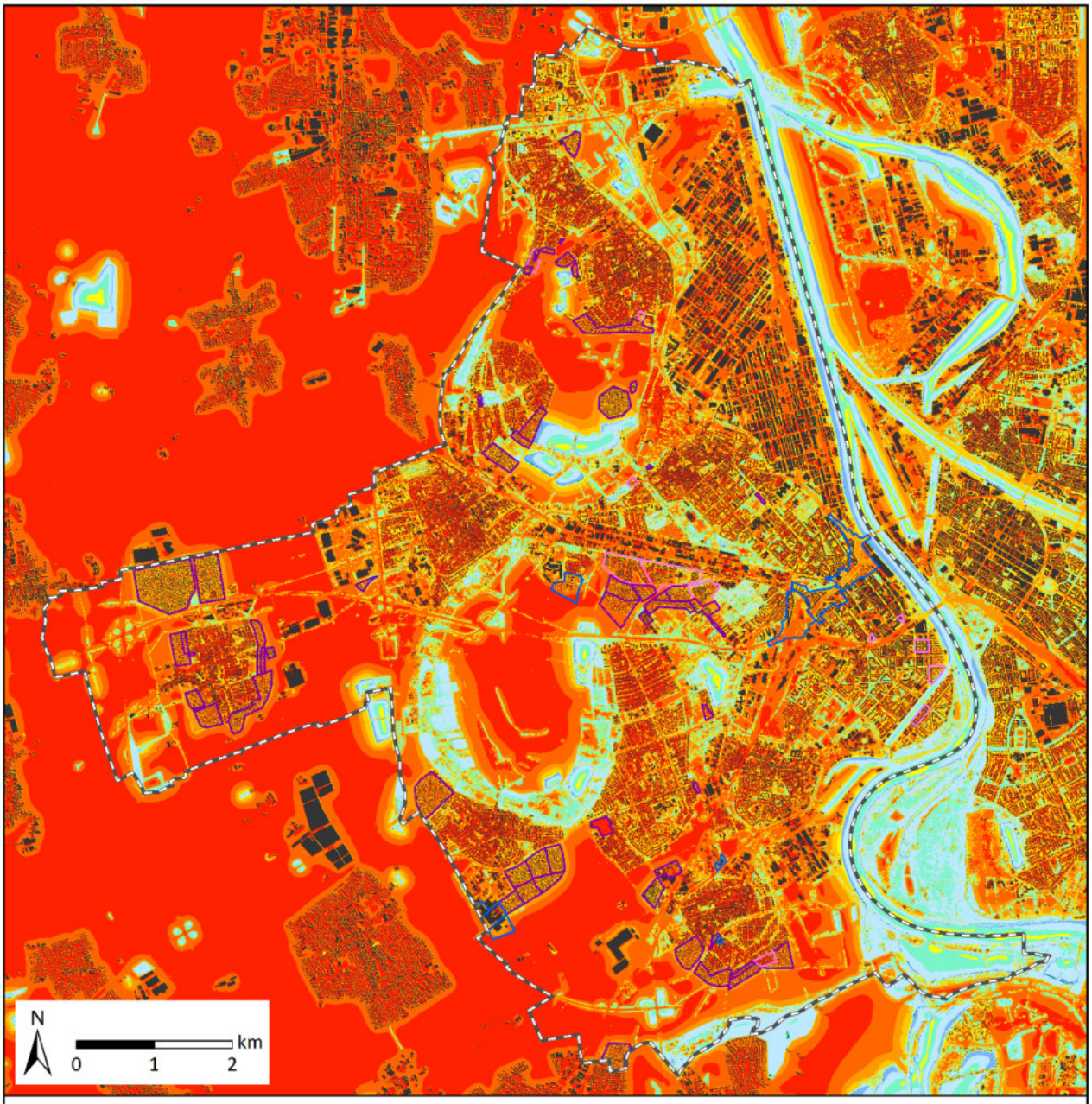
Wetterlage/Randbedingungen:
autochthoner Sommertag
Wolkenbedeckung 0/8
Bodenfeuchte 30%

verwendetes Modell: FITNAH-3D

horizontale räumliche Auflösung: 5 m

Revisionsstand: REV02 (30.09.2024)

Anhang A 26: Physiologisch Äquivalente Temperatur des Szenarios „Starker Klimawandel mit Stadtentwicklung“ um 14 Uhr.



Modellergebnisse (Zukunft 2045 mit Stadtentwicklung)

Physiologisch Äquivalente Temperatur
[in °C; 1,1 m über Grund]

- bis 23 — **keine Wärmebelastung***
- > 23 - 26, > 26 - 29 — **schwache Wärmebelastung**
- > 29 - 32, > 32 - 35 — **mäßige Wärmebelastung**
- > 35 - 38, > 38 - 41 — **starke Wärmebelastung**
- > 41 - 44, > 44 — **extreme Wärmebelastung**

sonstige Signaturen

- Stadtgebietsgrenze
- Gebäude
- Entwicklungsflächen (rechtskräftiger B-Plan)
- Entwicklungsflächen (erste Planungsentwürfe)
- Entwicklungsflächen (Mischpixel) entsprechend der möglichen Bebauungsdichte & -höhe

*** Wärmebelastungsstufe gemäß VDI 3787 Blatt 9**

Klimaanpassungskonzept Stadt Ludwigshafen

Kartenthema:
Physiologisch Äquivalente Temperatur (14 Uhr-Tagsituation; Zukunft 2045 - Klimawandel; +1.7 K & Trockenheit; mit Stadtentwicklung)

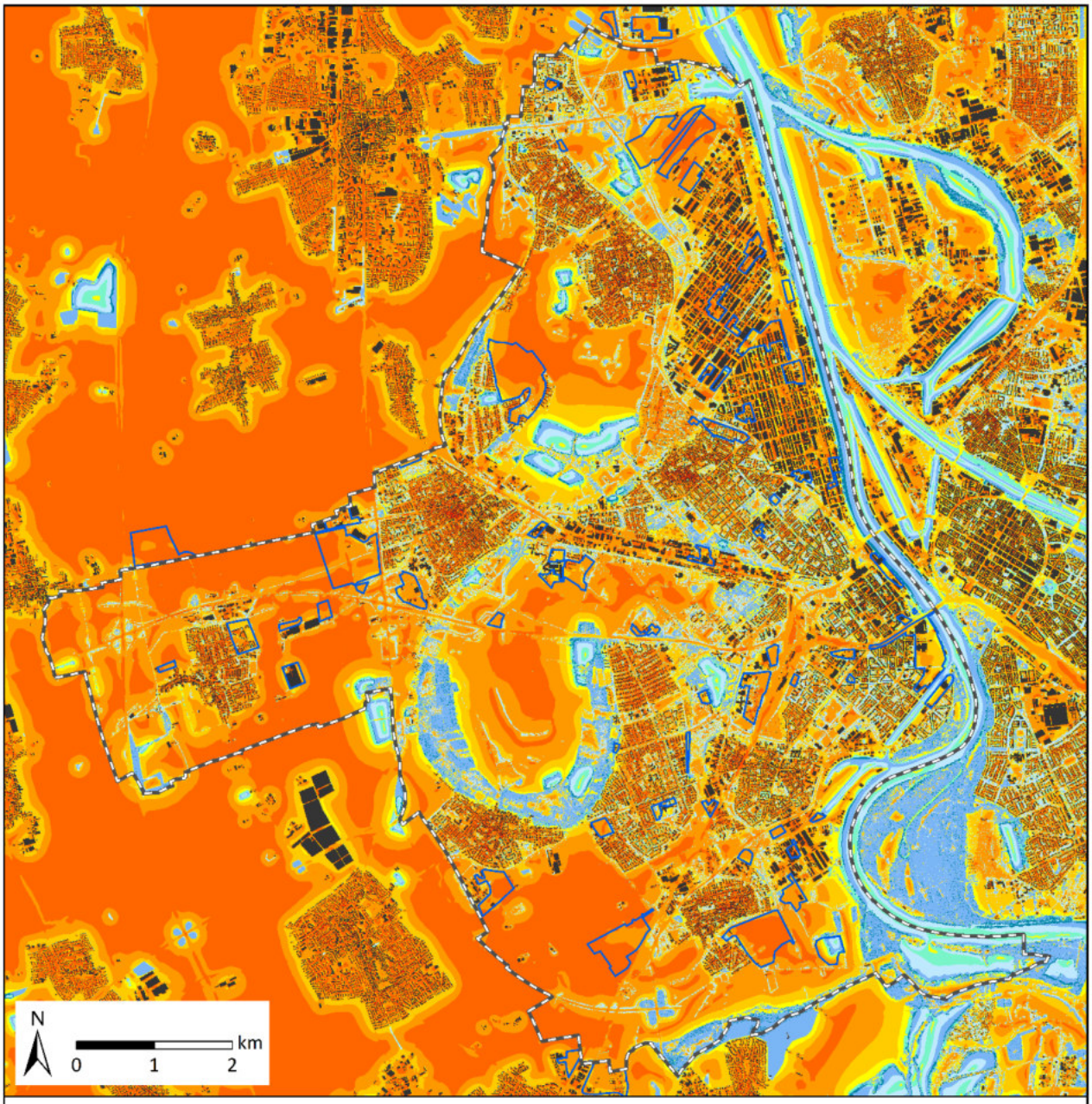
Wetterlage/Randbedingungen:
autochthoner Sommertag
Wolkenbedeckung 0/8
Bodenfeuchte 30%

verwendetes Modell: FITNAH-3D

horizontale räumliche Auflösung: 5 m

Revisionsstand: REV03 (22.01.2025)

Anhang A 27: Physiologisch Äquivalente Temperatur des Szenarios „Vergangenheit 2000“ um 14 Uhr.



Modellergebnisse (Vergangenheit 2000)

Physiologisch Äquivalente Temperatur
[in °C; 1,1 m über Grund]

- bis 23 — **keine Wärmebelastung***
- > 23 - 26, > 26 - 29 — **schwache Wärmebelastung**
- > 29 - 32, > 32 - 35 — **mäßige Wärmebelastung**
- > 35 - 38, > 38 - 41 — **starke Wärmebelastung**
- > 41 - 44, > 44 — **extreme Wärmebelastung**

sonstige Signaturen
- Stadtgebietsgrenze
- Gebäude
- Entwicklungsflächen (Vergangenheit)

*** Wärmebelastungsstufe gemäß VDI 3787 Blatt 9**

Klimaanpassungskonzept Stadt Ludwigshafen

Kartenthema:
Physiologisch Äquivalente Temperatur (14 Uhr-Tagsituation; Vergangenheit 2000; -0,7K)

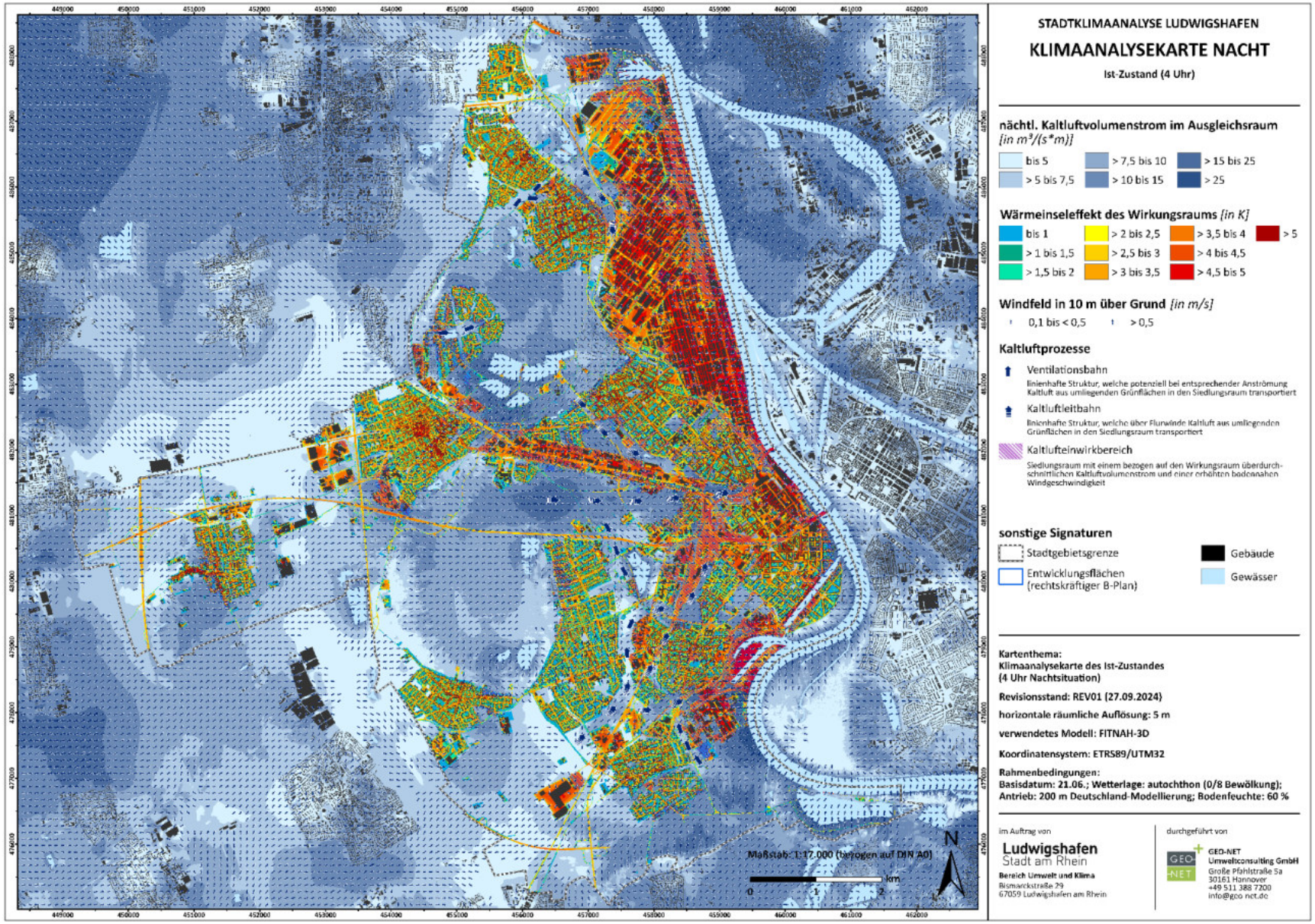
Wetterlage/Randbedingungen:
autochthoner Sommertag
Wolkenbedeckung 0/8
Bodenfeuchte 60%

verwendetes Modell: FITNAH-3D

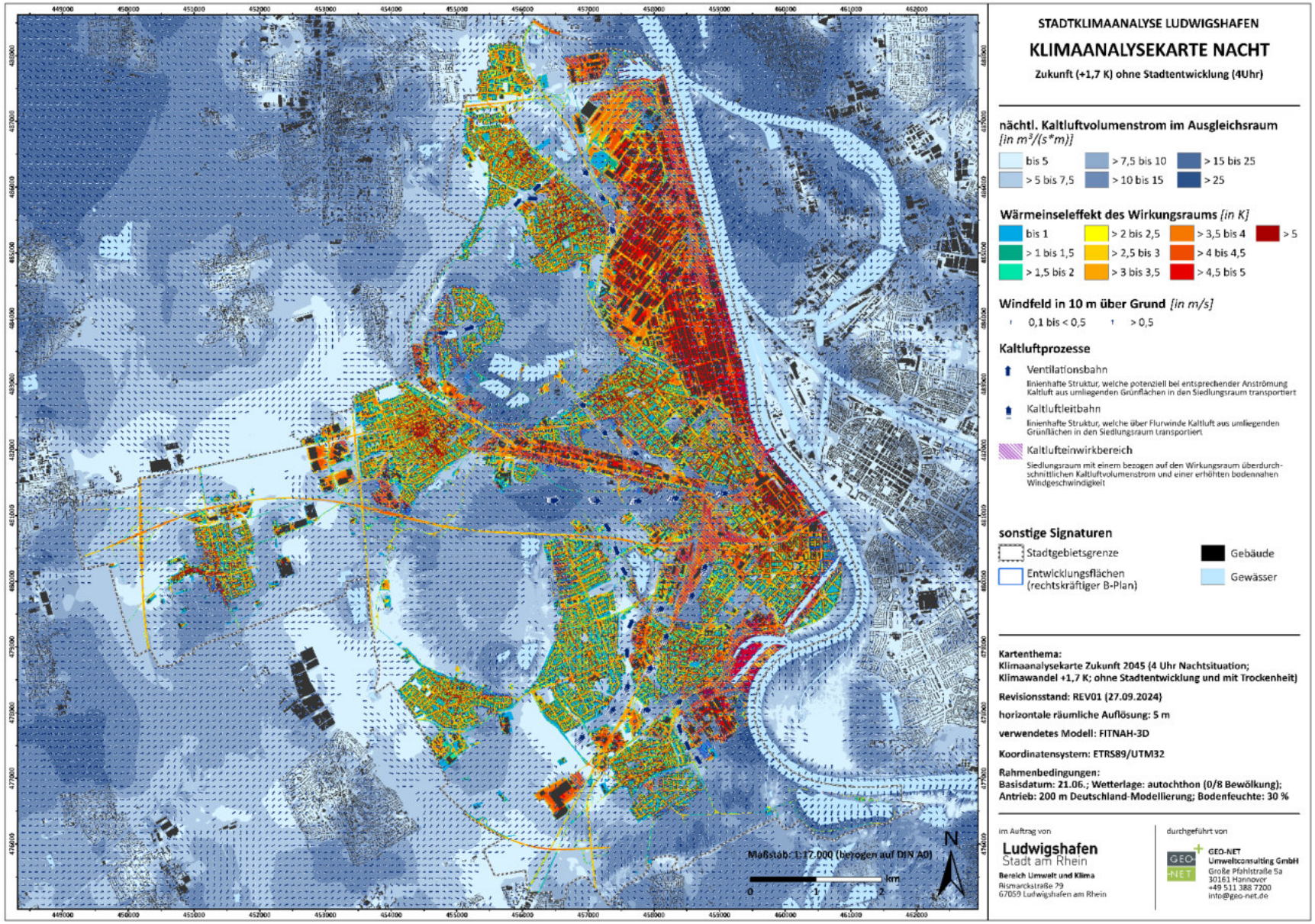
horizontale räumliche Auflösung: 5 m

Revisionsstand: REV02 (30.09.2024)

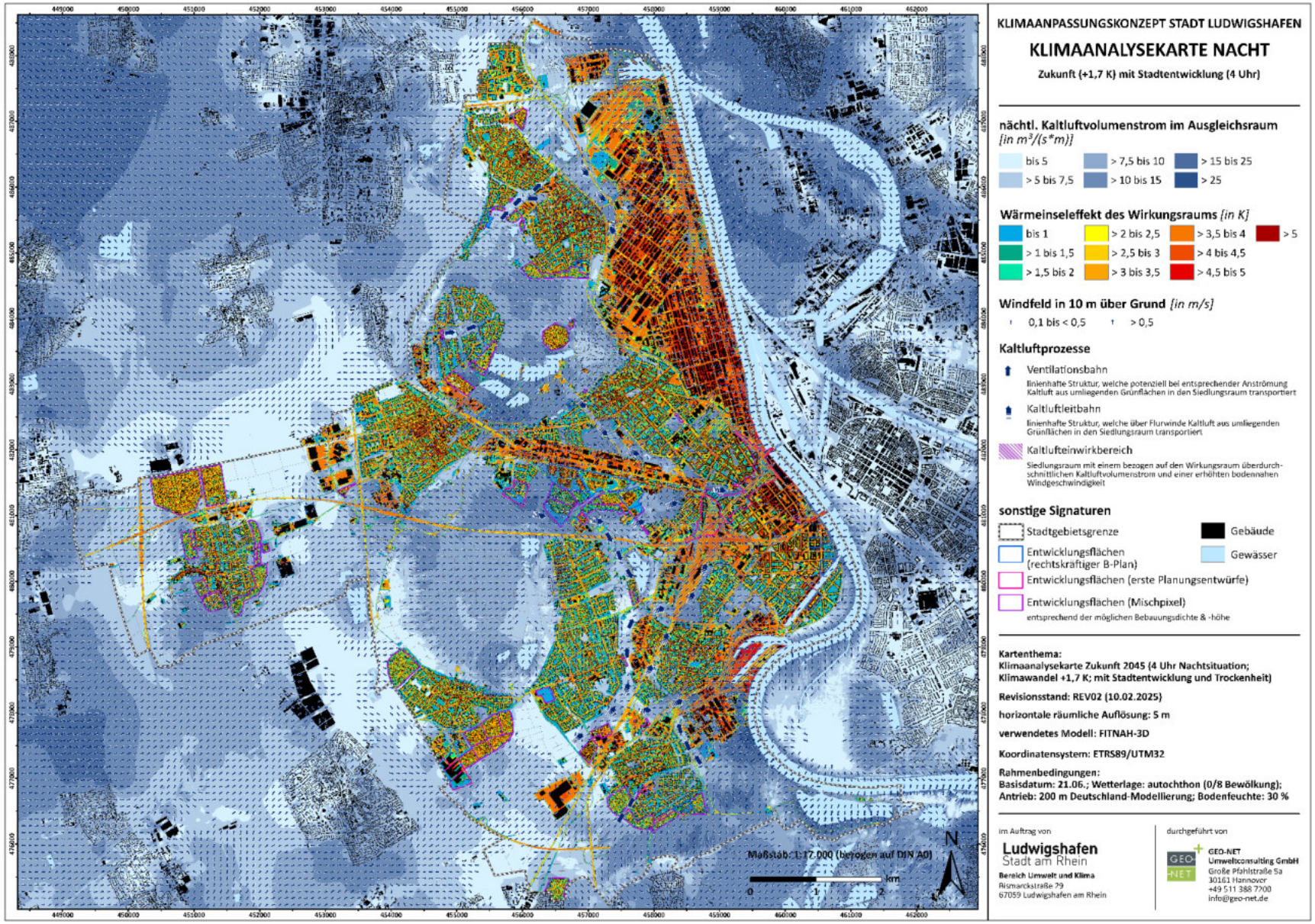
Anhang A 28: Klimaanalysekarte des Ist-Zustandes.



