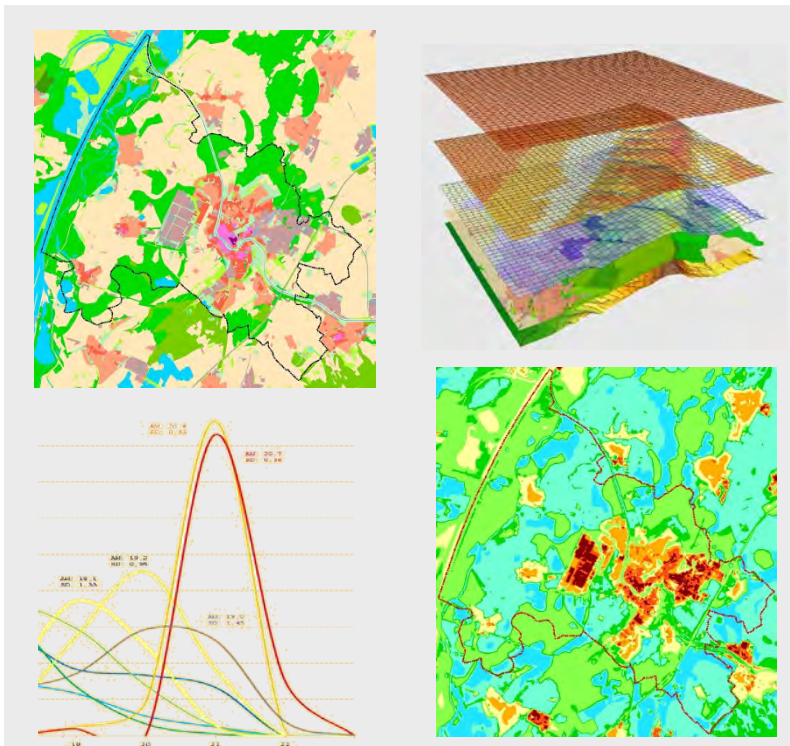


# Klimaanalyse

## Analyse der klimaökologischen Funktionen und Prozesse für das Stadtgebiet von Rastatt



Auftraggeber:



**Stadt Rastatt**

Fachbereich Stadt- und Grünplanung

Herrenstraße 15

76437 Rastatt



**GEO-NET Umweltconsulting GmbH**

Große Pfahlstraße 5a

3 0 1 6 1 Hannover

Tel. (0511) 3887200

FAX (0511) 3887201

[www.geo-net.de](http://www.geo-net.de)

**Auftrag:** Stadtklimaanalyse Rastatt

**Standort:** Stadt Rastatt  
Bundesland: Baden-Württemberg  
Deutschland

**Auftraggeber:** Stadt Rastatt  
Fachbereich Stadt- und Grünplanung  
Herrenstraße 15  
76347 Rastatt

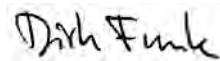
**Projektnummer:** 2\_15\_011

**Berichtsnummer:** 2\_15\_011\_Rastatt\_Klimanalyse\_Rev02\_2017-12-15

**Version:** 3

**Datum:** 15. Dezember 2017

**Erstellt von:**



-----  
Dipl.-Geogr. Dirk Funk

**Geprüft von:**



-----  
Dipl.-Geogr. Peter Trute

**Unter Mitarbeit von:**



-----  
Prof. Dr. Günter Groß



GEO-NET  
Umweltconsulting GmbH

Geschäftsführer:  
Dipl.-Geogr. Thorsten Frey  
Dipl.-Geogr. Peter Trute

Große Pfahlstraße 5a  
30161 Hannover  
Germany  
Tel. +49 (0) 511 388 72 00  
Fax +49 (0) 511 388 72 01

info@geo-net.de  
www.geo-net.de

Amtsgericht Hannover  
HRB 61218

Hannoversche Volksbank eG  
kto. 532 248 000  
blz 251 900 01

BIC VOHADE2H  
IBAN DE81 2519 0001  
0532 2480 00  
VAT DE 228892587





## Inhaltsverzeichnis

Seite:

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>II</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>III</b>
<b>1. Aufgabenstellung .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Datengrundlage und Aufbau der Geodatenbasis für die Modellrechnungen .....</b>	<b>3</b>
2.1 Geländehöhe .....	3
2.2 Nutzungsstruktur .....	4
<b>3. Methodik .....</b>	<b>7</b>
3.1 Beschreibung des verwendeten Klima- u. Strömungsmodells FITNAH.....	7
3.2 Standardisierung der Parameter .....	14
3.3 Abgrenzung der klimaökologischen wirksamen Nutzungsstrukturen.....	15
3.3.1 Grün- und Freiflächen .....	15
3.3.2 Bioklima in den Siedlungsflächen.....	17
<b>4. Ergebnisse der Klimamodellierung.....</b>	<b>21</b>
4.1 Bodennahes Lufttemperaturfeld.....	21
4.2 Physiologisch Äquivalente Temperatur.....	24
4.3 Autochthones Windfeld .....	25
4.4 Kaltluftvolumenstrom .....	27
<b>5 Klimaökologische Funktionen .....</b>	<b>30</b>
5.1 Grün- und Freiflächen .....	30
5.2 Siedlungsräume.....	31
5.3 Luftaustausch .....	34
<b>6 Planungshinweiskarte Stadtklima .....</b>	<b>35</b>
6.1 Grün- und Freiflächen .....	37
6.2 Siedlungsräume.....	39
6.3 Luftaustausch .....	40
6.4 Nutzungshinweise für die Bauleitplanung .....	41



<b>7</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>43</b>
<b>8</b>	<b>Teilflächen für klimaökologische Planaussagen (Steckbriefe) .....</b>	<b>44</b>
<b>9</b>	<b>Vertiefungsgebiete .....</b>	<b>74</b>
9.1	Vertiefungsgebiet „Bittler“ - Beurteilung der Planvarianten .....	74
9.2	Neubauvorhaben EDEKA Regionallager .....	76
<b>10</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>80</b>
<b>11</b>	<b>Glossar .....</b>	<b>81</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Geländehöhe im Untersuchungsraum .....	3
Abb. 2:	Nutzungsstruktur im Stadtgebiet Rastatt.....	4
Abb. 3:	Unterschiedliche Rasterweiten bei einem digitalem Geländehöhenmodell.....	8
Abb. 4:	Einfluss der Bebauungsdichte auf die Strömungsgeschwindigkeit .....	10
Abb. 5:	Einfluss der Vegetation auf die Durchströmbarkeit einer Rasterzelle .....	11
Abb. 6:	Eingangsdaten für die Modellrechnung .....	11
Abb. 7:	Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für verschiedene Landnutzungen.....	12
Abb. 8:	Monatliche Summen der Hitze- und Sommertage.....	13
Abb. 9:	Veranschaulichung der Standardisierung zur vergleichenden Bewertung von Parametern .....	14
Abb. 10:	Prinzipskizze Kaltluftleitbahn .....	17
Abb. 11:	Bodennahe Lufttemperatur zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2m ü. Grund).....	23
Abb. 12:	PET zum Zeitpunkt 14 Uhr mittags (2m ü. Grund) .....	24
Abb. 13:	Prinzipskizze Flurwind .....	25
Abb. 15:	Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom .....	28
Abb. 17:	Klimafunktionen im Bereich der Kernstadt .....	33
Abb. 18:	Planungshinweise im Bereich Rastatt-Süd .....	36
Abb. 19:	Vereinfachtes Verknüpfungsmodell zur Ermittlung der bioklimatischen Bedeutung der Grünflächen .....	38
Abb. 20:	Flächenbilanz der bioklimatischen Situation .....	43
Abb. 21:	Klimaanalysekarte im Umfeld des Plangebietes „Bittler“ .....	74





Abb. 22: Planvariante 3.....	75
Abb. 23: Standort Edeka-Regionallager .....	76
Abb. 24: Lufttemperatur in 2 m Höhe (°C) zum Zeitpunkt 04 Uhr morgens.....	77
Abb. 25: Bodennahes Kaltluftströmungsfeld zum Zeitpunkt 04 Uhr morgens.....	78
Abb. 26: Planungshinweiskarte im Umfeld der Planfläche.....	79

## **Tabellenverzeichnis**

Tab. 1: Nutzungskategorien der Klimamodellierung.....	5
Tab. 2: Jährliche Summen der Hitze- und Sommertage .....	13
Tab. 3: Bewertung der Kaltluftlieferung innerhalb von Grünflächen.....	16
Tab. 4: Bewertung des nächtlichen Wärmeinseleffekts in Siedlungsflächen.....	18
Tab. 5: Klassenstufen und Methode zur Bewertung der thermischen Situation im Siedlungsraum .....	19
Tab. 6: Verrechnungsvorschrift zur Verknüpfung der Bewertung von Tag- und Nachtsituation.....	20
Tab. 7: Qualitative Einordnung des Kaltluftvolumenstroms .....	28
Tab. 8: Qualitative Einordnung der Kaltluftlieferung von Grünflächen im Stadtgebiet Rastatt .....	31
Tab. 9: Bilanzierung der planerisch relevanten Grünflächen .....	39



## 1. Aufgabenstellung

Das Schutzgut Klima ist ein wichtiger Aspekt der räumlichen Planung und Bestandteil der Abwägung bei der Bauleitplanung und Umweltverträglichkeitsprüfung. Vor dem Hintergrund konkurrierender Planungsziele ist das Vorliegen flächenbezogener Fachinformationen ein wichtiges Hilfsmittel zur sachgerechten Beurteilung dieses Schutzgutes. Aus der Kenntnis des in einer Stadt vorherrschenden Lokalklimas, die dadurch mitbestimmte lufthygienische Situation und den klimatischen Funktionszusammenhängen lassen sich Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen zur Verbesserung von Klima und Luft ableiten. Dieser Leitgedanke gilt der Sicherung, Entwicklung und Wiederherstellung klima- und immissionsökologisch wichtiger Oberflächenstrukturen und zielt somit ab auf die Erhaltung und Verbesserung günstiger bioklimatischer Verhältnisse, die Unterstützung gesundheitlich unbedenklicher Luftqualität und das Angebot besonderer Lokalklimate.

Im Auftrag der Stadt Rastatt wurde vom Büro GEO-NET Umweltconsulting GmbH in Kooperation mit Prof. Dr. G. Gross (Universität Hannover) im Jahr 2016 eine modellgestützte Analyse zu den klimaökologischen Funktionen für das Stadtgebiet Rastatt durchgeführt. Im Vordergrund standen dabei austauscharme sommerliche Hochdruckwetterlagen, die häufig mit einer überdurchschnittlich hohen Wärmebelastung in den Siedlungsräumen sowie lufthygienischen Belastungen einhergehen. Unter diesen meteorologischen Rahmenbedingungen können nächtliche Kalt- und Frischluftströmungen aus dem Umland und innerstädtischen Grünflächen zum Abbau der Belastungen beitragen.

Die mit der Anwendung des Klimamodells FITNAH (Flow over Irregular Terrain with Natural and Anthropogenic Heat Sources) gewonnenen Ergebnisse der Klimaanalyse haben zu einer umfassenden Bestandsaufnahme der klimatisch-lufthygienischen Situation im Stadtgebiet von Rastatt geführt. Die durchgeführten Untersuchungen haben darüber hinaus zum Ziel, die unterschiedlichen Teilflächen der Stadt Rastatt nach ihren klimatischen Funktionen, d.h. ihrer Wirkungen auf andere Räume, abzugrenzen und die klimaökologisch wichtigen Raumstrukturen herauszuarbeiten.

### Analyse der stadtklimatischen Zusammenhänge

Das Ergebnis ist eine aktuelle, komplexe und hochauflösende Karte der klimaökologischen Funktionen (Klimaanalysekarte). Als Grundlage für die Bewertung dienen die modellierten meteorologischen Parameter der Klimaanalyse.