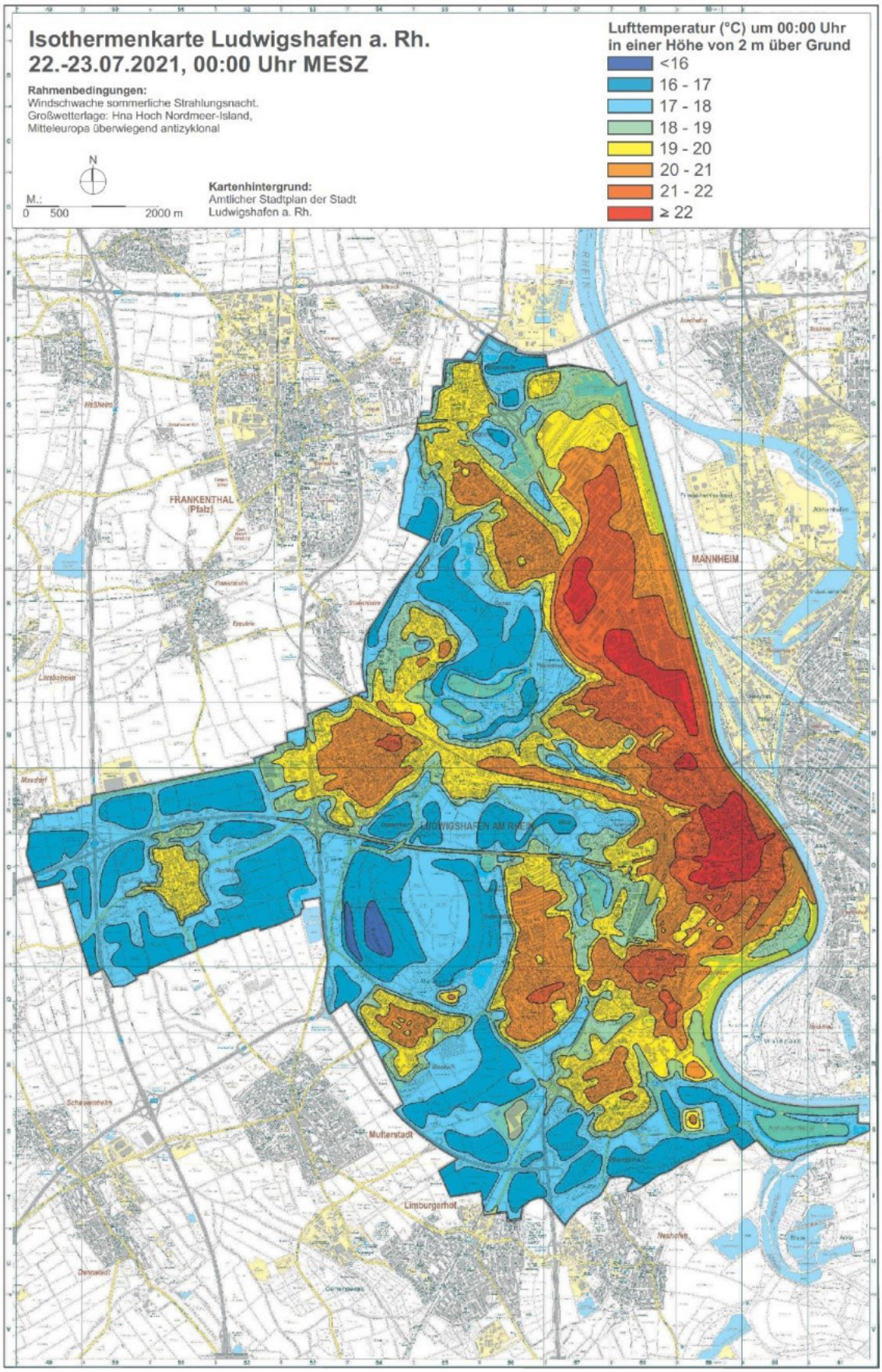
Anhang A 29: Klimaanalysekarte des Szenarios „starker Klimawandel ohne Stadtentwicklung“.



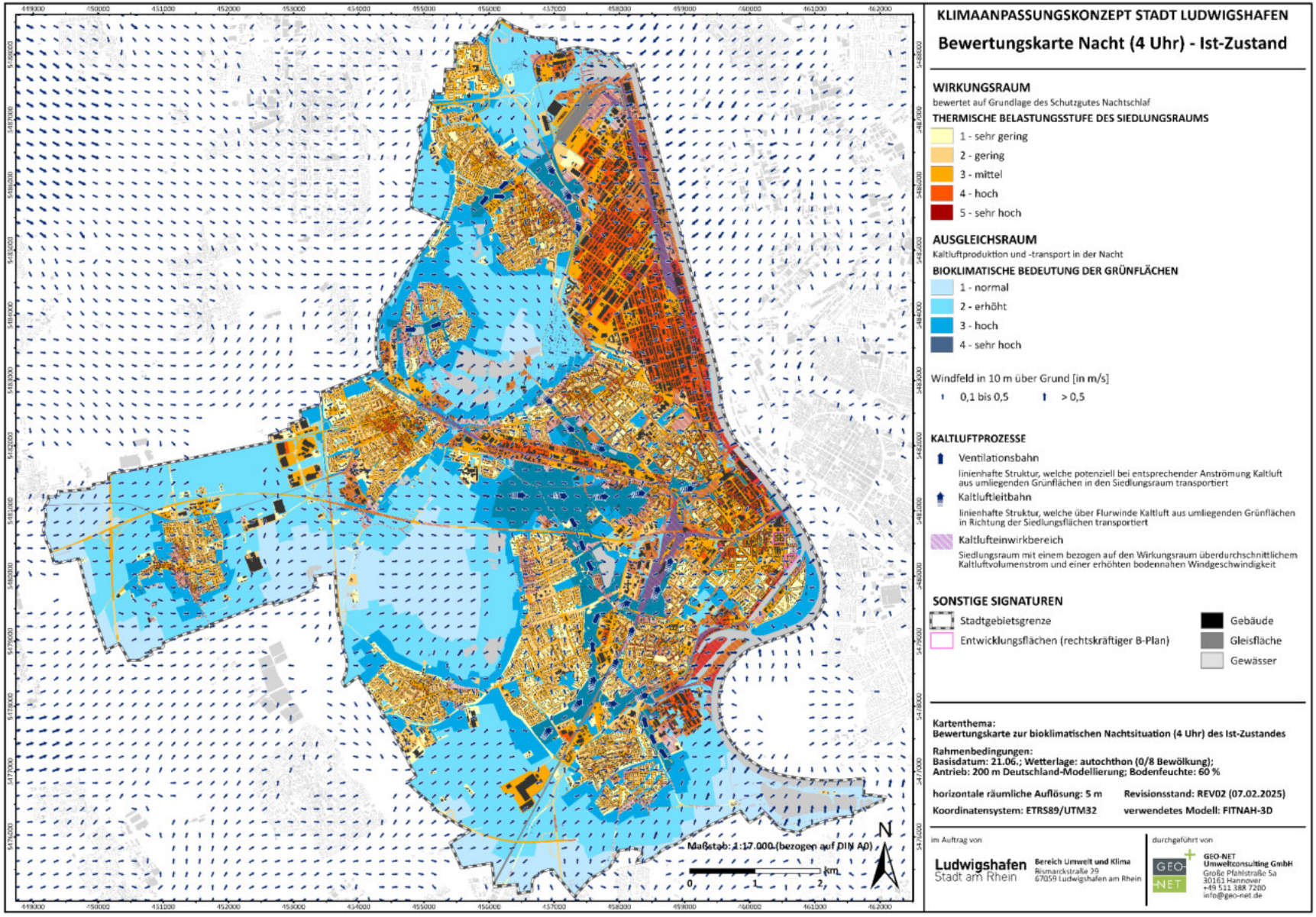
Anhang A 30: Klimaanalysekarte des Szenarios „starker Klimawandel mit Stadtentwicklung“.



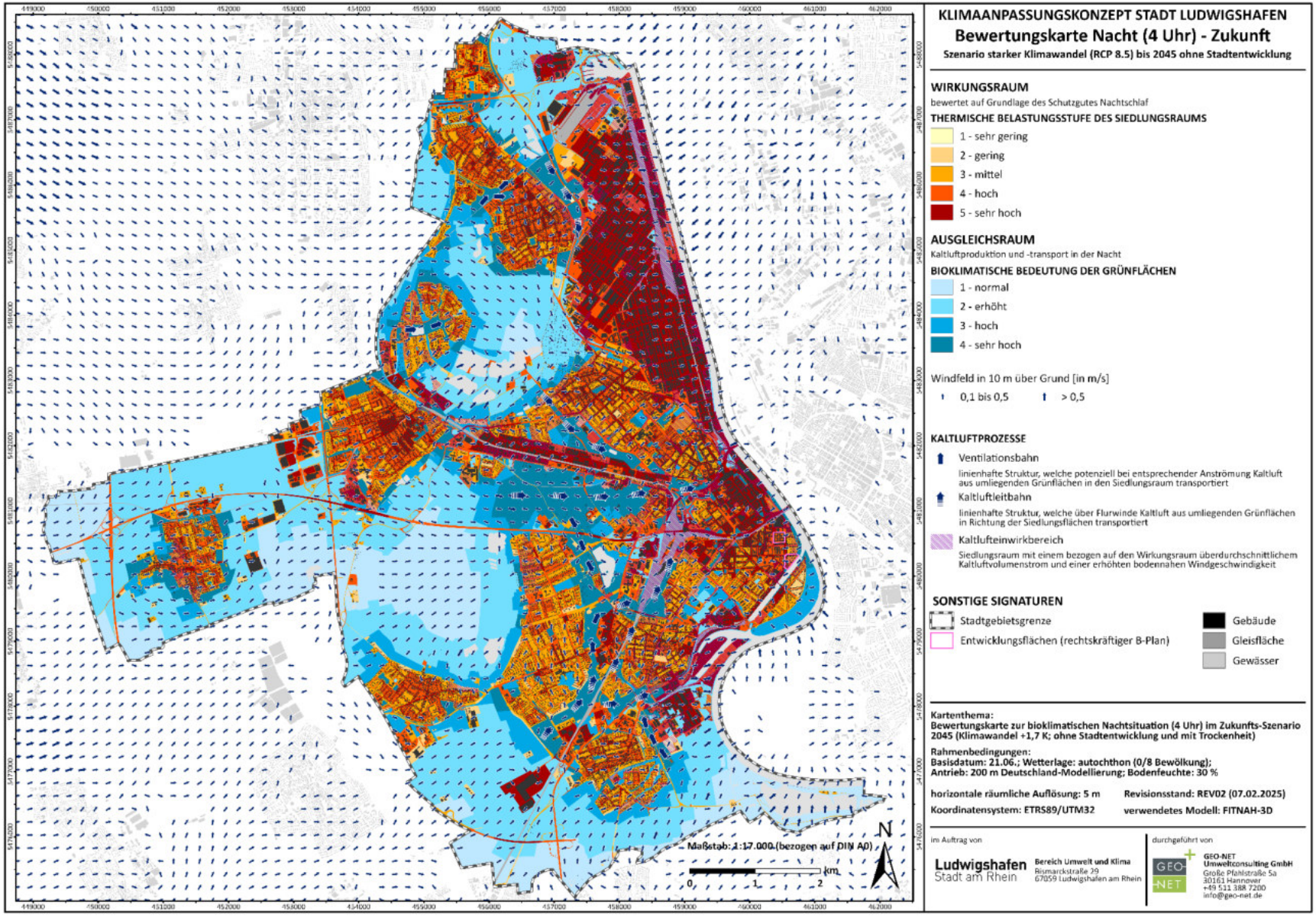
Anhang A 31: Isothermenkarte Ludwigshafen am Rhein für die Situation um 0 Uhr während einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (Ökoplana 2021).



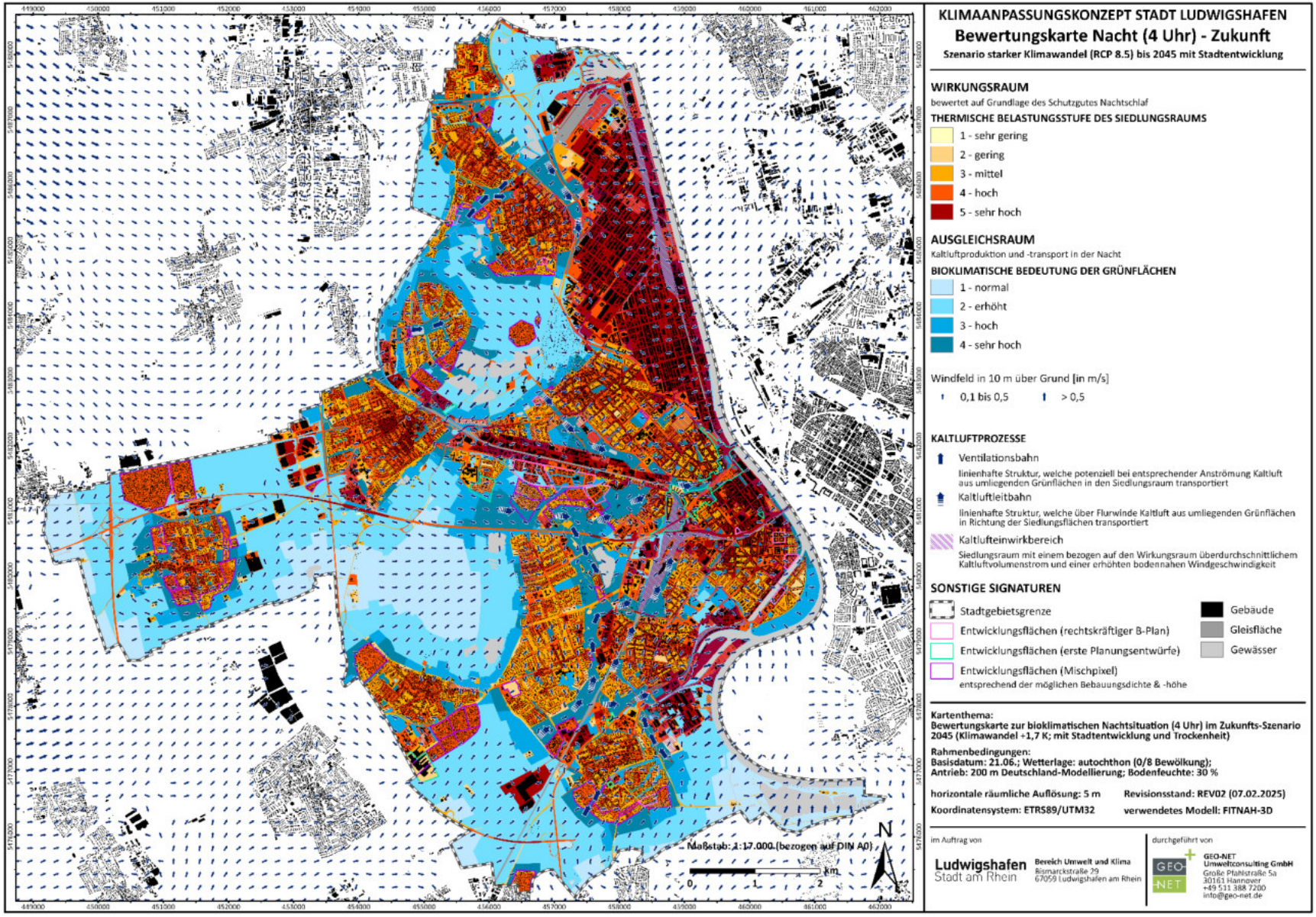
Anhang A 32: Bewertungskarte Nacht des Ist-Zustandes.



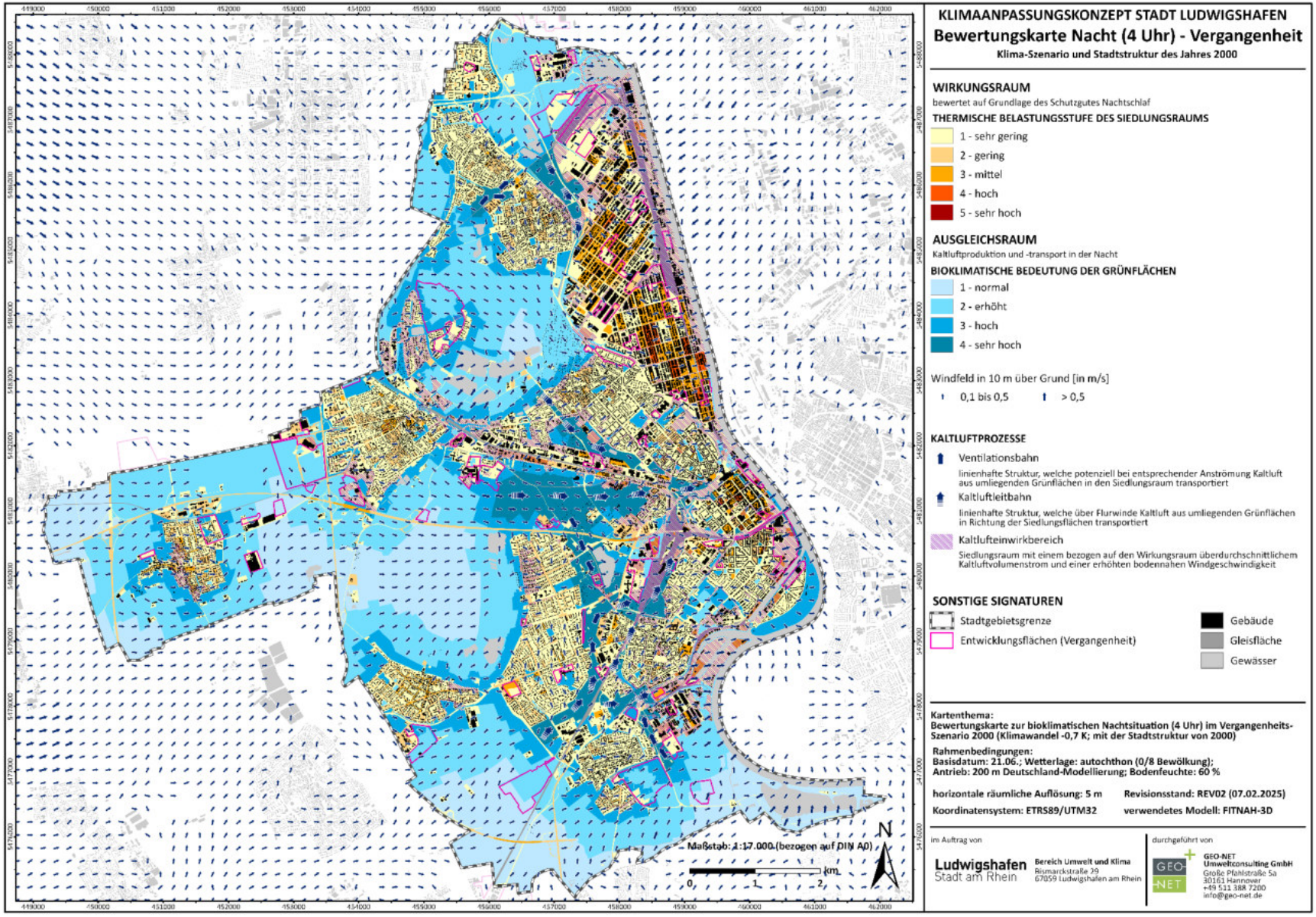
Anhang A 33: Bewertungskarte Nacht des Szenarios „starker Klimawandel“.