Methodischer Ausgangspunkt für die Analyse der klimaökologischen Funktionen ist die Gliederung des Stadtgebietes in:

- bioklimatisch belastete Siedlungsräume (*Wirkungsräume*) einerseits und
- Kaltluft produzierende, unbebaute und vegetationsgeprägte Flächen andererseits (*Ausgleichsräume*).
- Sofern diese Räume nicht unmittelbar aneinander grenzen und die Luftaustauschprozesse stark genug ausgeprägt sind, können linear ausgerichtete, gering überbaute Freiflächen (*Kaltluftleitbahnen*) beide miteinander verbinden.



Aus der Abgrenzung von Gunst- und Ungunsträumen sowie der verbindenden Strukturen ergibt sich somit ein komplexes Bild vom Prozesssystem der Luftaustauschströmungen des Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüges in Form einer *Klimaanalysekarte*.

Im Gegensatz zu punkthaften Messungen liegen mit dem modellgestützten Ansatz flächendeckende Daten zum Kaltlufthaushalt für das gesamte Stadtgebiet vor. Darüber hinaus wurden nun in einem weiteren Schritt die Empfindlichkeiten dieser Funktionen gegenüber strukturellen Veränderungen bewertet und in Form einer *Planungshinweiskarte* dargestellt. Die Umsetzung in raumspezifische klimaökologische Qualitätsziele mündet in der Forderung nach Handlungsempfehlungen. Durch konkrete Zuordnung planungsrelevanter Aussagen zu den wichtigen, das klimaökologische Prozessgeschehen steuernden Strukturelementen wie z.B. Kaltluftentstehungsflächen können Flächen benannt werden, die in ihrem Bestand gesichert und vor negativen Einflüssen geschützt werden sollen. Andererseits werden Belastungsräume mit einem Mangel an Durchlüftung identifiziert.

Dieses Vorgehen unterscheidet sich damit von der früher verbreiteten - und sich im Wesentlichen auf die VDI Richtlinie 3787 Blatt 1 stützenden - statischen Betrachtung auf der Basis von Klimatopen, in welchen ein, den unterschiedlichen Nutzungen entsprechendes, einheitliches Mikroklima unabhängig von der Lage des Klimatops angenommen wird (VDI 1997). Während eine Thermalscannerbefliegung lediglich die Oberflächentemperatur darstellt, nicht aber die eigentliche Lufttemperatur oder Kaltluftströmungen erfasst, bietet die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung eingesetzte Methode den Vorteil, dass das Luftaustauschgeschehen und die Verhältnisse der bodennahen Atmosphäre umfassend abgebildet werden. Des Weiteren ermöglicht nur die numerische Simulation eine Prognose zukünftiger Entwicklungen. Das methodische Vorgehen (Modell, Verfahren, Bewertungsansätze) erlaubt fundierte Aussagen für den Maßstabbereich 1 : 50 000 bis 1 : 15 000 (F-Plan-Ebene). Eine abschätzende Beurteilung der Auswirkungen von Planungsmaßnahmen ist aber auch auf Bebauungsplanebene gegeben.



## 2. Datengrundlage und Aufbau der Geodatenbasis für die Modellrechnungen

Bei einer Gesamtgröße des Untersuchungsraums von ca. 304 km<sup>2</sup> geht die Abgrenzung des Untersuchungsraumes deutlich über das Stadtgebiet Rastatt hinaus und zielt darauf ab, auch außerhalb des Stadtgebiets vorhandene Strukturen wie Wald- und Ackerflächen sowie die Abdachung des Nordschwarzwaldes in die Klimamodellierung zu integrieren. Somit ist gewährleistet, dass alle für den Kaltlufthaushalt relevanten Struktureinheiten berücksichtigt werden. Die für die FITNAH-Modellierung vorgesehene Rasterzellenauflösung beträgt 25 m.

### 2.1 Geländehöhe

Zur Bereitstellung der orographischen Eingangsparameter für die Klimaanalyse konnte auf ein digitales Geländehöhenmodell der Stadt Rastatt mit einer Auflösung von 1 m zurückgegriffen werden. Für das nähere Umland wurde das Geländemodell durch DTED-Höhendaten ergänzt (Digital Terrain Elevation Data - NGA 2004). Darauf basierend wurde das für die Modellrechnung erforderliche Raster mit einer Auflösung von 25 m erzeugt (Abb. 1).