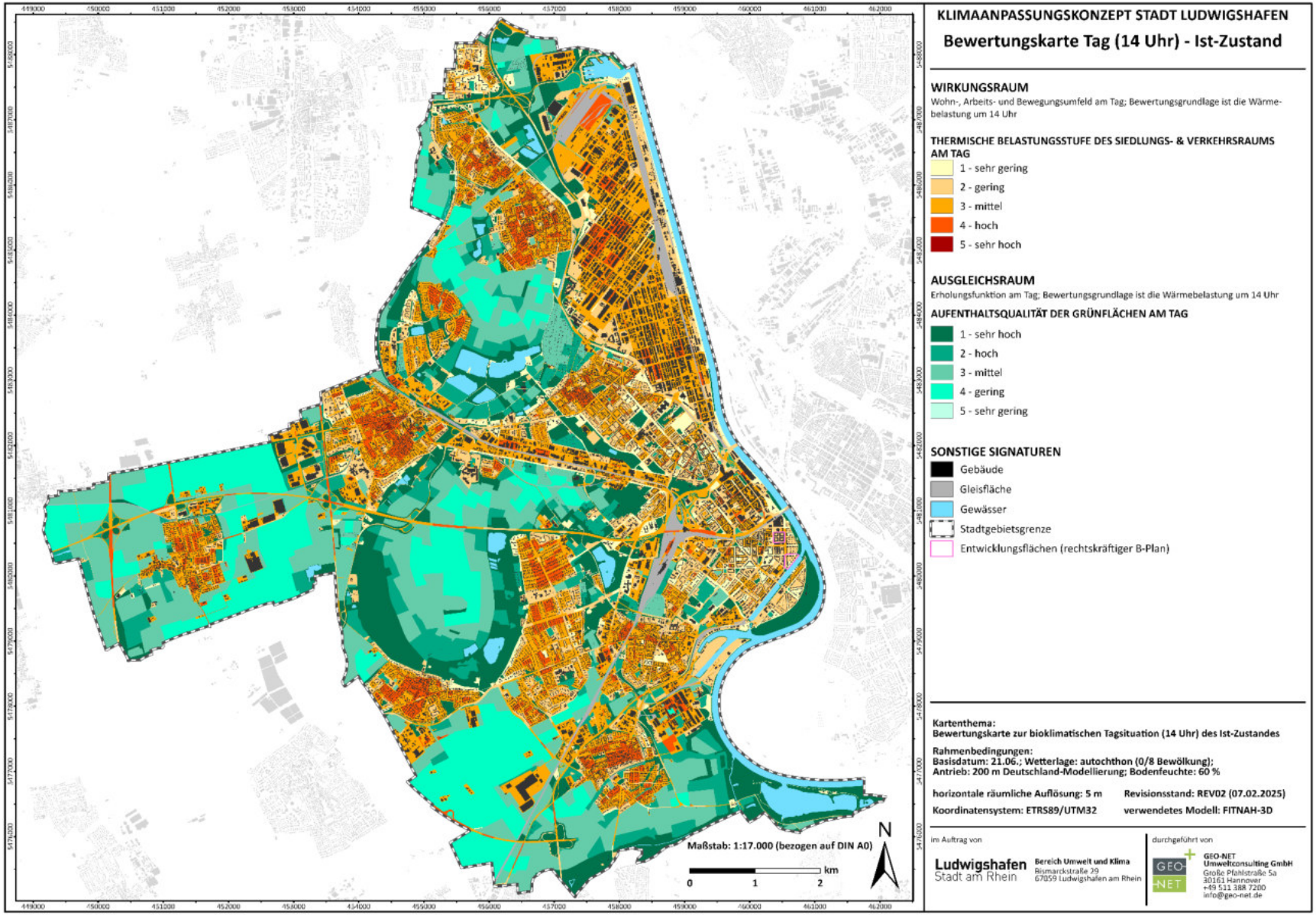
Anhang A 34: Bewertungskarte Nacht des Szenarios „starker Klimawandel mit Stadtentwicklung“.



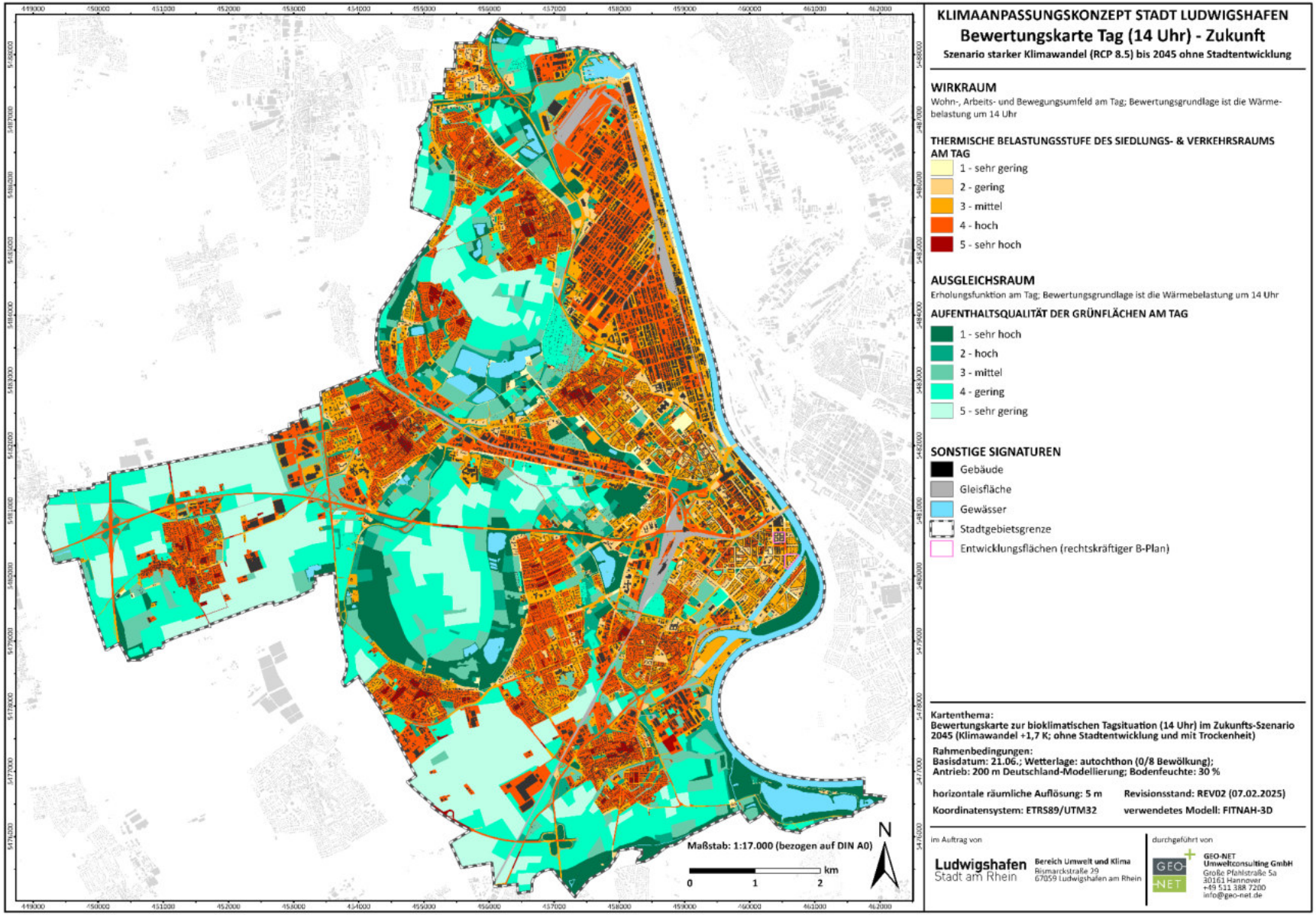
Anhang A 35: Bewertungskarte Nacht des Szenarios „Vergangenheit 2000“.



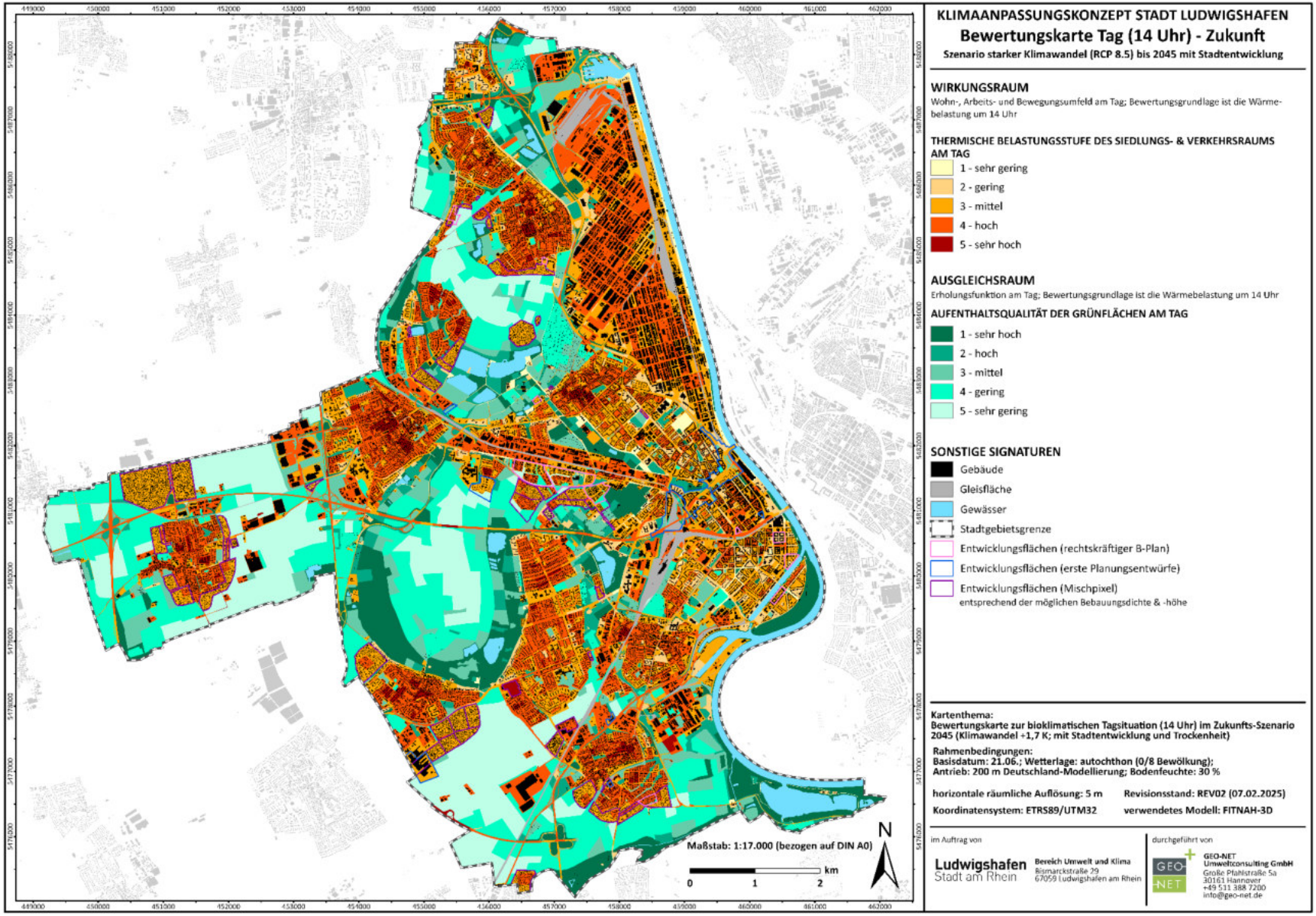
Anhang A 36: Bewertungskarte Tag des Ist-Zustandes.



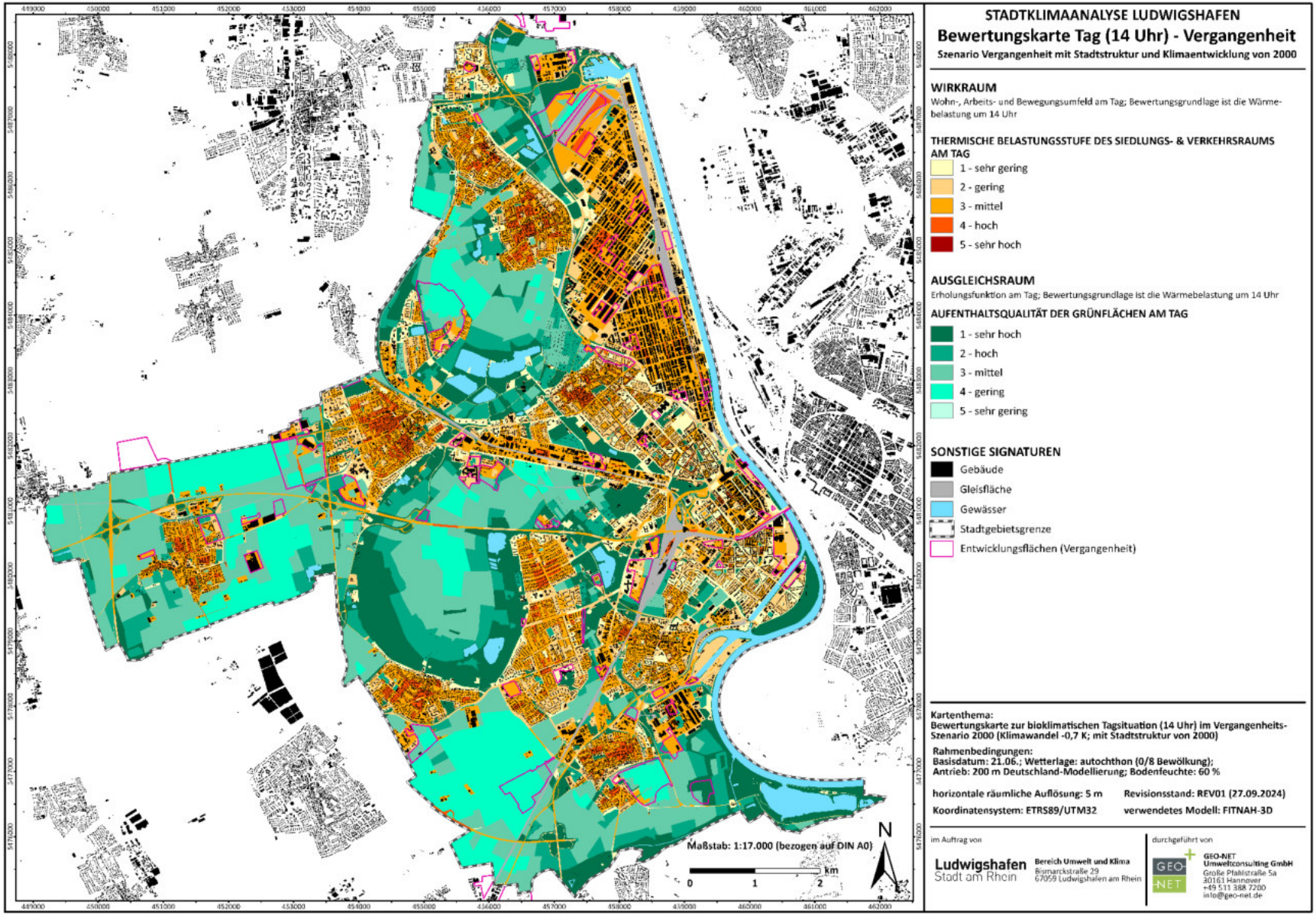
Anhang A 37: Bewertungskarte Tag des Szenarios „starker Klimawandel“.



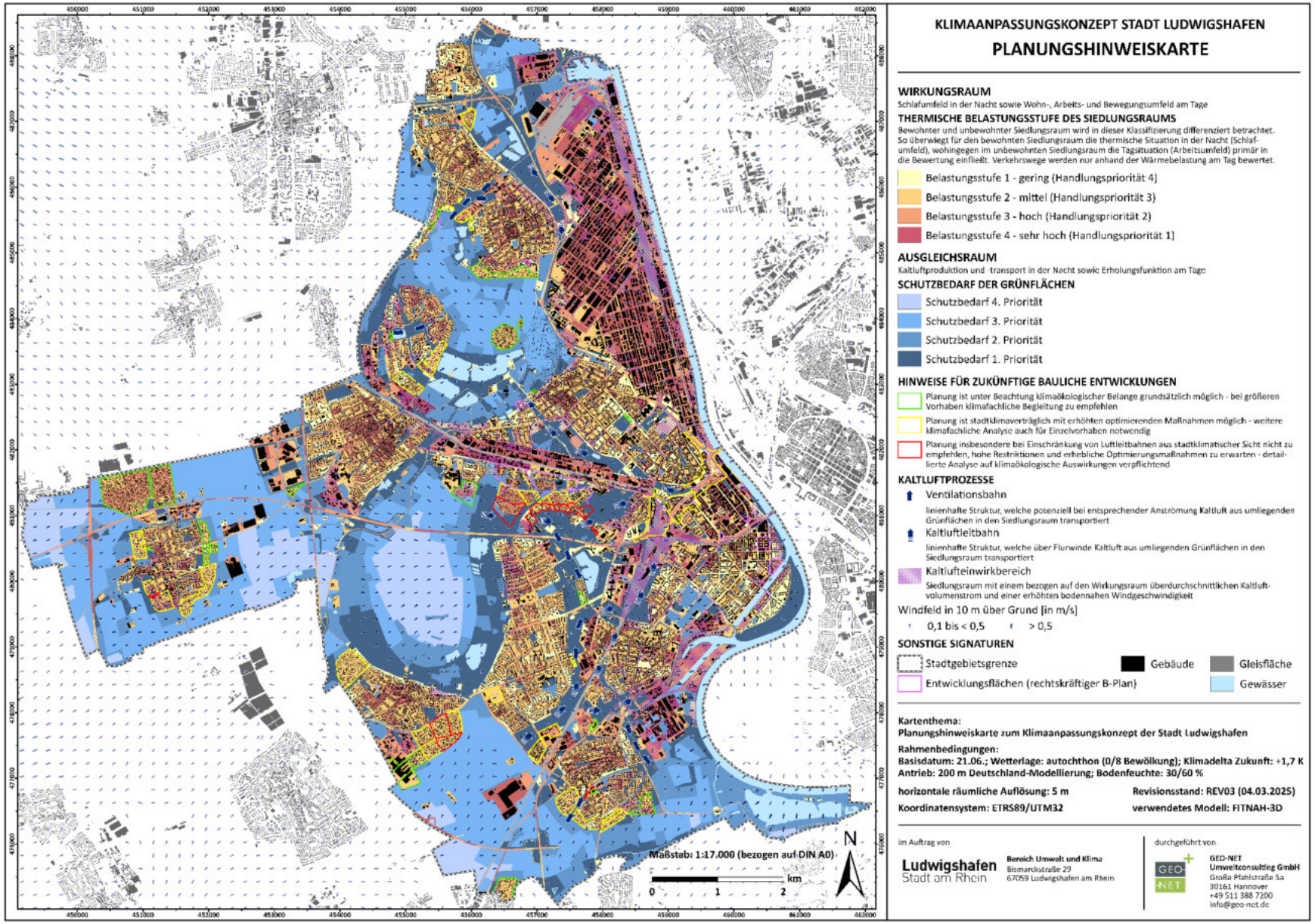
Anhang A 38: Bewertungskarte Tag des Szenarios „starker Klimawandel mit Stadtentwicklung“.



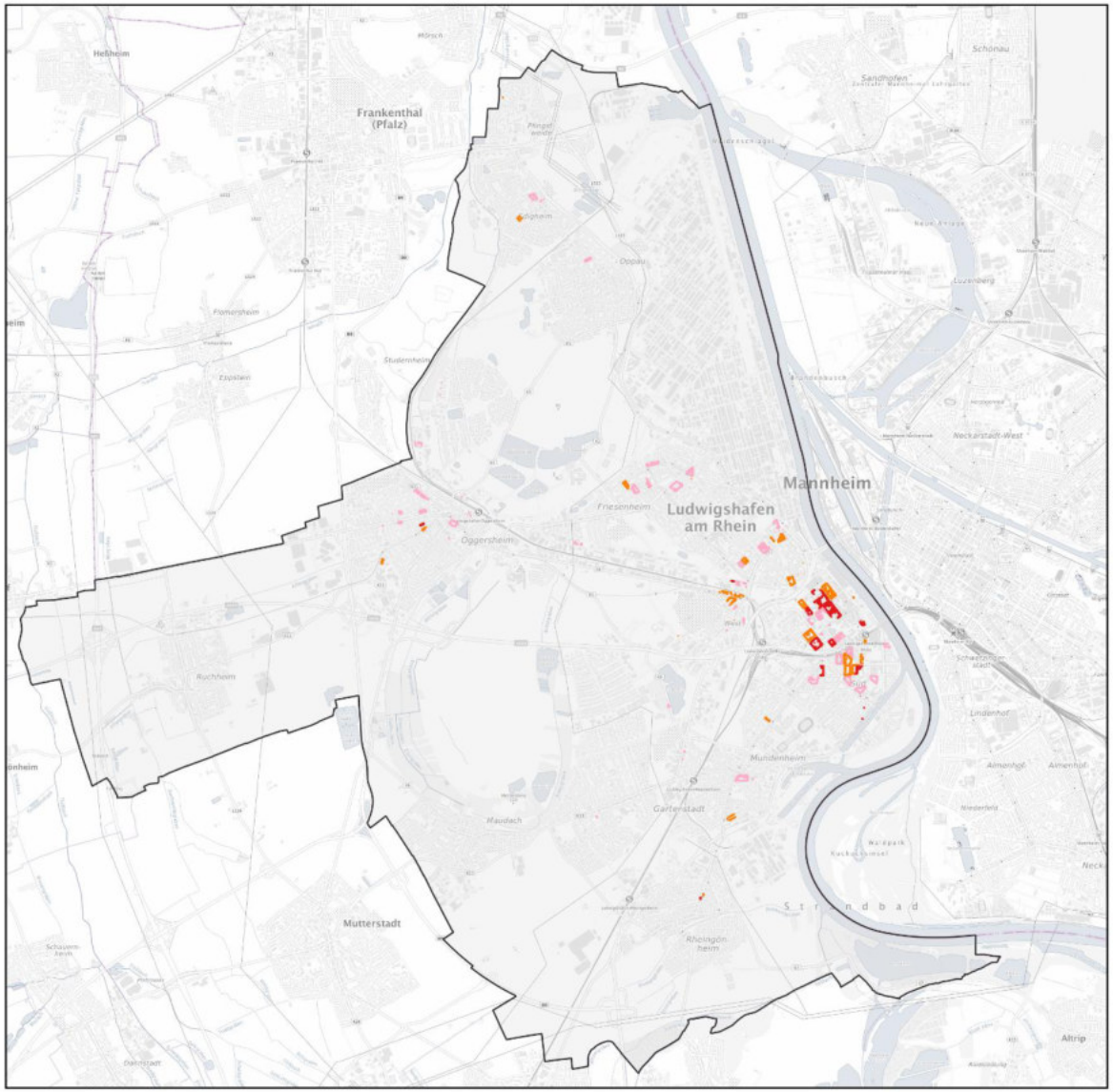
Anhang A 39: Bewertungskarte Tag des Szenarios „starker Klimawandel mit Stadtentwicklung“.