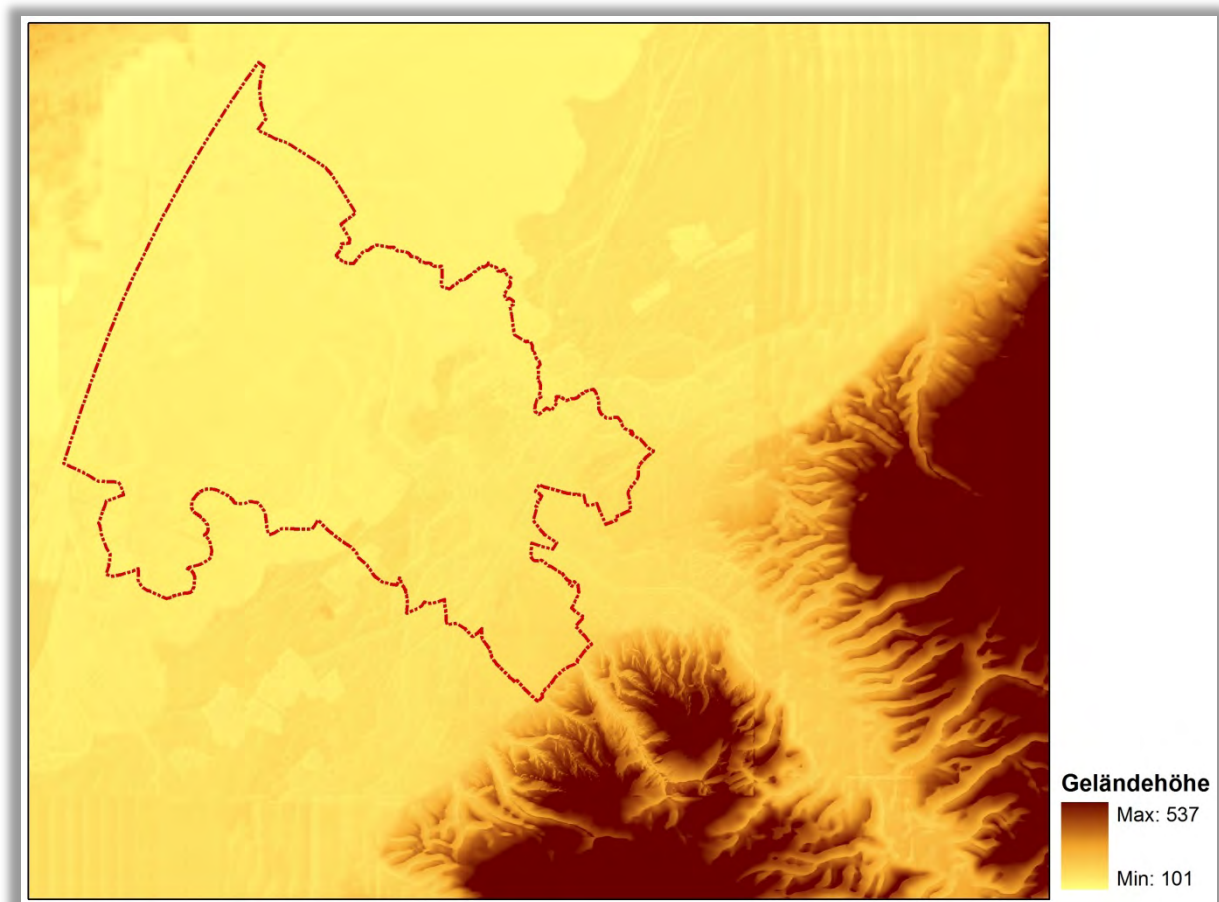


Abb. 1: Geländehöhe im Untersuchungsraum

Die höchste Erhebung ist mit mehr als 530 m ü. NHN der Eichelberg nördlich von Gaggenau. Innerhalb des Stadtgebietes Rastatt sind die Geländehöhen mit 109 m bis ca. 134 u. NHN eher moderat. Somit ergibt sich



eine maximale Höhendifferenz von etwa 25 m innerhalb des Stadtgebietes, wobei das Gelände insgesamt nach Nordwesten hin Richtung Rheintal abfällt.