Anhang A 40: Planungshinweiskarte zum Klimaanpassungskonzept der Stadt Ludwigshafen am Rhein.



Anhang A 41: Risikokarte des Ist-Zustandes zur Betroffenheit der Kinder unter 7 Jahren.



Klimarisikoanalyse Hitze Ludwigshafen

Betroffenheit Kinder ≤ 6 Jahre

Ist-Zustand

Bewertungsgrundlagen sind die Wärmebelastung um 4 Uhr und die Bevölkerungsdichte auf Basis der Gebäudegrundfläche innerhalb von statistischen Blöcken

Betroffenheit Kinder ≤ 6 Jahre

- gering
- mittel
- hoch
- sehr hoch

0 1 2 3 km

Datengrundlagen:

Einwohnerdaten auf der räumlichen Grundlage von Statistischen Blöcken: Stadt Ludwigshafen 31.12.2022

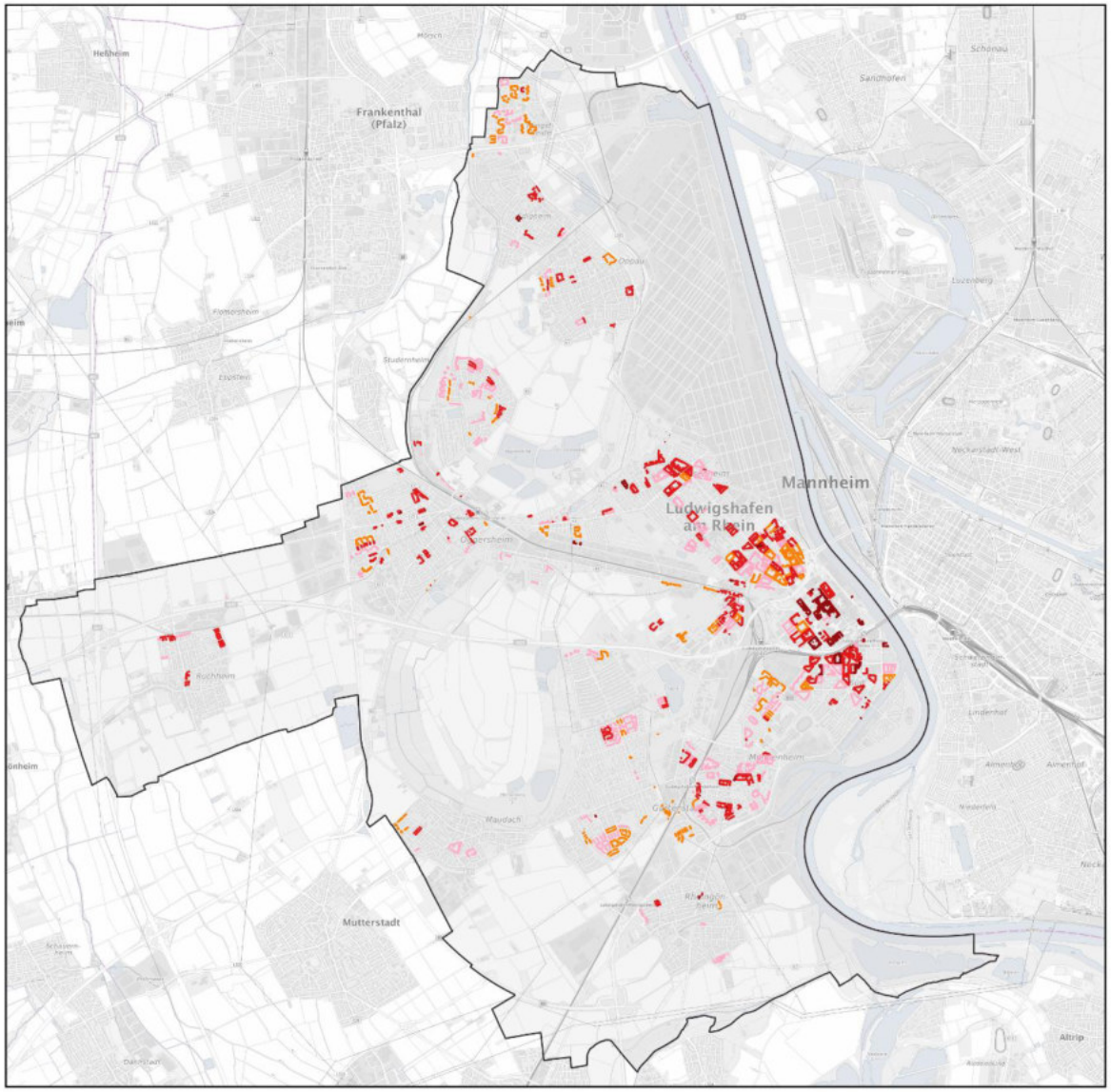
Bewertungskarte der bioklimatischen Nachtsituation (4 Uhr) Ist-Zustand: GeoNet 27.9.2024

Hintergrund: TopPlusOpen

Darstellung:

Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen 12.12.2024

Anhang A 42: Risikokarte des Zukunftsszenarios zur Betroffenheit der Kinder unter 7 Jahren.



Klimarisikoanalyse Hitze Ludwigshafen

Betroffenheit Kinder ≤ 6 Jahre

Zukunft

Bewertungsgrundlagen sind die Wärmebelastung um 4 Uhr und die Bevölkerungsdichte auf Basis der Gebäudegrundfläche innerhalb von statistichen Blöcken

Betroffenheit
Kinder ≤ 6 Jahre

- gering
- mittel
- hoch
- sehr hoch

0 1 2 3 km

Datengrundlagen:

Einwohnerdaten auf der räumlichen Grundlage von Statistischen Blöcken: Stadt Ludwigshafen 31.12.2022

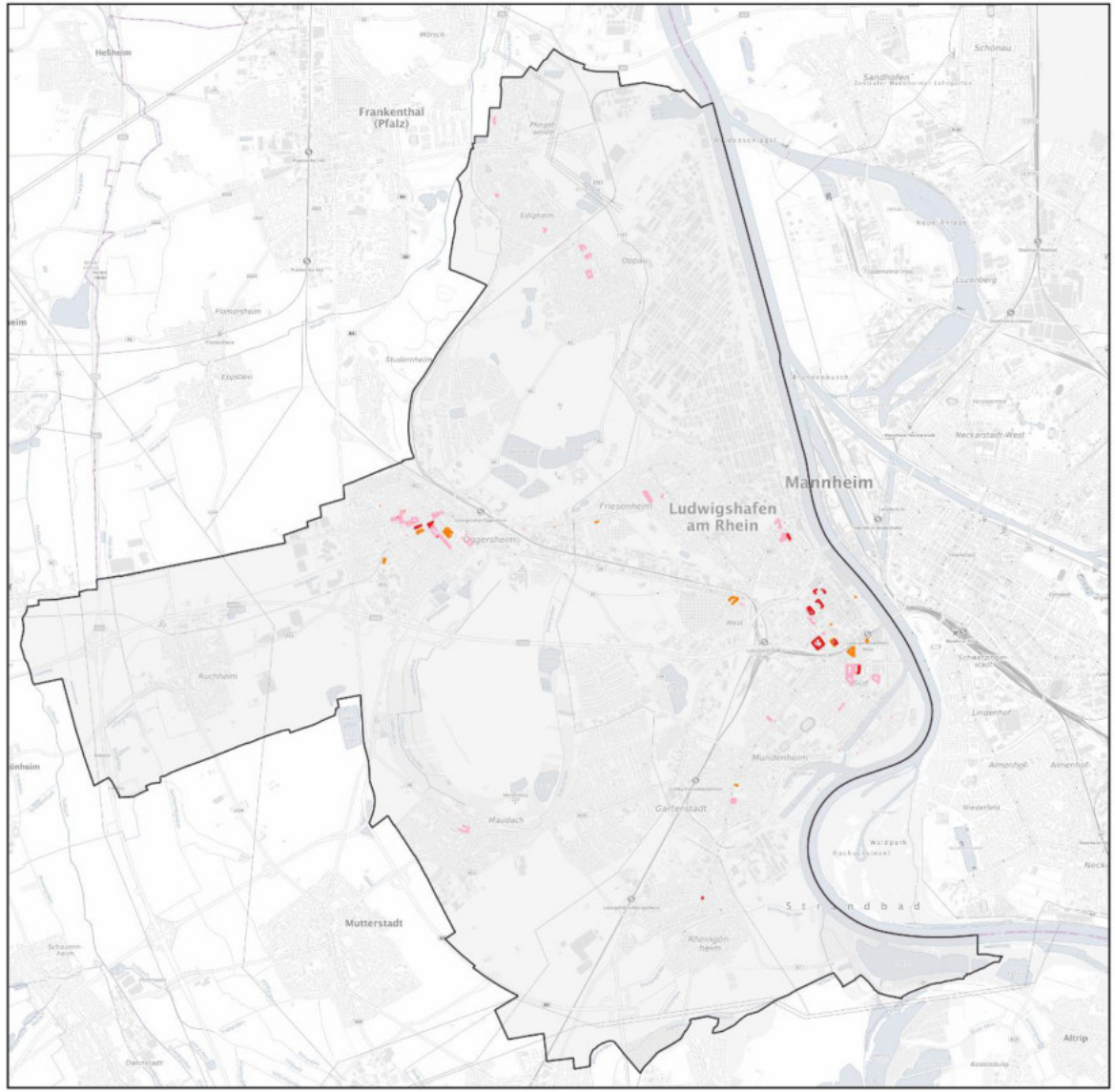
Bewertungskarte der bioklimatischen Nachtsituation (4 Uhr) Zukunft: GeoNet 27.9.2024

Hintergrund: TopPlusOpen

Darstellung:

Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen 12.12.2024

Anhang A 43: Risikokarte des Ist-Zustandes zur Betroffenheit der Hochaltrigen ab 75 Jahren.



Klimarisikoanalyse Hitze Ludwigshafen

Betroffenheit Hochaltrige ≥ 75 Jahre

Ist-Zustand

Bewertungsgrundlagen sind die Wärmebelastung um 4 Uhr und die Bevölkerungsdichte auf Basis der Gebäudegrundfläche innerhalb von statistichen Blöcken

Betroffenheit
Hochaltrige ≥ 75 Jahre

- gering
- mittel
- hoch
- sehr hoch

0 1 2 3 km

Datengrundlagen:

Einwohnerdaten auf der räumlichen Grundlage von Statistischen Blöcken: Stadt Ludwigshafen 31.12.2022

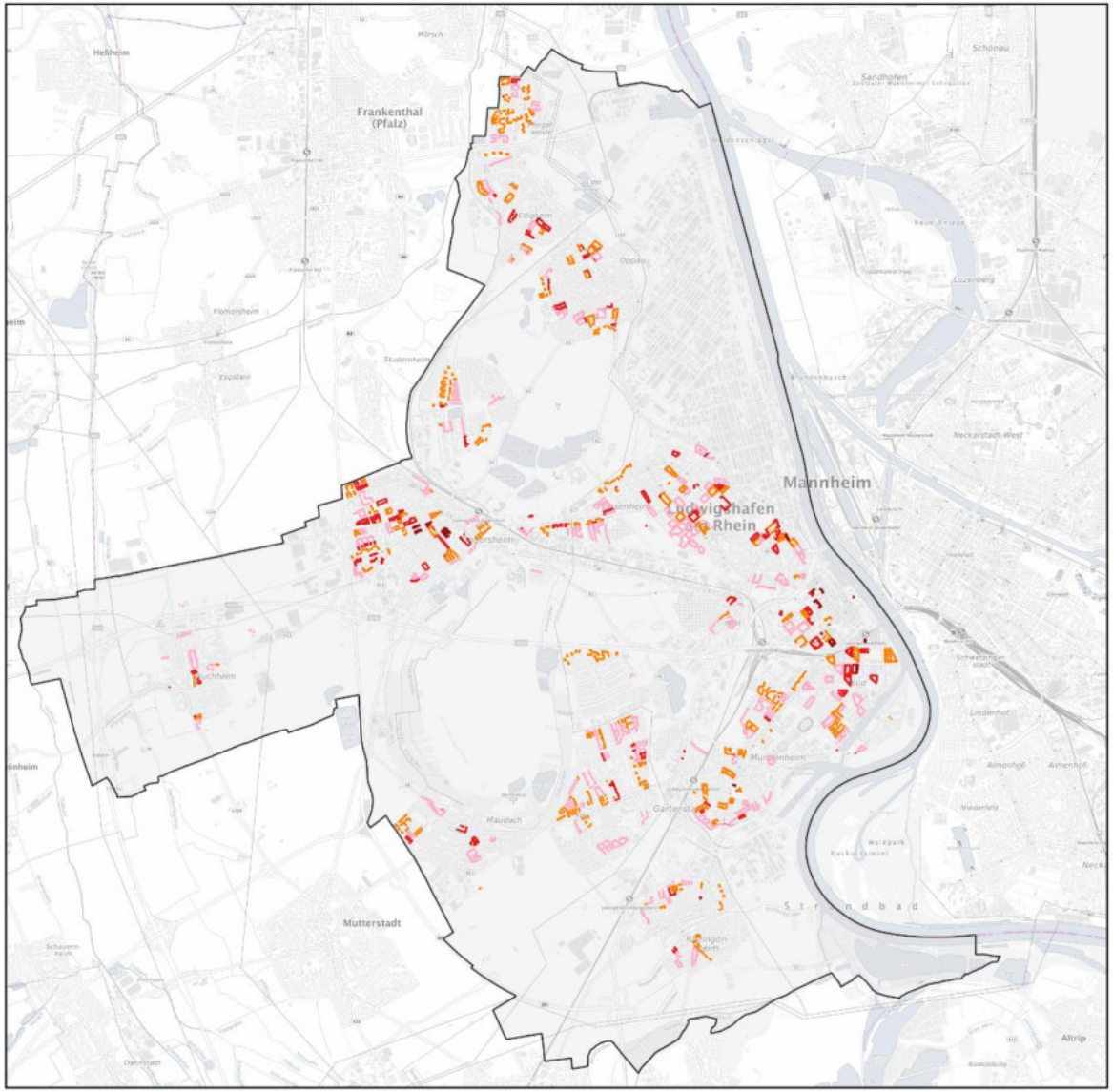
Bewertungskarte der bioklimatischen Nachtsituation (4 Uhr) Ist-Zustand: GeoNet 27.9.2024

Hintergrund: TopPlusOpen

Darstellung:

Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen 12.12.2024

Anhang A 44: Risikokarte des Zukunftsszenarios zur Betroffenheit der Hochaltrigen ab 75 Jahren.



Klimarisikoanalyse Hitze Ludwigshafen

Betroffenheit Hochaltrige ≥ 75 Jahre

Zukunft

Bewertungsgrundlagen sind die Wärmebelastung um 4 Uhr und die Bevölkerungsdichte auf Basis der Gebäudegrundfläche innerhalb von statistischen Blöcken

Betroffenheit
Hochaltrige ≥ 75 Jahre

- gering
- mittel
- hoch
- sehr hoch

0 1 2 3 km

Datengrundlagen:

Einwohnerdaten auf der räumlichen Grundlage von Statistischen Blöcken: Stadt Ludwigshafen 31.12.2022

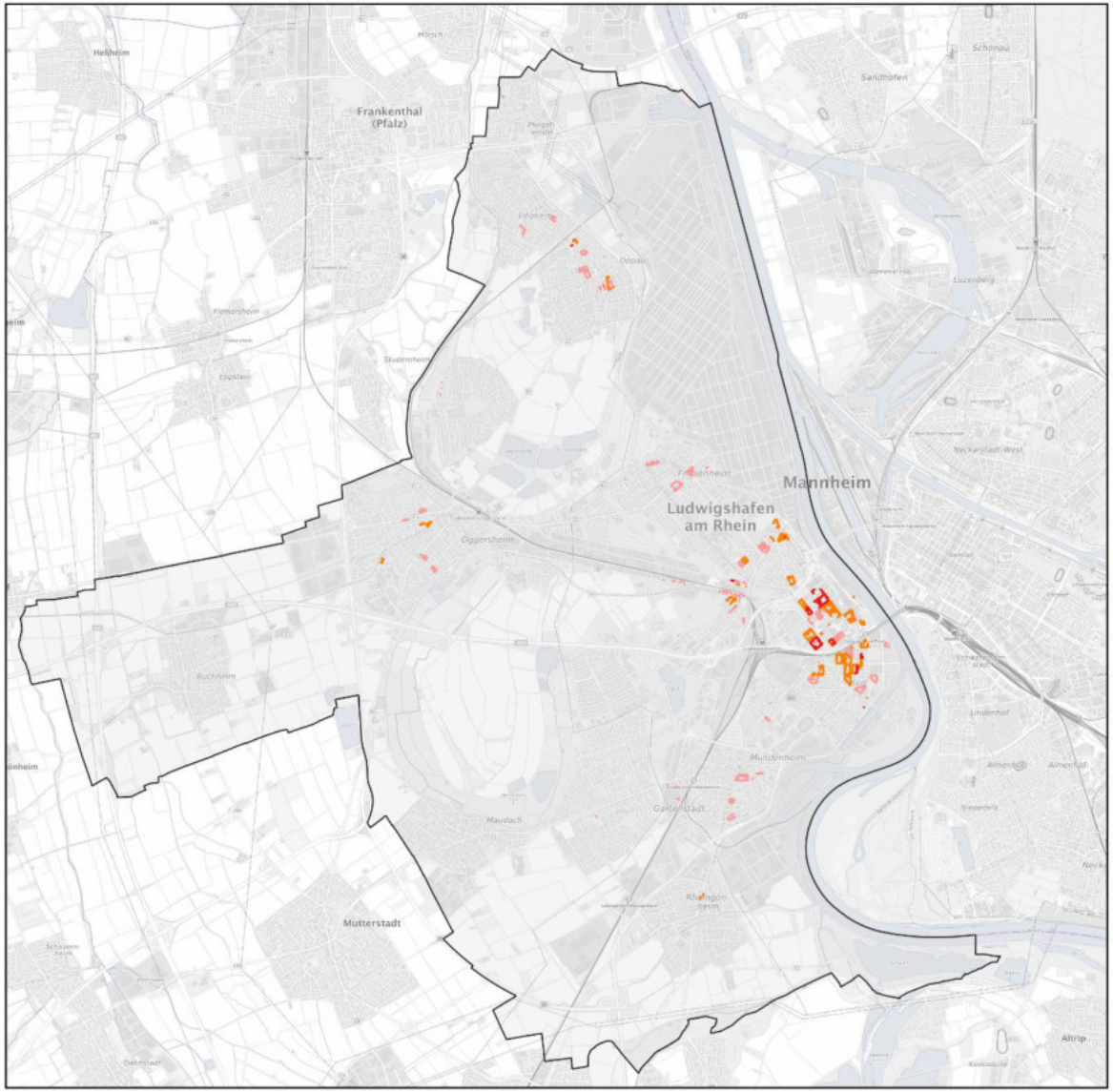
Bewertungskarte der bioklimatischen Nachtsituation (4 Uhr) Zukunft: GeoNet 27.9.2024

Hintergrund: TopPlusOpen

Darstellung:

Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen 12.12.2024

Anhang A 45: Risikokarte des Ist-Zustandes zur Betroffenheit der Gesamtbevölkerung.