## 2.2 Nutzungsstruktur

Für die Aufbereitung der Nutzungsstrukturen wurden Daten aus dem ALKIS herangezogen (STADT RASTATT 2015). Für die Areale außerhalb des Stadtgebietes sind ALK-Daten des Nachbarschaftsverbands Karlsruhe zum Aufbau der Geodatenbasis herangezogen worden (BBSR 2012). Die Nutzungsstruktur im Stadtgebiet zeigt Abbildung 2:

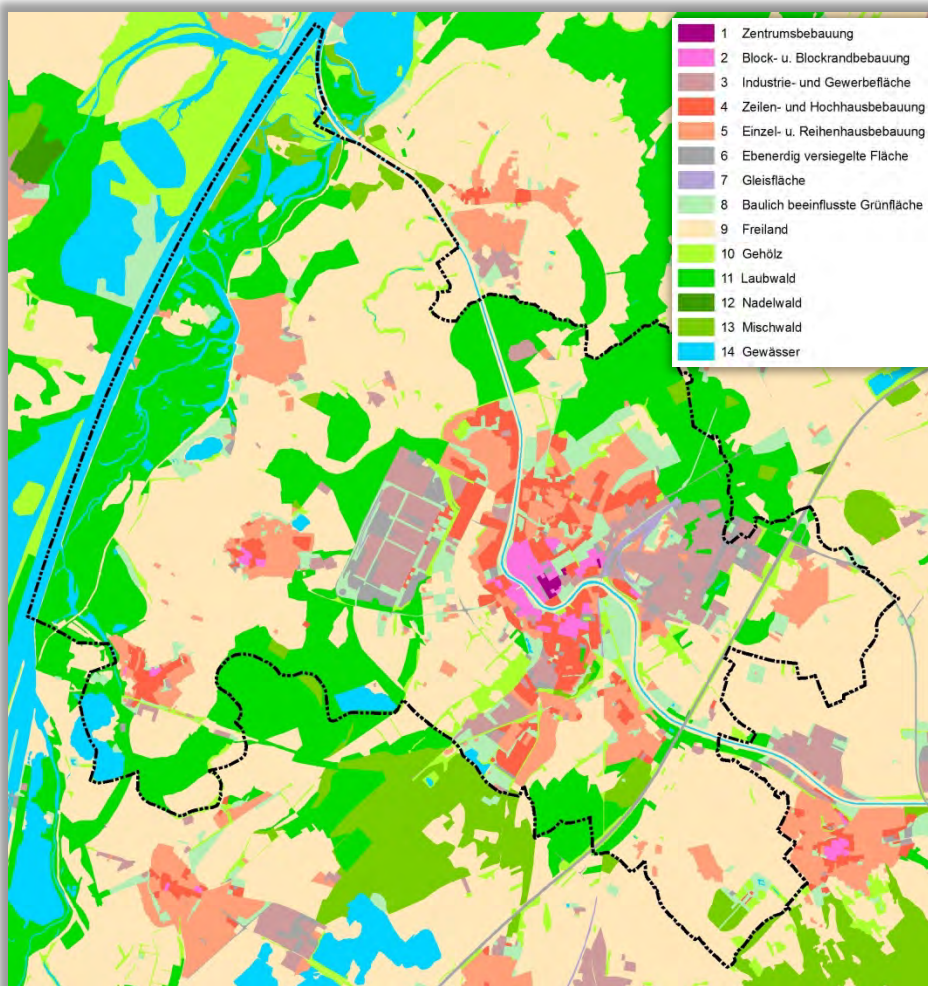


Abb. 2: Nutzungsstruktur im Stadtgebiet Rastatt

Ein wichtiger Modelleingangsparameter stellt darüber hinaus die Höhe der Baustrukturen dar, welche einen wesentlichen Einfluss auf das lokale Windfeld ausüben. Da auf Maßstabsebene der gesamtstädtischen Klimamodellierung keine Einzelgebäude aufgelöst wurden, sind für die Einordnung der Strukturhöhe und des Oberflächenversiegelungsgrades nutzungsklassifiziert vorliegende Literaturdaten (u.a. MOSIMANN et al. 1999) genutzt worden, die auf empirisch gewonnenen Untersuchungsergebnissen aus mehreren deutschen Städten beruhen. Um den speziellen Anforderungen der Modellanalyse gerecht werden zu können, wurde bei der Aufbereitung der Nutzungsstrukturen ein vereinfachter, 12-klassiger Nutzungsschlüssel verwendet.