Klimarisikoanalyse Hitze Ludwigshafen

Betroffenheit Gesamtbevölkerung

Ist-Zustand

Bewertungsgrundlagen sind die Wärmebelastung um 4 Uhr und die Bevölkerungsdichte auf Basis der Gebäudegrundfläche innerhalb von statistichen Blöcken

Betroffenheit Gesamtbevölkerung

- gering
- mittel
- hoch
- sehr hoch

0 1 2 3 km

Datengrundlagen:

Einwohnerdaten auf der räumlichen Grundlage von Statistischen Blöcken: Stadt Ludwigshafen 31.12.2023

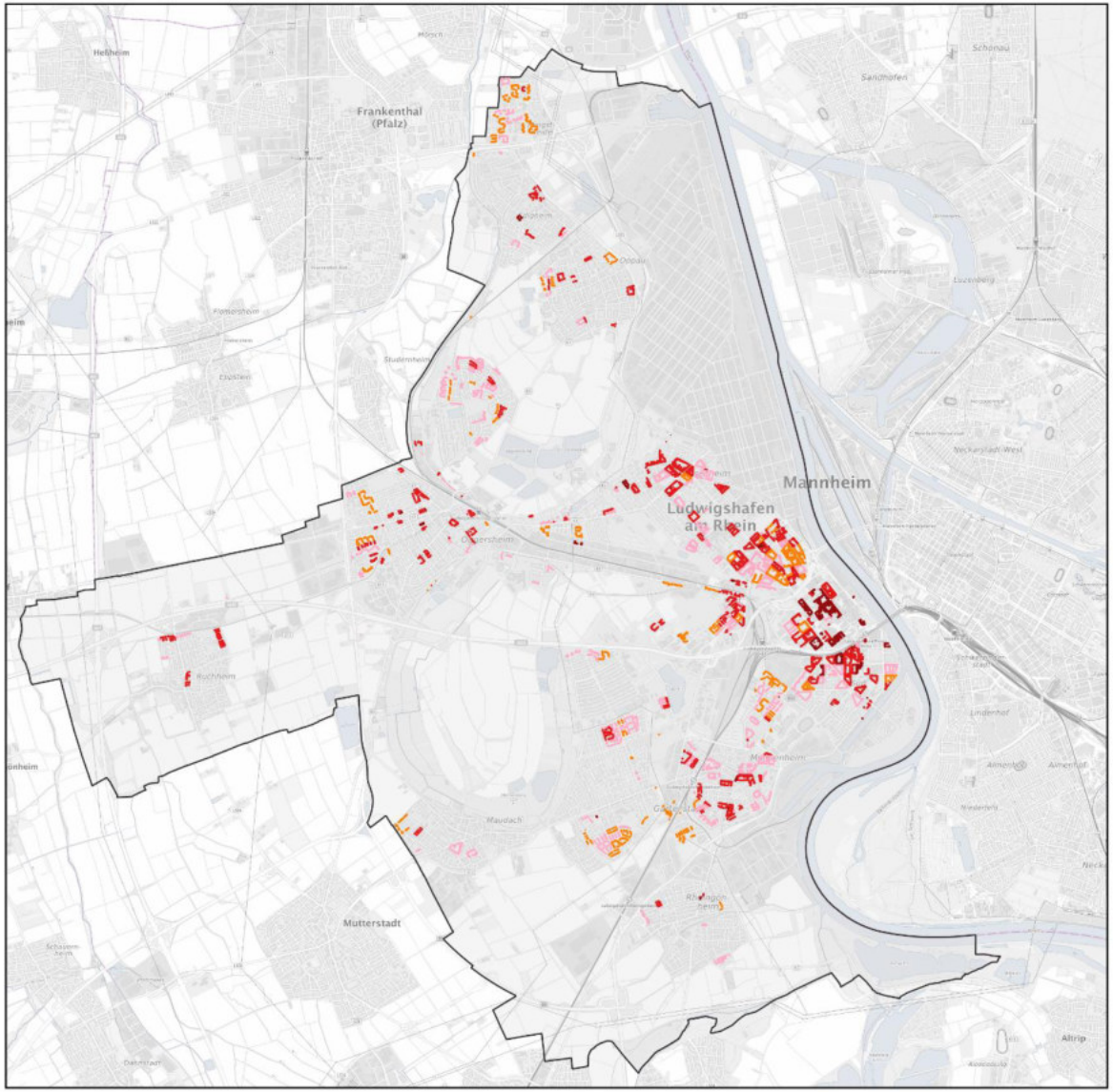
Bewertungskarte der bioklimatischen Nachtsituation (4 Uhr) Ist-Zustand: GeoNet 27.9.2024

Hintergrund: TopPlusOpen

Darstellung:

Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen 11.04.2025

Anhang A 46: Risikokarte des Zukunftsszenarios zur Betroffenheit der Gesamtbevölkerung.



Klimarisikoanalyse Hitze Ludwigshafen

Betroffenheit Gesamtbevölkerung

Zukunft

Bewertungsgrundlagen sind die Wärmebelastung um 4 Uhr und die Bevölkerungsdichte auf Basis der Gebäudegrundfläche innerhalb von statistichen Blöcken

Betroffenheit Gesamtbevölkerung

- gering
- mittel
- hoch
- sehr hoch

0 1 2 3 km

Datengrundlagen:

Einwohnerdaten auf der räumlichen Grundlage von Statistischen Blöcken: Stadt Ludwigshafen 31.12.2023

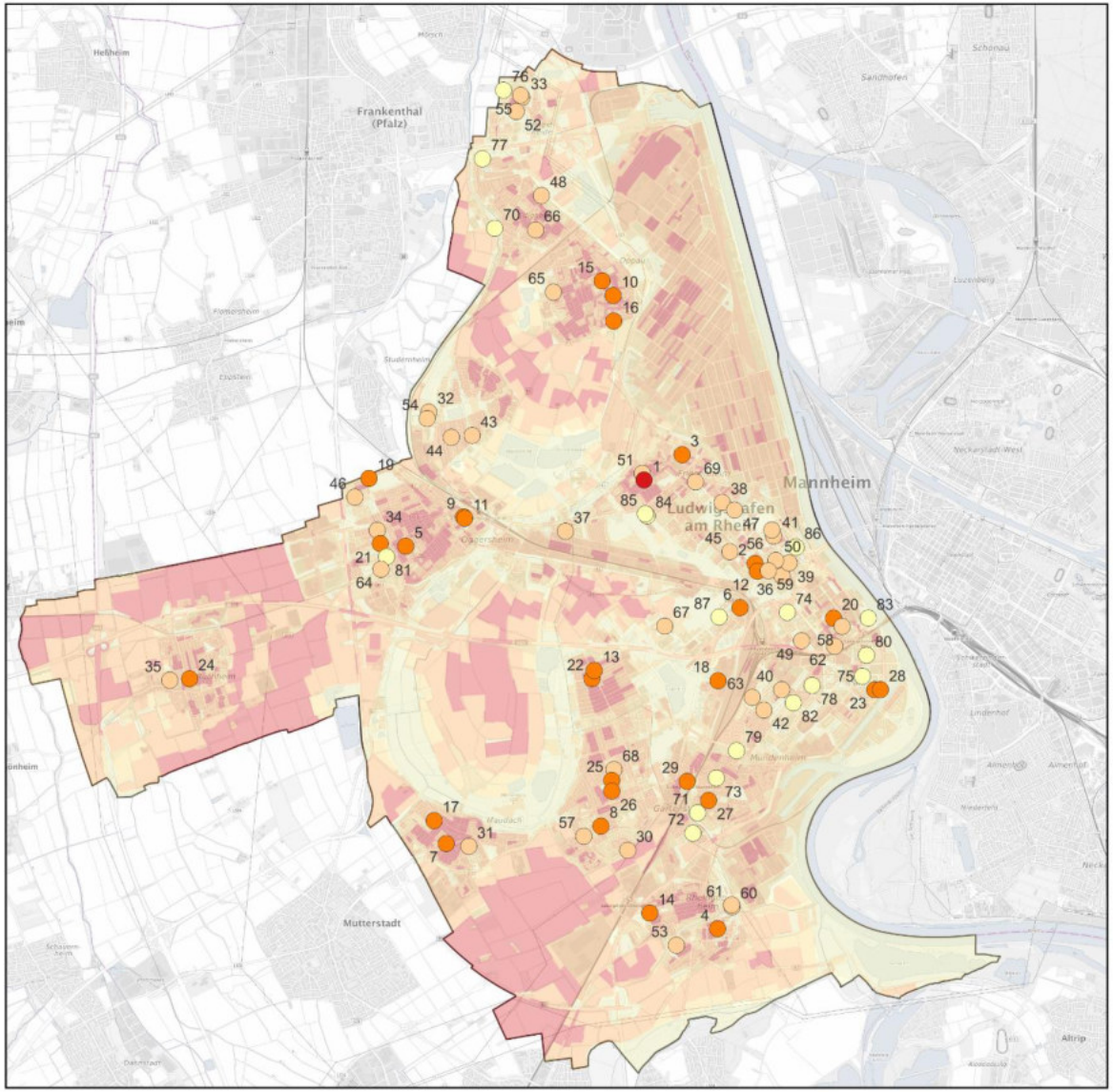
Bewertungskarte der bioklimatischen Nachtsituation (4 Uhr) Zukunft: GeoNet 27.9.2024

Hintergrund: TopPlusOpen

Darstellung:

Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen 11.04.2024

Anhang A 47: Risikokarte des Ist-Zustandes zur bioklimatischen Belastung der Kindertagesstätten.



Bioklimatische Belastung Kindertagesstätten

Ist-Zustand

Belastung
- sehr gering
- gering
- mittel
- hoch
- sehr hoch

0 1 2 3 km

Datengrundlagen:

Kindertagesstätten; Stadt Ludwigshafen am Rhein

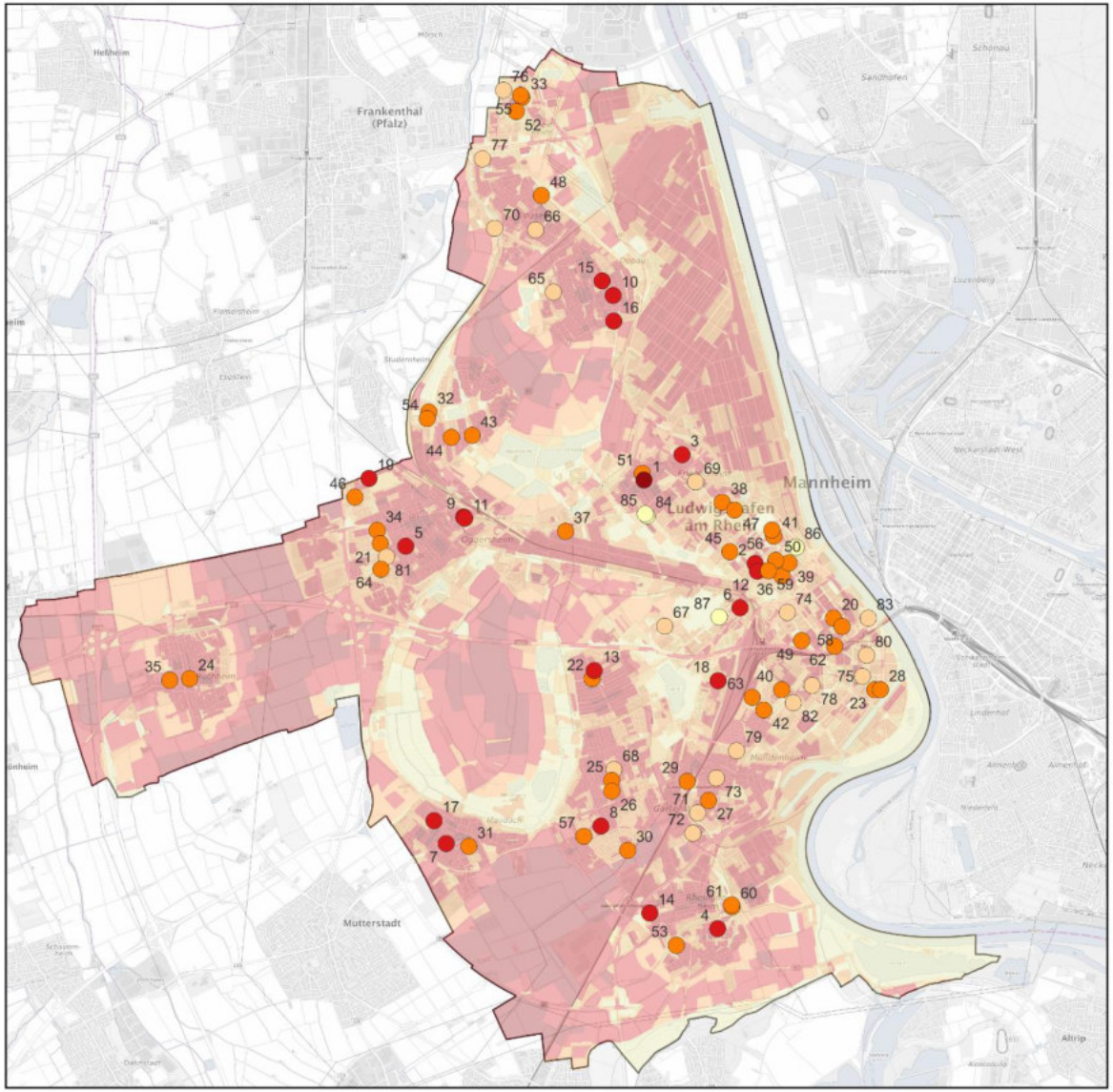
Bewertungskarte der bioklimatischen Tagsituation (14 Uhr) Ist-Zustand; GeoNet 27.9.2024

Hintergrund: TopPlusOpen

Darstellung:

Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen
10.12.2024

Anhang A 48: Risikokarte des Zukunftsszenarios zur bioklimatischen Belastung der Kindertagesstätten.



Bioklimatische Belastung Kindertagesstätten

Zukunft

Belastung
- sehr gering
- gering
- mittel
- hoch
- sehr hoch

0 1 2 3 km

Datengrundlagen:

Kindertagesstätten; Stadt Ludwigshafen am Rhein

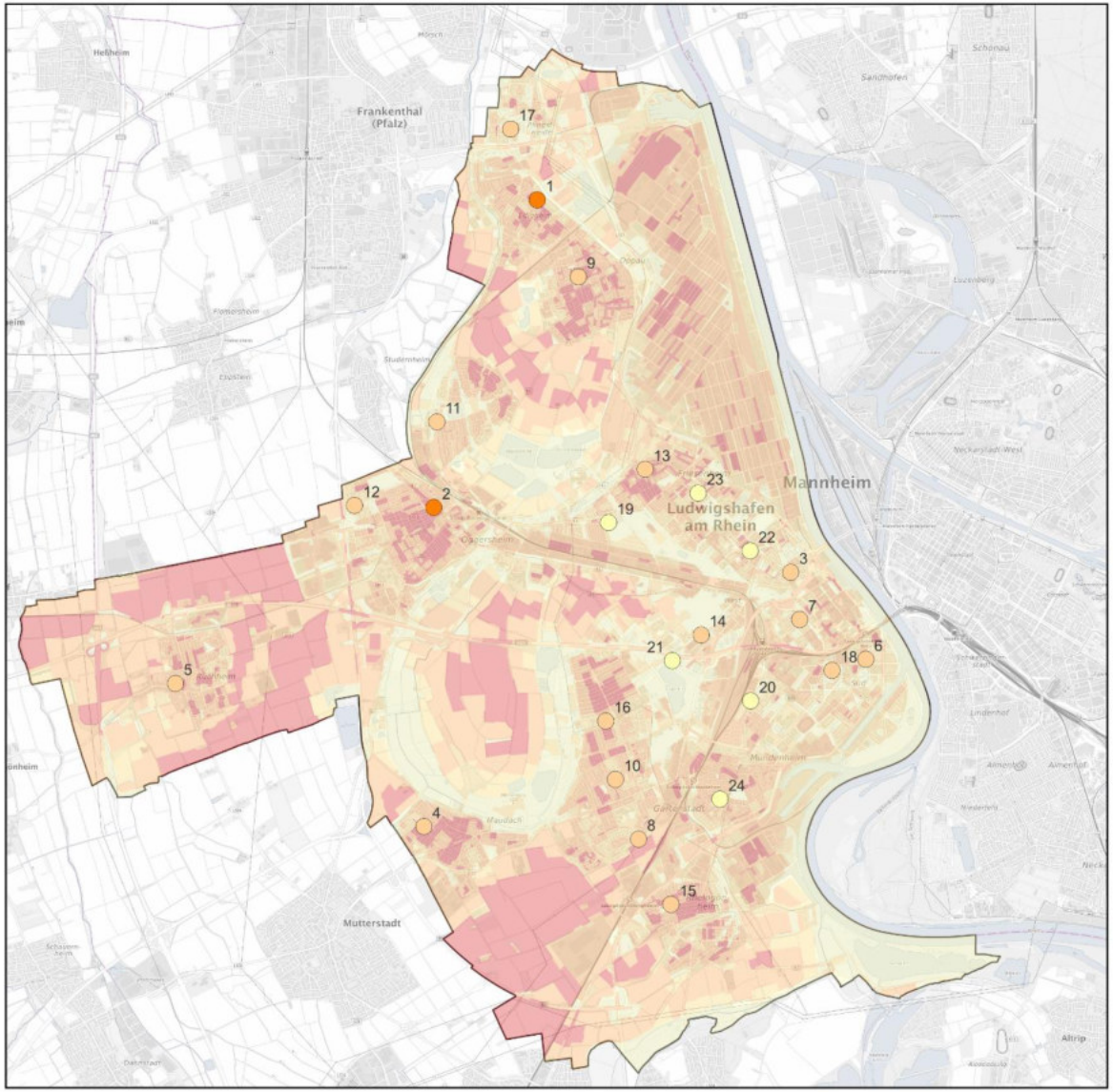
Bewertungskarte der bioklimatischen Tagsituation (14 Uhr) Zukunft; GeoNet 27.9.2024

Hintergrund: TopPlusOpen

Darstellung:

Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen
10.12.2024

Anhang A 49: Risikokarte des Ist-Zustandes zur bioklimatischen Belastung der Grundschulen.



Bioklimatische Belastung Grundschulen

Ist-zustand

Belastung
- sehr gering
- gering
- mittel
- hoch
- sehr hoch

0 1 2 3 km

Datengrundlagen:

Grundschulen; Stadt Ludwigshafen am Rhein

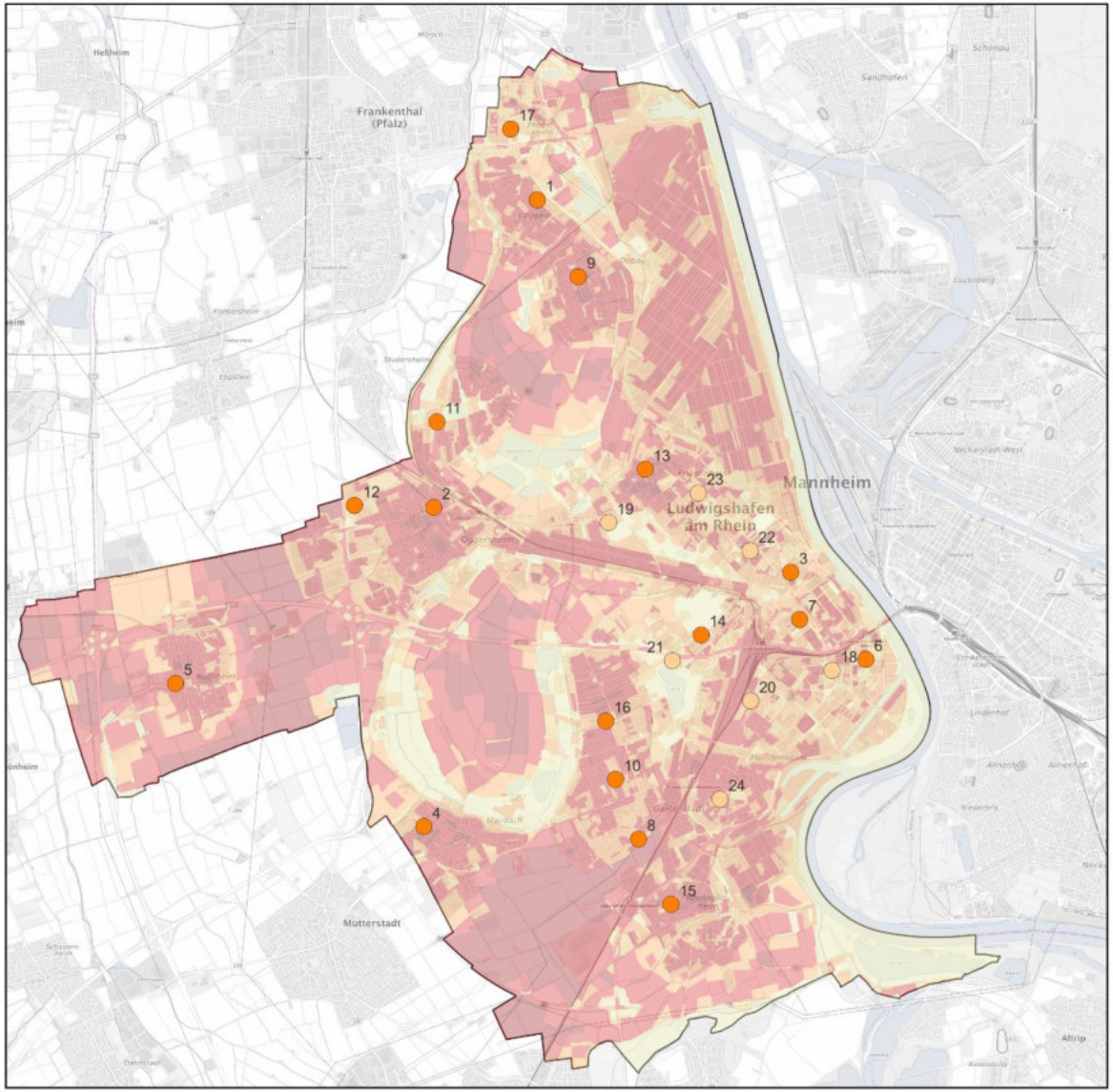
Bewertungskarte der bioklimatischen Tagsituation (14 Uhr) Ist-Zustand; GeoNet 27.9.2024

Hintergrund: TopPlusOpen

Darstellung:

Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen 10.12.2024

Anhang A 50: Risikokarte des Zukunftsszenarios zur bioklimatischen Belastung der Grundschulen.