Der Schlüssel wurde vor allem auch dahingehend definiert, eine problemlose Zuweisung des mittleren Versiegelungsgrades auf Basis der in den Eingangs- und Literaturdaten vorkommenden Nutzungsklassifizierungen möglich zu machen. In einem weiteren Schritt sind unter Verwendung von Luftbildern die Datenpunkte der Modellrechnung überprüft und gegebenenfalls ergänzt worden. Damit war es beispielsweise möglich, über die im ALKIS enthaltenen Informationen hinaus zusätzliche Grünanteile innerhalb von Siedlungsbereichen zu erfassen und deren klimatische Wirkung zu berücksichtigen. Die verwendeten Nutzungskategorien zeigt Tab. 1.

Klasse	Flächentyp	Beschreibung	Mittlerer Versiegelungsgrad (%)	Mittlere Strukturhöhe (m)
1	Zentrumsbebauung	Kerngebietsnutzung, welche durch einen sehr hohen Bebauungs- und Versiegelungsgrad gekennzeichnet ist.	95	25,0
2	Block- und Blockrandbebauung	Vergleichsweise dicht bebaute und häufig auch stark versiegelte Siedlungsfläche. Baustrukturell ist sie meist durch geschlossene Blockinnenhöfe geprägt. Sie umfasst sowohl Vorkriegs- als auch Nachkriegsbauten.	78	15,0
3	Industrie- und Gewerbefläche	Sie weist einen ähnlich hohen Versiegelungsgrad wie die Zentrumsbebauung auf, gleichzeitig ist der versiegelte Flächenanteil oft größer als der mit Gebäuden bestandene.	87	10,0
4	Zeilen- und Hochhausbebauung	Zu diesem Flächentyp zählen sowohl freistehende Punkthochhäuser als auch halboffene Blockrandbebauung und Zeilenbebauung. Gemeinsames Merkmal ist ein relativ hoher Grünflächenanteil, welcher sich durch die zwischen den Gebäudekörpern befindlichen Abstandsflächen ergibt.	55	15,0
5	Einzel- und Reihenhausbebauung	Dieser Typ weist unter den Siedlungsräumen den geringsten Überbauungsgrad auf. Der Übergang zwischen dicht ausgeprägter Reihenhausbebauung und einer Zeilenbebauung ist fließend.	41	5,0
6	Straßenraum	Ebenerdig versiegelte Fläche des Straßenraums.	95	0,0
7	Gleisfläche	Schienenverkehrsfläche mit geringer Strukturhöhe.	25	0,5
8	Baulich geprägte Grünfläche	Unter diesem Flächentyp sind vegetationsgeprägte Flächen zusammengefasst, welche zugleich auch einen gewissen Anteil an versiegelter Fläche (Zuwegungen) und/oder Bebauung aufweisen. Dazu zählen z.B. Kleingartenanlagen und Gartenbauflächen, sowie Spiel- und Sportplätze. Es überwiegt aber letztlich die Eigenschaft als Grünfläche.	25	5,0
9	Freiland	Beinhaltet vor allem landwirtschaftlich genutzte Wiesen und Weiden sowie ackerbaulich genutzte Flächen. Innerstädtisch handelt es sich meist um Rasenflächen mit geringem Gehölzanteil.	5	1,0
10	Gehölz	Diese Nutzungskategorie umfasst sowohl innerstädtische Parkareale und Gehölzflächen als auch Obstbauflächen, Baumschulen und Straßenbegleitgrün.	5	2,0
11	Wald	Waldflächen sowie waldartige Bestände im Siedlungsbereich.	5	12,5
12	Wasserfläche	Still- und Fließgewässer.	0	0

Tab. 1: Nutzungskategorien der Klimamodellierung



Für die Klimamodellierung ist weniger die Nutzungsart relevant als vielmehr die Nutzungsstruktur und damit der Flächentyp. Maßgeblichen Einfluss auf die meteorologischen Parameter üben die Flächeneigenschaften wie z.B. Versiegelungsgrad, Bebauungsdichte und Strukturhöhe aus.