Bioklimatische Belastung Grundschulen

Zukunft

Belastung
- sehr gering
- gering
- mittel
- hoch
- sehr hoch

0 1 2 3 km

Datengrundlagen:

Grundschulen; Stadt Ludwigshafen am Rhein

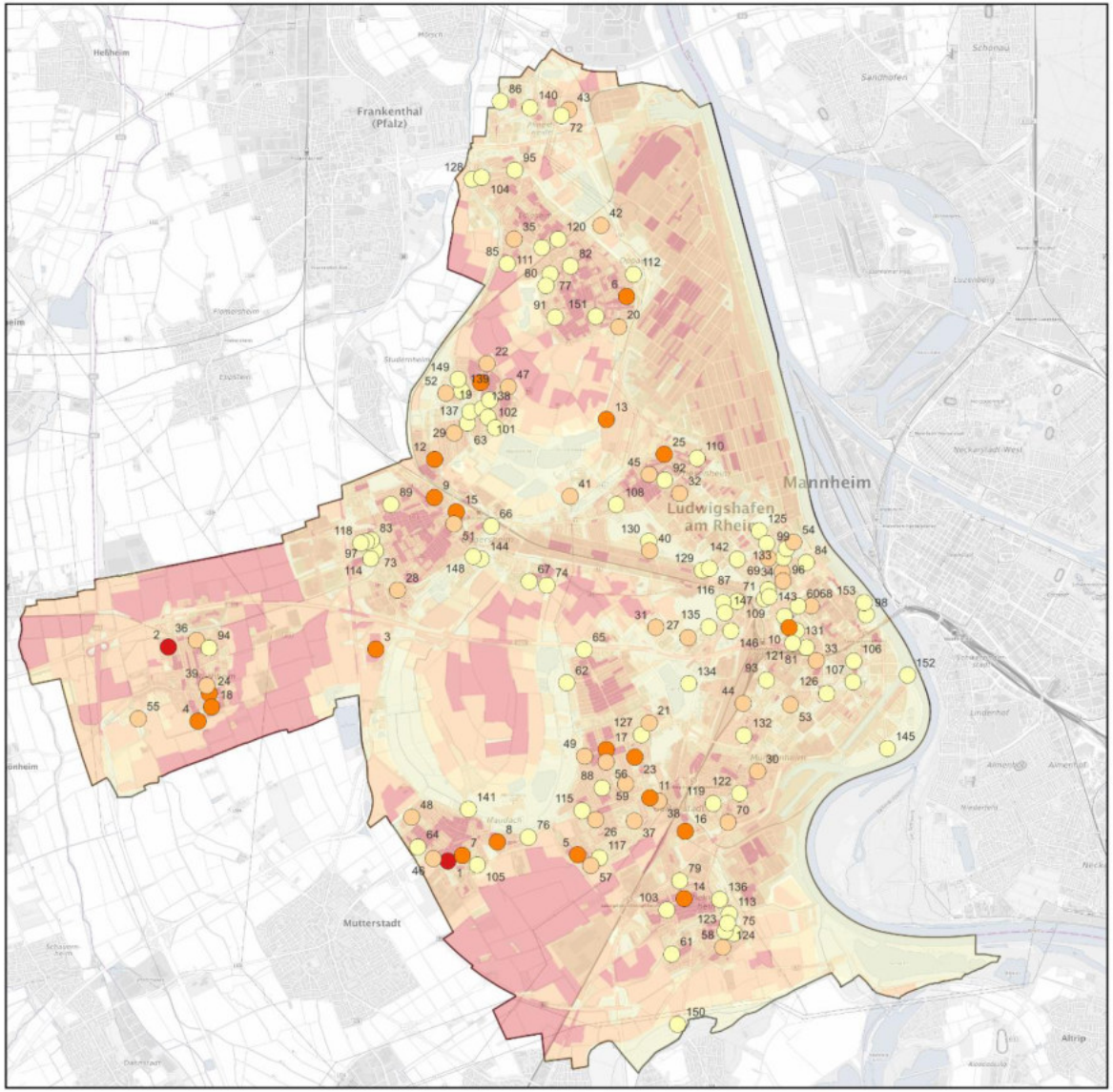
Bewertungskarte der bioklimatischen Tagsituation (14 Uhr) Zukunft; GeoNet 27.9.2024

Hintergrund: TopPlusOpen

Darstellung:

Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen
10.12.2024

Anhang A 51: Risikokarte des Ist-Zustandes zur bioklimatischen Belastung der Spielplätze in Ludwigshafen.



Bioklimatische Belastung Spielplätze

Ist-Zustand

Belastung
- sehr gering
- gering
- mittel
- hoch
- sehr hoch

0 1 2 3 km

Datengrundlagen:

Spielplätze; Stadt Ludwigshafen am Rhein

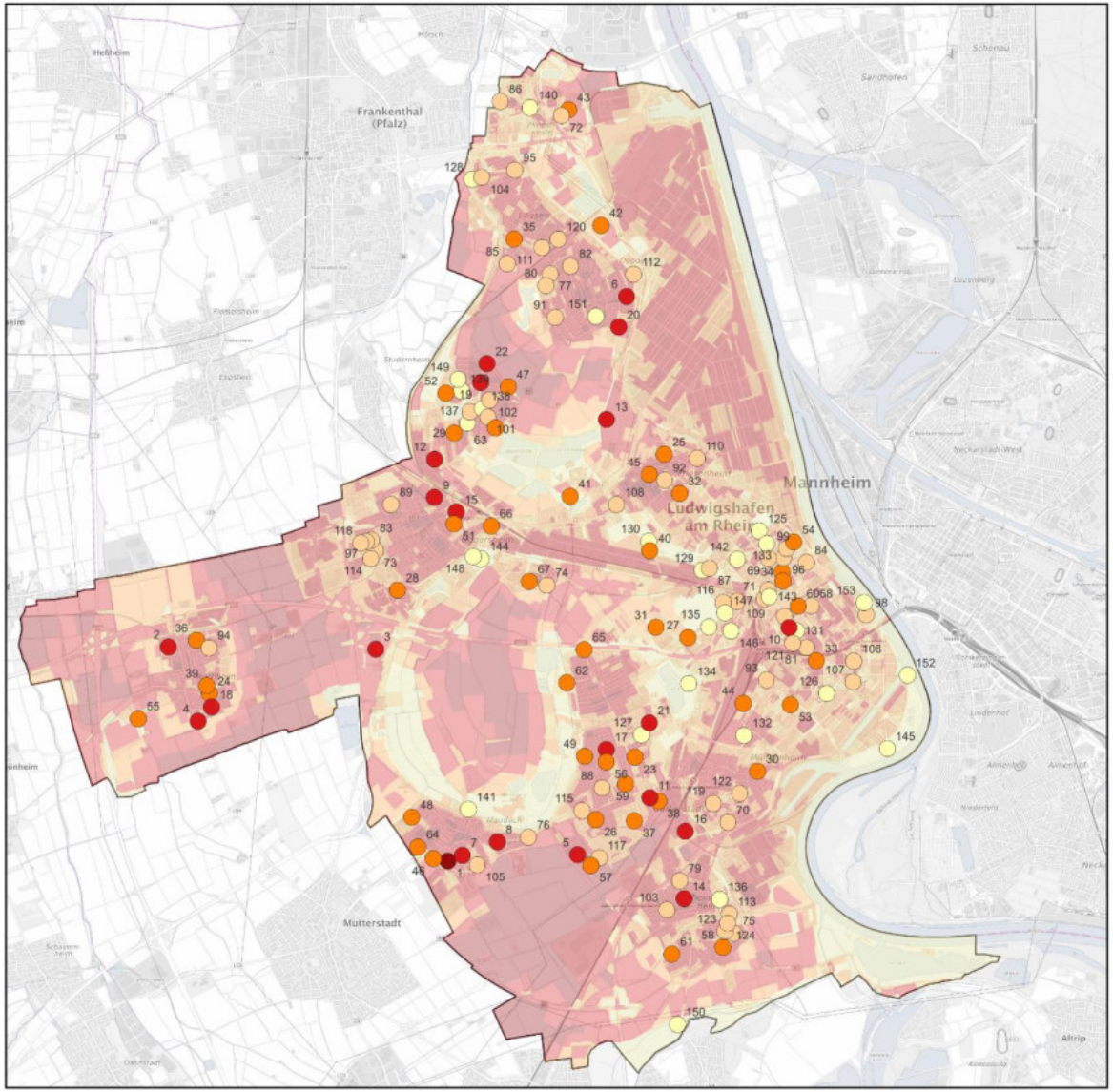
Bewertungskarte der bioklimatischen Tagsituation (14 Uhr) Ist-Zustand; GeoNet 27.9.2024

Hintergrund: TopPlusOpen

Darstellung:

Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen
10.12.2024

Anhang A 52: Risikokarte des Zukunftsszenarios zur bioklimatischen Belastung der Spielplätze in Ludwigshafen.



Bioklimatische Belastung Spielplätze

Zukunft

Belastung
- sehr gering
- gering
- mittel
- hoch
- sehr hoch

0 1 2 3 km

Datengrundlagen:

Spielplätze; Stadt Ludwigshafen am Rhein

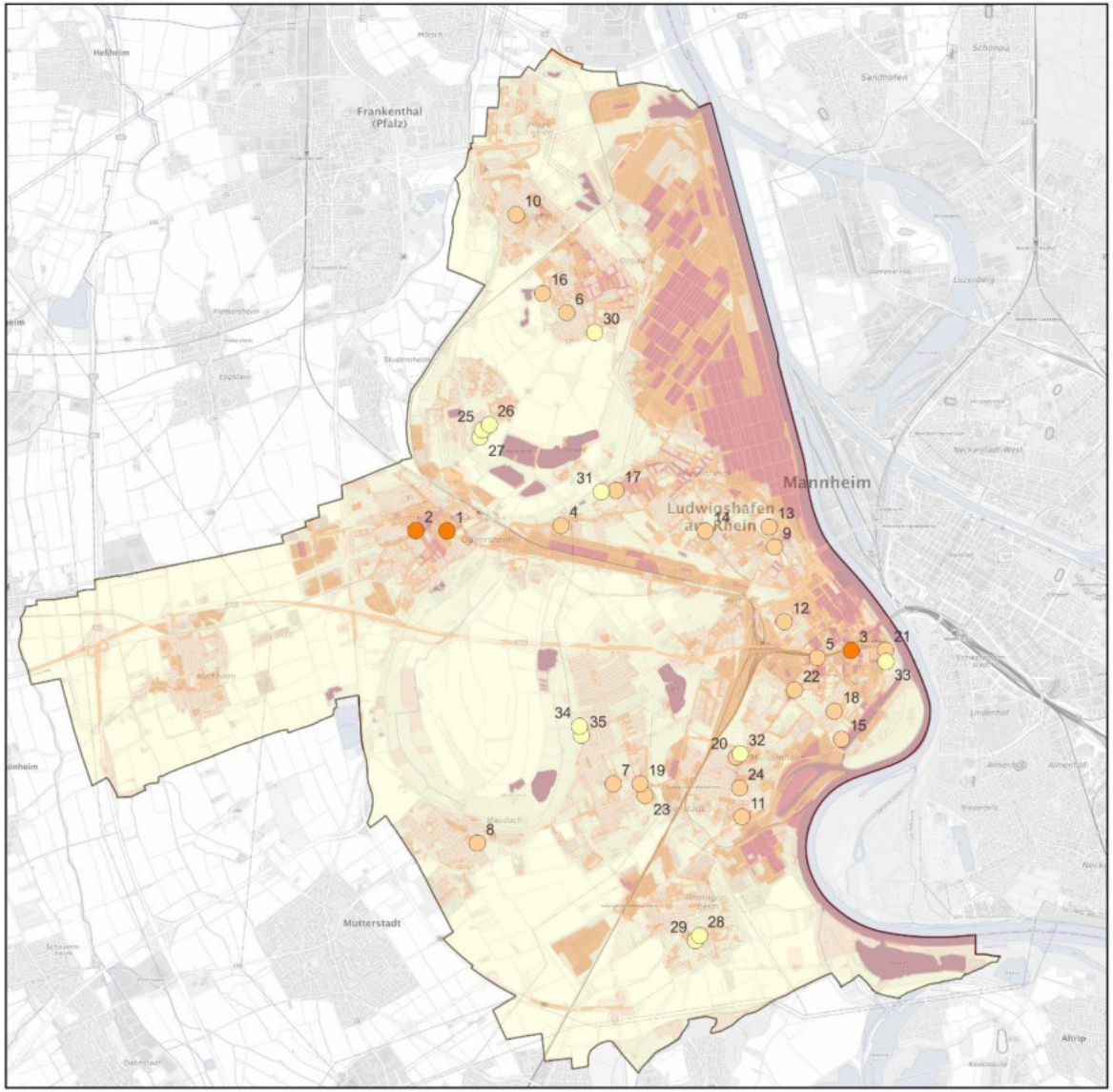
Bewertungskarte der bioklimatischen Tagsituation (14 Uhr) Zukunft; GeoNet 27.9.2024

Hintergrund: TopPlusOpen

Darstellung:

Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen
10.12.2024

Anhang A 53: Risikokarte des Ist-Zustandes zur bioklimatischen Belastung der Senioren- und Pflegeheime in Ludwigshafen.



Bioklimatische Belastung Senioren- und Pflegeheime

Ist-Zustand

Belastung
- sehr gering
- gering
- mittel
- hoch
- sehr hoch

0 1 2 3 km

Datengrundlagen:

Senioren- und Pflegeheime; Stadt Ludwigshafen am Rhein

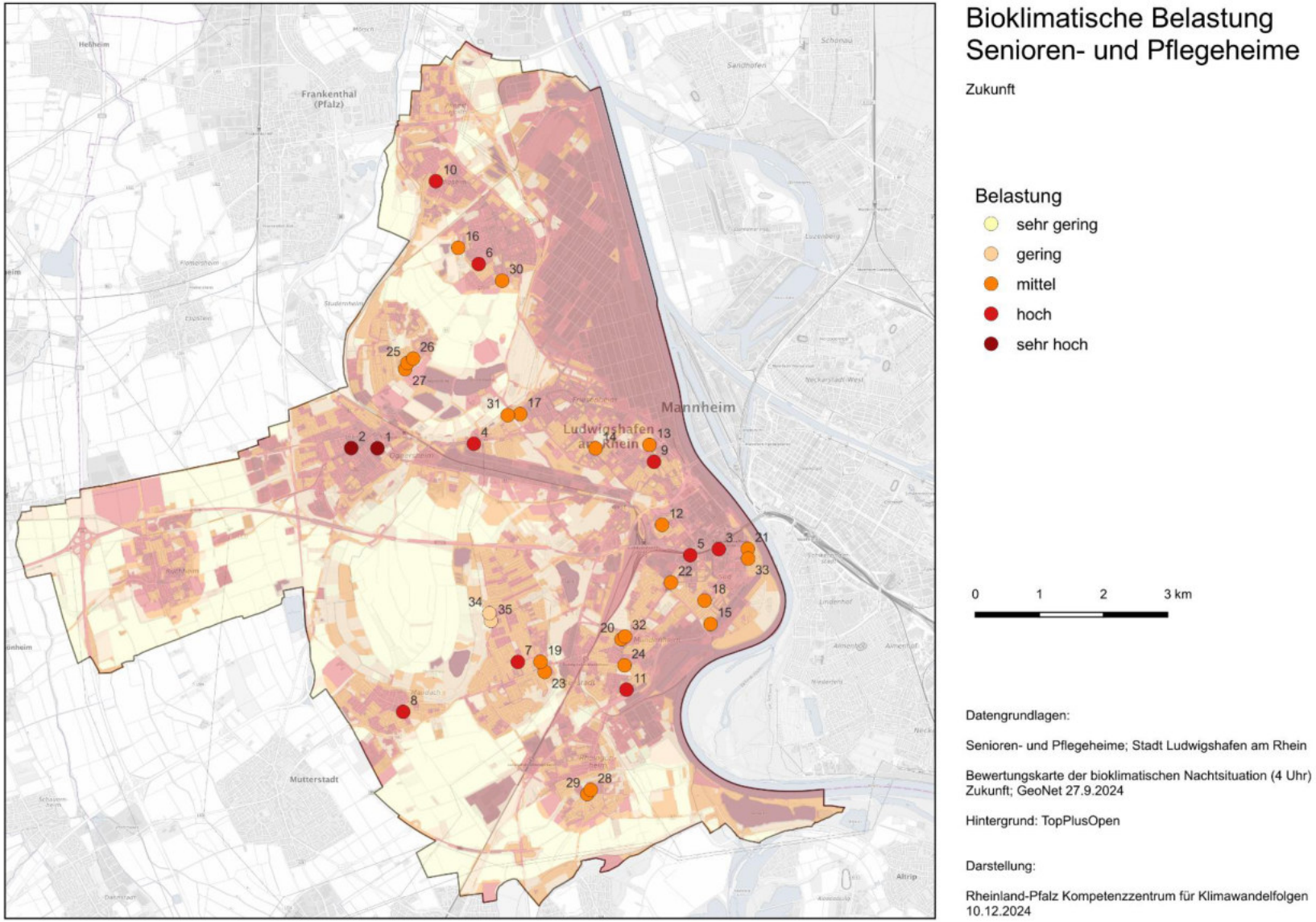
Bewertungskarte der bioklimatischen Nachtsituation (4 Uhr) Ist-Zustand; GeoNet 27.9.2024

Hintergrund: TopPlusOpen

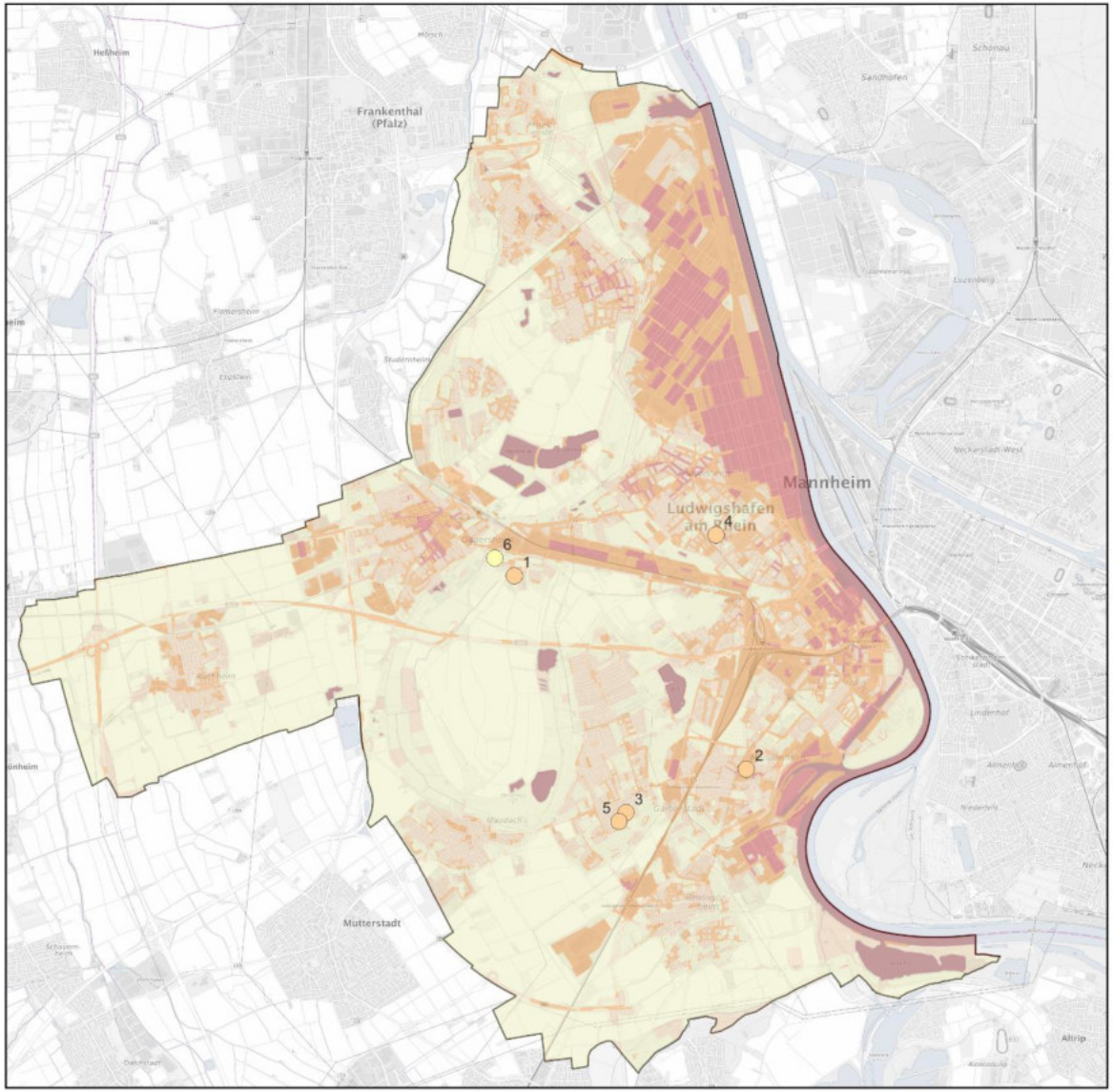
Darstellung:

Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen
10.12.2024

Anhang A 54: Risikokarte des Zukunftsszenarios zur bioklimatischen Belastung der Senioren- und Pflegeheime in Ludwigshafen.



Anhang A 55: Risikokarte des Ist-Zustandes zur bioklimatischen Belastung der Krankenhäuser und Hospize in Ludwigshafen.



Bioklimatische Belastung Krankenhäuser + Hospiz

Ist-Zustand

Belastung
- sehr gering
- gering
- mittel
- hoch
- sehr hoch

0 1 2 3 km

Datengrundlagen:

Krankenhäuser, Hospiz; Stadt Ludwigshafen am Rhein

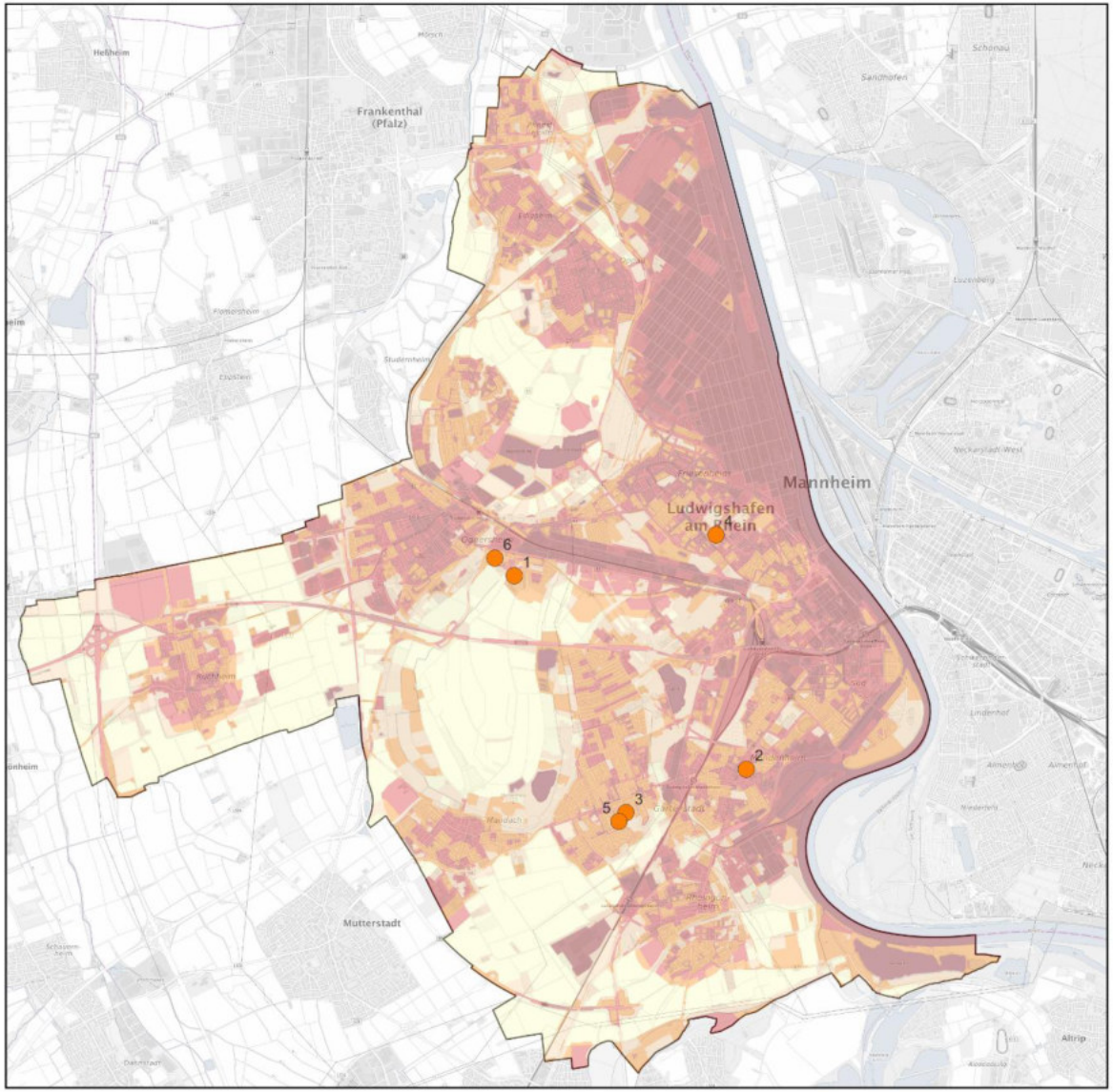
Bewertungskarte der bioklimatischen Nachtsituation (4 Uhr) Ist-Zustand; GeoNet 27.9.2024

Hintergrund: TopPlusOpen

Darstellung:

Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen 10.12.2024

Anhang A 56: Risikokarte des Zukunftsszenarios zur bioklimatischen Belastung der Krankenhäuser und Hospize in Ludwigshafen.



Bioklimatische Belastung Krankenhäuser + Hospiz

Zukunft

Belastung
- sehr gering
- gering
- mittel
- hoch
- sehr hoch

0 1 2 3 km

Datengrundlagen:

Krankenhäuser, Hospiz; Stadt Ludwigshafen am Rhein

Bewertungskarte der bioklimatischen Nachtsituation (4 Uhr) Zukunft; GeoNet 27.9.2024

Hintergrund: TopPlusOpen

Darstellung:

Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen
10.12.2024

Anhang A 57: Übersichtstabelle zur Risikoanalyse der bioklimatischen Belastung der Kindertagesstätten in Ludwigshafen.

Nr. Karte	Name	Adresse	Bioklimatische Belastung IST	Bioklimatische Belastung ZUKUNFT
1	KTS St. Gallus I	Spatenstraße 17	hoch	sehr hoch
2	KTS Apostelkirche	Rohrlachstraße 74	mittel	hoch
3	KTS St. Gallus II (Arche Noah)	Hagellochstraße 33	mittel	hoch
4	KTS Die Igelkinder	Käthe-Kollwitz-Allee 39	mittel	hoch
5	KTS Christ Koenig	Josef-Huber-Straße 45	mittel	hoch
6	KTS Heilig Kreuz	Burgundenstraße 2	mittel	hoch
7	KTS Kibitop	Mittelstraße 2	mittel	hoch
8	KTS Kunterbunt	Kärntner Straße 25	mittel	hoch
9	KTS Maria Himmelfahrt	Schloßgasse 2a	mittel	hoch
10	KTS Oberlin	Oberlinstraße 5	mittel	hoch
11	KTS Orangerie	Orangeriestraße 7	mittel	hoch
12	KTS Schanzstraße	Rohrlachstraße 89	mittel	hoch
13	KTS St. Hildegard	Niederfeldstraße 20	mittel	hoch
14	KTS St. Joseph	St. Josefsgasse 13	mittel	hoch
15	KTS St. Martin I	Kirchenstraße 10	mittel	hoch
16	KTS St. Martin II	Georg-Ludwig-Krebs-Straße 32	mittel	hoch
17	KTS St. Michael	Silgestraße 15	mittel	hoch
18	KIS LUfanten	Ernst-Boehe-Straße 8	mittel	hoch
19	KTS Adolf-Diesterweg-Straße	Adolf-Diesterweg-Straße 144	mittel	hoch
20	KTS Arche Noah	Maxstraße 36	mittel	mittel
21	KTS Comeniuskindergarten	Comeniusstraße 14	gering	mittel
22	KTS Johanneskäfer	Nachtigalstraße 39	mittel	mittel
23	KTS Karl-Krämer-Straße	Karl-Krämer-Straße 4a	mittel	mittel
24	KTS Ruchheim	Oggersheimer Straße 22	mittel	mittel
25	KTS Sonnenland	Herxheimer Straße 51	mittel	mittel
26	KTS St. Bonifaz	Deidesheimer Straße 8	mittel	mittel
27	KTS St. Sebastian II	Wasgaustraße 22	mittel	mittel
28	KTS Gneisenaustraße	Gneisenaustraße 1	mittel	mittel
29	KTS Wattstraße	Wattstraße 125	mittel	mittel
30	KTS Ernst-Reuter-Siedlung	Schlesier Straße 36a	gering	mittel
31	KTS Maudach	Grünstadter Straße 5	gering	mittel
32	KTS Melm	Rheinhorststraße 40	gering	mittel
33	KTS Pfingstweide	Londoner Ring 8	gering	mittel
34	Integrative KTS Oggersheim	Comeniusstraße 32	gering	mittel
35	KTS Arche Noah	Pfalzgartenstraße 12-16	gering	mittel
36	KTS Blücherstraße	Blücherstraße 5-7	gering	mittel
37	KTS Dietrich-Bonhoeffer-Zentrum	Brebacher Straße 3	gering	mittel
38	KTS Friedenskirche	Leuschnerstraße 56	gering	mittel
39	KTS Hartmannstraße	Hartmannstraße 31	gering	mittel
40	KTS Heilig Geist	Georg-Herwegh-Straße 43	gering	mittel
41	KTS Hemshof	Hemshofstraße 39	gering	mittel
42	KTS Hummelnest	Ludwig-Boerne-Straße 2	gering	mittel
43	KTS Karl-Dillinger-Straße	Karl-Dillinger-Straße 7	gering	mittel

44	KTS Käthe-Kollwitz	Altrheinstraße 29	gering	mittel
45	KTS Klinikum	Pettenkoferstraße	gering	mittel
46	KTS Langgewann	Friedrich-Naumann-Straße 13	gering	mittel
47	KTS LuKids	Geibelstr. 3	gering	mittel
48	KTS Maria Königin	Oppauer Straße 75	gering	mittel
49	KTS Mitte	Westendstraße 6-8	gering	mittel
50	KTS Nord	Seilerstraße 14	gering	mittel
51	KTS Pauluskirche	Luitpoldstraße 45a	gering	mittel
52	KTS Regenbogen	Brüsseler Ring 57	gering	mittel
53	KTS Regenbogenland	Limesstraße 4	gering	mittel
54	IKTS Sonnenblume (Förderkiga)	Rheinhorststraße 38	gering	mittel
55	KTS St. Albert	Londoner Ring 52	gering	mittel
56	KTS St. Dreifaltigkeit	Hemshofstraße 42	gering	mittel
57	KTS St. Hedwig	Von-Kieffer-Straße 100	gering	mittel
58	KTS St. Ludwig	Wredestraße 24	gering	mittel
59	KTS Kanalstraße	Kanalstraße 75	gering	mittel
60	KTS Brückweg	Brückweg 41	gering	mittel
61	KTS Brückweg	Brückweg 41	gering	mittel
62	KTS Wörthstraße	Wörthstraße 21	gering	mittel
63	KTS Albert-Schweitzer	Georg-Herwegh-Straße 9	gering	mittel
64	KTS Kinderzentrum	Karl-Lochner-Straße 8	gering	mittel
65	KTS Oppau	Breitscheidstraße 37	gering	gering
66	KTS Edigheim	Bruderweg 4	gering	gering
67	KTS SLS Abenteuerland	Bayreuther Straße 47	gering	gering
68	KTS Löwenzahn	Weißdornhag 3	gering	gering
69	KTS St. Josef	Leuschnerstraße 151	gering	gering
70	KTS Kinderhaus Wolfsgrube	Uhlandstraße 97	sehr gering	gering
71	KTS Madenburgstraße	Madenburgstraße 30	sehr gering	gering
72	KTS Ebernburg	Ebernburgstraße 11	sehr gering	gering
73	KTS Prot. Kindertagesstätte Christuskirche	Weißenburger Straße 36	sehr gering	gering
74	KTS Heinigstraße	Benckiserstraße 50a	sehr gering	gering
75	KTS Herz Jesu	Rottstraße 19	sehr gering	gering
76	KTS Kecke Spatzen	Edinburger Weg 5	sehr gering	gering
77	KTS Louise-Scheppler	Kranichstraße 15	sehr gering	gering
78	KTS Lukaskirche	Silcherstraße 11	sehr gering	gering
79	KTS St. Sebastian I	Pfarrer-Krebs-Straße 26	sehr gering	gering
80	KTS Süd	Orffstraße 1	sehr gering	gering
81	KTS Tabaluga	Mörikestraße 28	sehr gering	gering
82	KTS Von-Weber-Straße	Von-Weber-Straße 17	sehr gering	gering
83	KTS Lichtenberger Ufer	Rheinuferstraße 7	sehr gering	gering
84	KTS Kinderhaus am Ebertpark	Erzbergerstraße 109	sehr gering	sehr gering
85	KTS Friesenheim	Erzbergerstraße 111	sehr gering	sehr gering
86	KTS Marienstraße	Marienstraße 5-7	sehr gering	sehr gering
87	KTS Lummerland	Waltraudenstraße 36	sehr gering	sehr gering

Anhang A 58: Übersichtstabelle zur Risikoanalyse der bioklimatischen Belastung der Kindertagesstätten in Ludwigshafen.

Nr. Karte	Name	Adresse	Bioklimatische Belastung IST	Bioklimatische Belastung ZUKUNFT
1	Lessingschule	Bürgermeister-Fries-Straße 1c	mittel	mittel
2	Schillerschule Oggersheim	Wormser Straße 17	mittel	mittel
3	Gräfenauschule	Gräfenaustraße 32	gering	mittel
4	Alfred-Delp-Schule	Schilfstraße 17	gering	mittel
5	Astrid-Lindgren-Schule	Kurt-Kreiselmaier-Platz 1	gering	mittel
6	Brüder-Grimm-Schule	Hornstraße 1	gering	mittel
7	Erich Kästner-Schule	Bahnhofstraße 52	gering	mittel
8	Ernst-Reuter-Schule	Schlesier Straße 56	gering	mittel
9	Goethe-Mozart-Schule	Kurt-Schumacher-Straße 38	gering	mittel
10	Hochfeldschule	Leistadter Straße 45	gering	mittel
11	Karl-Kreuter-Schule	Am Brückelgraben 91	gering	mittel
12	Grundschule In der Langgewann	Adolf-Kolping-Straße 30	gering	mittel
13	Luitpoldschule	Luitpoldstraße 37	gering	mittel
14	Lukas-Schule	Bliesstraße 1	gering	mittel
17	Grundschule Pfingstweide	Budapester Straße 30-32	gering	mittel
18	Wittelsbachschule	Wittelsbachstraße 73	sehr gering	gering
19	GS+ RSP Albert-Einstein	Sternstraße 159	sehr gering	gering
20	Albert-Schweitzer-Schule	Georg-Herwegh-Straße 9	sehr gering	gering
21	Bliesschule	Krummlachstraße 10	sehr gering	gering
22	Goetheschule Nord	Goethestraße 19	sehr gering	gering
23	Rupprecht-Schule	Nietzschestraße 30	sehr gering	gering
24	Schillerschule Mundenheim	Rheingönheimer Straße 103	sehr gering	gering

Anhang A 59: Übersichtstabelle zur Risikoanalyse der bioklimatischen Belastung der Kinderspielplätze in Ludwigshafen.

Nr. Karte	Name	Adresse	Bioklimatische Belastung IST	Bioklimatische Belastung ZUKUNFT
1	KSP Alois-Hildenbrand-Straße	Alois-Hildebrand-Straße	hoch	sehr hoch
2	KSP Ludowici Straße (Alte Kaut)	Ludowici Straße	hoch	hoch
3	KSP Kleingartenanlage Hüttengraben	KGA Hüttengraben	mittel	hoch
4	KSP Allensteiner Weg	Allensteiner Weg	mittel	hoch
5	KSP Bockenheimer-/Dhauner Straße	Bockenheimer Straße	mittel	hoch
6	KSP Heinrich-Caro-Straße	Heinrich-Caro-Straße	mittel	hoch
7	KSP Hindenburgstraße	Burrweiler Straße	mittel	hoch
8	KSP Im langen Winkel	Im langen Winkel	mittel	hoch
9	KSP In den Weihergärten	In den Weihergärten	mittel	hoch
10	KSP Innenhof Benckiser-/ Westend-/Bgm. Kutterer-/Bahnhofstraße	Benckiser-/ Westendstraße	mittel	hoch
11	KSP Innsbrucker Weg	Innsbrucker Weg	mittel	hoch
12	KSP Kleingartenanlage Brückelgraben	Am Brückelgraben	mittel	hoch
13	KSP Kleingartenanlage Werre	In den Werren	mittel	hoch
14	KSP König-/Eduard-Jost-Straße	Eduar-Jost-Straße	mittel	hoch
15	KSP Merianpark	Merianstraße	mittel	hoch
16	KSP Mundenheim West 2	Kropsburgstraße	mittel	hoch
17	KSP Raschigstraße 1	Raschigstraße	mittel	hoch
18	KSP Tiefgarage Ellerstadter Straße	Ellerstadter Straße 2-2d	mittel	hoch
19	KSP Melm 11	Robert-Lauth-Straße	mittel	hoch
20	KSP Kleingartenanlage Aue	Horst-Schork-Straße	gering	hoch
21	KSP Kleingartenanlage Buchenstraße	Buchenstraße	gering	hoch

22	KSP Melm 10	Robert-Lauth-Straße	gering	hoch
23	KSP Eibenstraße	Eibenstraße	mittel	mittel
24	KSP Gronauer Straße	Gronauer Straße	mittel	mittel
25	KSP Helen-Keller-Straße	Helen-Keller-Straße	mittel	mittel
26	Skateranlage Sachsenstraße	Sachsenstraße	gering	mittel
27	KSP Bliesstraße	Bliesstraße 18	gering	mittel
28	Abenteuerspielplatz Oggersheim	Speyerer Straße 34	gering	mittel
29	KSP Altrheinstraße	Altrheinstraße	gering	mittel
30	KSP Anwohnertreff Krongasse	Krongasse	gering	mittel
31	KSP Bayreuther Straße	Bayreuther Straße	gering	mittel
32	KSP Behringplatz	Behringplatz	gering	mittel
33	KSP Innenhof Bleichstraße/Saarland-straße	Bleichstraße	gering	mittel
34	KSP Blücher-/ Welserstraße	Welserstraße	gering	mittel
35	KSP Eckewartweg	Eckewartweg	gering	mittel
36	KSP Erfurter Ring	Erfurter Ring	gering	mittel
37	KSP Ernst-Reuter-Park	Steiermarkstraße	gering	mittel
38	KSP Fügener Weg	Fügener Weg	gering	mittel
39	KSP Himmeroder Weg	Himmeroder Weg	gering	mittel
40	KSP Kleingartenanlage Am Ried-saumpark	Kopernikusstraße	gering	mittel
41	KSP Kleingartenanlage Bastenhorst	Bastenhorstweg	gering	mittel
42	KSP Kleingartenanlage Guldenge-wann	Guldengewann	gering	mittel
43	KSP Kleingartenanlage Nachtweide	Muldenweg	gering	mittel
44	KSP Kleingartenanlage Süd-Schönge-wann	Stifterstraße	gering	mittel
45	KSP Kreuzstraße/Spatenstraße	Kreuzstraße	gering	mittel
46	KSP Kurt-Kern-Straße	Kurt-Kern-Straße	gering	mittel
47	KSP Melm 8 / Fritz-Lederle-Straße	Fritz-Lederle-Straße	gering	mittel
48	KSP Mittelstraße	Mittelstraße	gering	mittel
49	KSP Raschigstraße 2	Raschigstraße	gering	mittel
50	KSP Innenhof Schanzstraße	Schanzstraße	gering	mittel
51	KSP Skulpturengarten	Aichgasse	gering	mittel
52	KSP Spielweg Melm	Am Weidenschlag	gering	mittel
53	KSP Im Sportpark	Saarlandstraße	gering	mittel
54	KSP Tiefgarage Dessauer Straße	Dessauer Straße	gering	mittel
55	KSP Vogelwiese/ Vogelpark	Kreuzgraben	gering	mittel
56	KSP Volkspark Gartenstadt	Schlehengang	gering	mittel
57	KSP Wohnweg Dhauner Straße	Dhauner Straße	gering	mittel
58	KSP Zwischen Teuschanlage und Gertrud Bäumer-Straße	Christine-Teusch-Anlage	gering	mittel
59	KSP Grüner Hof A	Grüner Hof	gering	mittel
60	KSP Danziger Platz	Danziger Platz	sehr gering	mittel
61	KSP Horlacher-/Limesstraße	Bgm.-Horlacher-Straße	sehr gering	mittel
62	KSP Kleingartenanlage Wiesengrund	Kallstadter Straße	sehr gering	mittel
63	KSP Melm 6 / Burgspielplatz	Alb. Haueisen-Ring/ Chr. Kröwerath-Str.	sehr gering	mittel
64	KSP Mohnstraße	Mohnstraße	sehr gering	mittel
65	KSP + Ballspielfläche Niederfeld-straße	Niederfeldstraße	sehr gering	mittel
66	KSP Rheinecke	Rheinecke	sehr gering	mittel
67	KSP Werner-Forßmann-Ring	Werner-Forßmann-Ring	sehr gering	mittel
68	KSP Spielbereich Haus der Jugend	Schulstraße	gering	gering
69	KSP Seilerstraße	Seilerstraße	gering	gering
70	KSP Weinbietstraße	Weinbietstraße	gering	gering

71	Skateboardanlage Friedenspark	Friedenspark	sehr gering	gering
72	Jugendfarm Pfingstweide e.V.	Athener Straße	sehr gering	gering
73	KSP Fröbelstraße (Affengraben)	Affengraben	sehr gering	gering
74	KSP Alexander-Fleming-Straße	Alexander-Fleming-Straße	sehr gering	gering
75	KSP Am Horstgraben	Am Horstgraben	sehr gering	gering
76	KSP An der Mittagsweide	An der Mittagsweide	sehr gering	gering
77	KSP Bauhausstraße	Bauhausstraße	sehr gering	gering
78	KSP Benckiserstraße	Benckiserstraße	sehr gering	gering
79	KSP Bolandenstraße	Bolandenstraße	sehr gering	gering
80	KSP Breitscheidstraße	Breitscheidstraße	sehr gering	gering
81	KSP Bürgermeister Kutterer-Straße	Bgm.-Kutterer-Straße	sehr gering	gering
82	KSP Bürgermeister Zorn-Platz	Bürgermeister-Zorn-Platz	sehr gering	gering
83	KSP Comenius- / Kerschensteiner Straße	Kerschensteiner Straße	sehr gering	gering
84	KSP Dessauer Straße RHC	Dessauer Straße	sehr gering	gering
85	KSP Dietrichweg	Dietrichweg	sehr gering	gering
86	KSP Dubliner Straße	Dubliner Straße	sehr gering	gering
87	KSP Ebertpark Pettenkoferstraße	Pettenkoferstraße	sehr gering	gering
88	KSP Forster Platz	Forster Straße	sehr gering	gering
89	KSP Franz-von-Sickingen-Straße	Franz-von-Sickingen-Straße	sehr gering	gering
90	KSP Friedenspark Wohnbebauung	Friedenspark	sehr gering	gering
91	KSP Friedrichstraße	Friedrichstraße	sehr gering	gering
92	KSP Friesenpark	Sternstraße	sehr gering	gering
93	KSP Georg-Büchner-Straße	Georg-Büchner-Straße	sehr gering	gering
94	KSP Grüne Mitte	Magdeburger Straße	sehr gering	gering
95	KSP Grünzug Anglerstraße / Ostring-platz	Ostringplatz	sehr gering	gering
96	KSP Hemshofpark	Gräfenaustraße	sehr gering	gering
97	KSP Kerschensteiner Straße Platz 2	Fröbelstraße	sehr gering	gering
98	KSP Lichtenberger Ufer	Lichtenberger Straße	sehr gering	gering
99	KSP Marienstraße	Marienstraße	sehr gering	gering
100	KSP Melm 3 Regenwasser-Polder	Karl-Dillinger-Straße	sehr gering	gering
101	KSP Melm 5 / Matschspielplatz	Karl-Dillinger-Straße	sehr gering	gering
102	KSP Melm 7 / Wilhelm-Vorholz-Straße	Wilhelm-Vorholz-Straße	sehr gering	gering
103	KSP Mozartpark	Altfriedhofstraße	sehr gering	gering
104	KSP Mönchbuschweg/ Anglerstraße	Mönchbuschweg	sehr gering	gering
105	KSP Neustadter Ring	Neustadter Ring	sehr gering	gering
106	KSP Pfalzgrafenstraße	Pfalzgrafenstraße	sehr gering	gering
107	KSP Pranckhstraße	Pranckhstraße	sehr gering	gering
108	KSP Riedsaumpark/Keplerstraße	Keplerstraße	sehr gering	gering
109	KSP Rudolf-Hoffmann-Platz	Alberichstraße	sehr gering	gering
110	KSP Ruthenstraße/Sternstraße	Ruthenstraße	sehr gering	gering
111	KSP Spielweg Wolfsgrube, 3 Plätze	Kriemhildstraße	sehr gering	gering
112	KSP- und Bolzplatz Stadtpark Oppau	Rheinstraße	sehr gering	gering
113	KSP Südlich Brückweggraben	Brückweg	sehr gering	gering
114	KSP Thomas-Mann-Straße	Thomas-Mann-Straße	sehr gering	gering
115	KSP Ungsteiner Straße	Ungsteiner Straße	sehr gering	gering
116	KSP Volkerstraße	Volkerstraße	sehr gering	gering
117	KSP Von-Kieffer-Straße	Von-Kieffer-Straße	sehr gering	gering
118	KSP Wander-/ Kerschensteiner Straße	Fröbelstraße	sehr gering	gering
119	KSP Wasgaustraße	Wasgaustraße	sehr gering	gering
120	KSP Werderstraße	Werderstraße	sehr gering	gering
121	KSP Westendstraße	Westendstraße	sehr gering	gering

122	KSP Zedtwitz-Park	Wilhelminenstraße	sehr gering	gering
123	KSP Neubruch Kollwitz- und Juchacz-Allee	Ingeborg-Drewitz-Weg	sehr gering	gering
124	KSP Neubruch Röderanlage / Kollwitz-Allee	Käthe-Kollwitz-Allee	sehr gering	gering
125	KSP Rollesbunker	Rollesbunker	sehr gering	sehr gering
126	KSP Bayernplatz	Bayernplatz	sehr gering	sehr gering
127	KSP Buchenstraße	Buchenstraße	sehr gering	sehr gering
128	KSP Dammstücker Weg	Dammstücker Weg	sehr gering	sehr gering
129	KSP + Bolzplatz Ebertpark Bärenzwinger	Ebertpark	sehr gering	sehr gering
130	KSP Ebertpark Kopernikusstraße	Kopernikusstraße	sehr gering	sehr gering
131	KSP Friedrich-Lux-Straße	Friedrich-Lux-Straße	sehr gering	sehr gering
132	KSP Ganghoferstraße	Ganghoferstraße	sehr gering	sehr gering
133	KSP Goetheanlage	Rohrlachstraße	sehr gering	sehr gering
134	KSP Große Blies	Bruchwiesenstraße	sehr gering	sehr gering
135	KSP Jugendtreffpunkt Waltrauden-straße	Brunhildenstraße	sehr gering	sehr gering
136	KSP Kornackerstraße/ Mühlweg	Kornackerstraße	sehr gering	sehr gering
137	KSP Melm 1-2 Spielweg Brückelgra-ben	Notwende-Melm Brückelgraben	sehr gering	sehr gering
138	KSP Melm 4 / Am Pumpwerk	Karl-Dillinger-Straße	sehr gering	sehr gering
139	KSP Nördlich Will-Sohl-Straße	Willi-Sohl-Straße	sehr gering	sehr gering
140	KSP Prager Straße	Prager Straße	sehr gering	sehr gering
141	KSP Robinsonspiel am Bruch	Riedstraße	sehr gering	sehr gering
142	KSP Sebastian-Funk-Platz	Sebastian-Funk-Platz	sehr gering	sehr gering
143	KSP Friedenspark Spielmulde-Kinder-paradies	Friedenspark	sehr gering	sehr gering
144	KSP Stadtpark Oggersheim	Stadtpark Oggersheim	sehr gering	sehr gering
145	KSP Stadtpark (Parkinsel)	Stadtpark Parkinsel	sehr gering	sehr gering
146	KSP Walkürenstraße	Walkürenstraße	sehr gering	sehr gering
147	KSP Waltraudenstraße	Waltraudenstraße	sehr gering	sehr gering
148	KSP Weimarer Straße	Weimarer Straße	sehr gering	sehr gering
149	KSP Westlich Lore-Dauer-Straße	Lore-Dauer-Straße	sehr gering	sehr gering
150	KSP Wildpark	Neuhöfer Straße	sehr gering	sehr gering
151	KSP Windhorststraße	Windhorststraße	sehr gering	sehr gering
152	KSP Lindwurm	Stadtpark/Parkinsel	sehr gering	sehr gering
153	KSP Rheinuferstraße	Rheinuferstraße	sehr gering	sehr gering

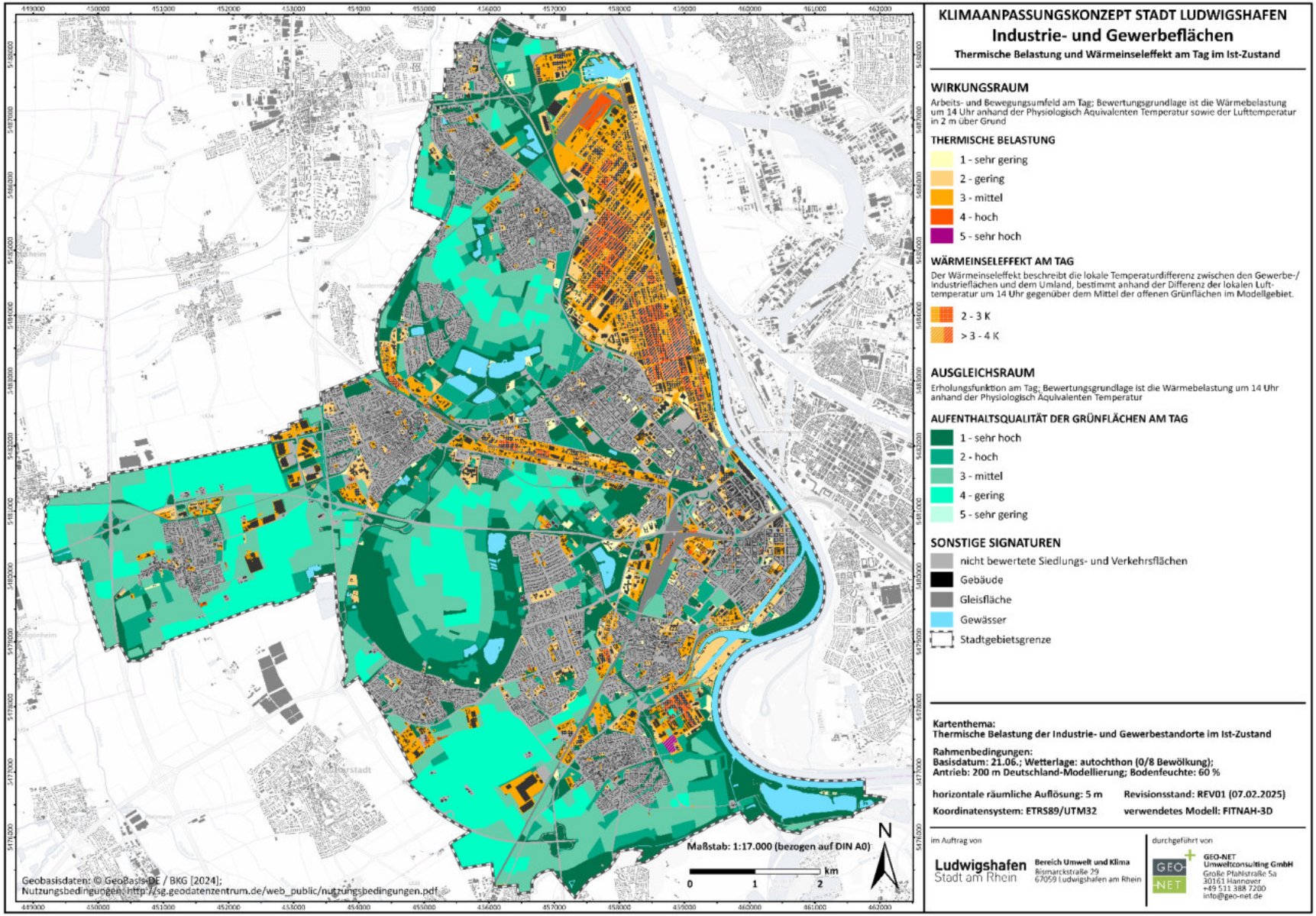
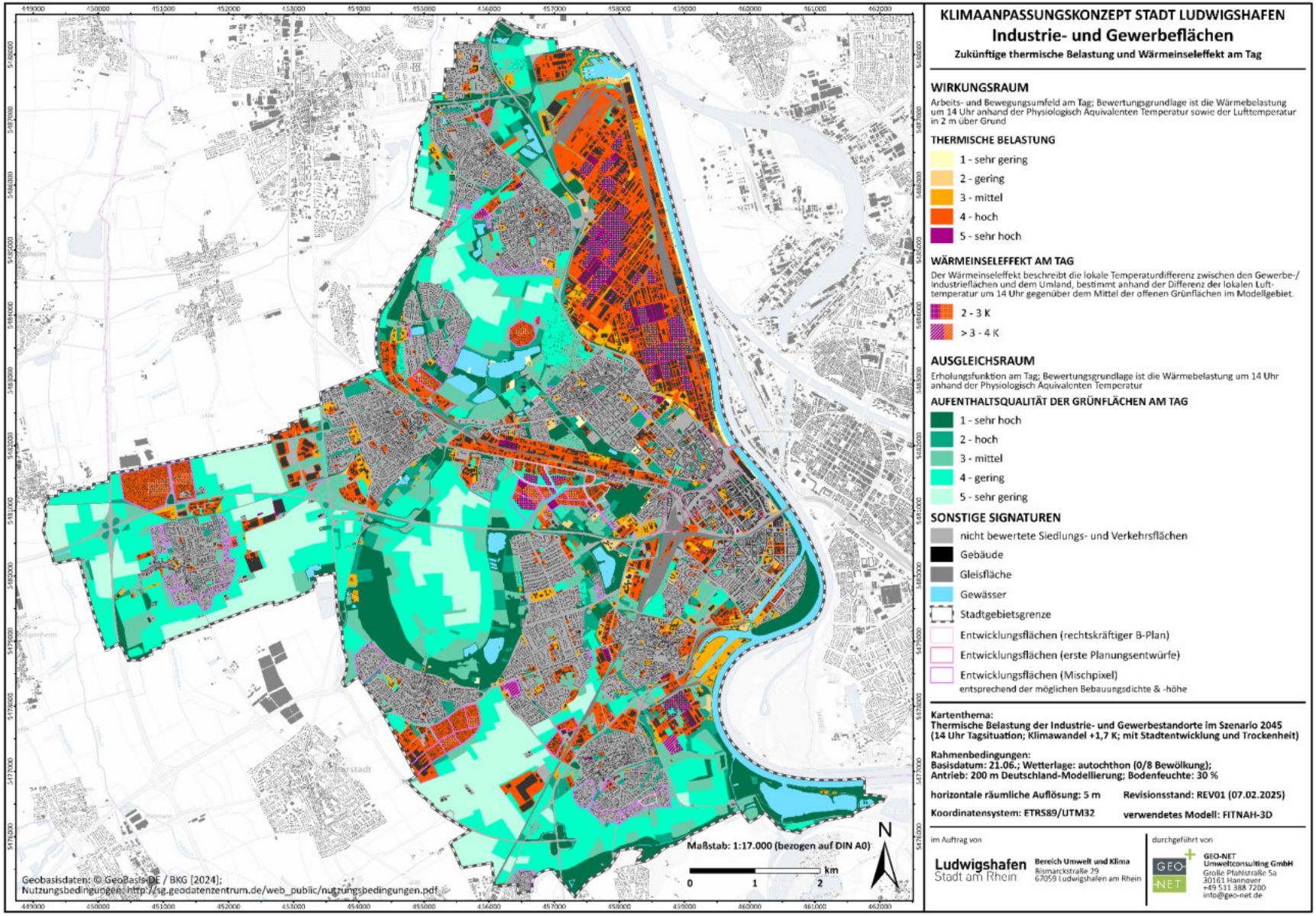
Anhang A 60: Übersichtstabelle zur Risikoanalyse der bioklimatischen Belastung der Krankenhäuser und Hospize in Ludwigshafen.

Nr. Karte	**Name**	**Adresse**	**Bioklimatische Belastung IST**	**Bioklimatische Belastung ZUKUNFT**
1	BG Klinik Ludwigshafen	Ludwig-Guttmann-Straße 13	gering	mittel
2	St. Annastiftskrankenhaus	Karolina-Burger-Straße 51	gering	mittel
3	St. Marienkrankenhaus	Salzburger Straße 15	gering	mittel
4	Klinikum Ludwigshafen	Bremserstraße 79	gering	mittel
5	Hospiz Elias	Steiermarkstraße 12	gering	mittel
6	Krankenhaus Zum Guten Hirten	Semmelweisstraße 5 - 7	sehr gering	mittel

Anhang A 61: Übersichtstabelle zur Risikoanalyse der bioklimatischen Belastung der Senioren- und Pflegeheime in Ludwigshafen.

Nr. Karte	Name	Adresse	Bioklimatische Belastung IST	Bioklimatische Belastung ZUKUNFT
1	Schiller-Wohnstift Oggersheim	Kapellengasse 25	mittel	sehr hoch
2	Betreutes Seniorenwohnen Ernst Lorenz	Keltenstraße 9b	mittel	sehr hoch
3	Mundus Senioren-Residenz	Pranckhstraße 47	mittel	hoch
4	Seniorenwohnanlage der Gemeinnützige Siedlungswerk Speyer GmbH	Bexbacher Straße 32	gering	hoch
5	Seniorenwohnhaus Otto Metz	Bleichstraße 45	gering	hoch
6	Seniorenwohnanlage Friedrichstraße	Friedrichstraße 83	gering	hoch
7	Evangelische Altenhilfe Ludwigshafen Gartenstadt	Herxheimer Straße 49	gering	hoch
8	Seniorenwohnhaus Ãnne Rumetsch	Neustadter Ring 2	gering	hoch
9	DSK-Seniorenzentrum Ludwigshafen	Rohrlachstraße 29	gering	hoch
10	Seniorenwohnanlage Weidenstraße	Weidenstraße 1	gering	hoch
11	Haus Pamina Weinbietstraße	Weinbietstraße 34-38	gering	hoch
12	Betreutes Seniorenwohnen Heny Roos	Benckiserstraße 66	gering	mittel
13	Betreutes Seniorenwohnen Hemshof	Fabrikstraße 21	gering	mittel
14	Betreutes Wohnen am Klinikum	Hohenzollernstraße 56/56a/56b	gering	mittel
15	Rheinpark-Residenz	Lagerhausstraße 19	gering	mittel
16	Haus Paulinenhof Ludwigshafen Oppau	Ludwig-Wolker-Straße 1	gering	mittel
17	Betreutes Seniorenwohnen August Wagner	Luitpoldstraße 99	gering	mittel
18	Domicil - Seniorenpflegeheim An der Parkinsel	Mundenheimer Str. 156	gering	mittel
19	Seniorenwohnanlage Pappelstraße	Pappelstraße 11	gering	mittel
20	Caritas-Altenzentrum St. Josefspflege	Pfarrer-Krebs-Straße 9	gering	mittel
21	Stadtresidenz Pamina Rheinufer	Rheinallee 22	gering	mittel
22	Seniorenresidenz Ludwigshafen-Süd	Richard-Dehmel-Straße 2	gering	mittel
23	Seniorenwohnanlage Tiroler Straße	Tiroler Straße 144/146	gering	mittel
24	Betreutes Seniorenwohnen Franz Siegel	Wegelnburgstraße 59	gering	mittel
25	ServiceWohnen am Weiher	Albert-Haueisen-Ring 22	sehr gering	mittel
26	DRK Pflegeheim In der Melm	Albert-Haueisen-Ring 28	sehr gering	mittel
27	Seniorenresidenz An den Seen	Albert-Hauseisen-Ring 16	sehr gering	mittel
28	Seniorendomizil Haus Christopherus	Gabriele-Münter-Straße 1	sehr gering	mittel
29	Betreutes Seniorenwohnen Heinrich Wälker	Hoher Weg 45-47	sehr gering	mittel
30	Seniorenwohnhaus Horst Schork	Horst-Schork-Straße 92	sehr gering	mittel
31	Alten- und Pflegeheim Haus Friesenheim	Luitpoldstraße 148	sehr gering	mittel
32	Caritas-Altenzentrum St. Josefspflege	Pfarrer-Krebs-Straße 18	sehr gering	mittel
33	Vitanas Senioren Centrum Am Rheinufer	Rheinallee 16	sehr gering	mittel
34	Alten- und Pflegeheim Dr.-Hans-Bardens-Haus	Kallstadter Straße 15	sehr gering	gering
35	Betreutes Seniorenwohnen Franz Wolf	Kallstadter Straße 9	sehr gering	gering

Anhang A 62: Bewertungskarte des Ist-Zustandes zu den Industrie- und Gewerbeflächen in Ludwigshafen(„Industriekarte“) für die 14 Uhr Tagsituation.



Anhang A 63: Bewertungskarte Zukunft zu den Industrie- und Gewerbeflächen in Ludwigshafen(„Industriekarte“) für die 14 Uhr Tagsituation.