Daher gilt es eine Einstufung zu finden, welche am ehesten die strukturelle Eigenschaft einer Fläche widerspiegelt. Aus der Verknüpfung der unterschiedlichen Quellen ist somit eine aktuelle Informationsebene zur Realnutzung, Strukturhöhe und Oberflächenversiegelung aufgebaut worden. Für die Modellrechnung zum Kaltlufthaushalt, auf dessen Grundlage die Klimafunktions- und Planungshinweiskarte beruht, ist eine einheitliche Rasterauflösung von 25 m x 25 m verwendet worden.



### **3. Methodik**

#### **3.1 Beschreibung des verwendeten Klima- u. Strömungsmodells FITNAH**

##### **Allgemeines**

Neben globalen Klimamodellen und regionalen Wettervorhersagemodellen wie sie zum Beispiel vom Deutschen Wetterdienst für die tägliche Wettervorhersage routinemäßig eingesetzt werden, nehmen kleinräumige Modellanwendungen für umweltmeteorologische Zusammenhänge im Rahmen von stadt- und landschaftsplanerischen Fragestellungen einen immer breiteren Raum ein. Die hierfür eingesetzten meso- (und) mikroskaligen Modelle erweitern das Inventar meteorologischer Werkzeuge zur Berechnung atmosphärischer Zustände und Prozesse.

Der Großteil praxisnaher umweltmeteorologischer Fragestellungen behandelt einen Raum von der Größenordnung einer Stadt oder einer Region. Die bestimmenden Skalen für die hier relevanten meteorologischen Phänomene haben eine räumliche Erstreckung von einigen Metern bis hin zu Kilometern und eine Zeitdauer von Minuten bis hin zu Stunden. Unter Verwendung des üblichen Einteilungsschemas meteorologischer Phänomene müssen diese in die Mikro- und Mesoskala eingeordnet werden. Beispiele für solche mesoskaligen Phänomene sind der Einfluss orographischer Hindernisse auf den Wind wie Kanalisierung und Umströmungseffekte, Land-See-Winde, Flurwinde oder auch Düseneffekte in Straßen, sowie das Phänomen der urbanen Wärmeinsel.

Obwohl die allgemeine Struktur und die physikalischen Ursachen dieser lokalklimatischen Phänomene im Allgemeinen bekannt sind, gibt es nach wie vor noch offene Fragen hinsichtlich der räumlichen Übertragung auf andere Standorte oder der Sensitivität bezüglich der Wechselwirkungen einzelner Strömungssysteme untereinander. Ein Grund hierfür sind die relativ kleinen und kurzen Skalen der mesoskaligen Phänomene und deren unterschiedlichem Erscheinungsbild in komplexem Gelände, was es schwierig macht, auf Grundlage einer beschränkten Anzahl von Beobachtungen eine umfassende Charakterisierung zu erhalten. Mit Hilfe ergänzender Modelluntersuchungen kann dieser Nachteil überwunden werden.

Beginnend mit einem Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG 1988) wurden gerade in Deutschland eine Reihe mesoskaliger Modelle konzipiert und realisiert. Der heutige Entwicklungsstand dieser Modelle ist sehr hoch. Zusammen mit den über die letzten Dekaden gewonnenen Erfahrungen im Umgang mit diesen Modellen steht neben Messungen vor Ort und Windkanalstudien ein weiteres leistungsfähiges und universell einsetzbares Werkzeug zur Bearbeitung umweltmeteorologischer Fragestellungen in kleinen, stadt- und landschaftsplanerisch relevanten Landschaftsausschnitten zur Verfügung.





Die Verteilung der lokalklimatisch relevanten Größen wie Wind und Temperatur können mit Hilfe von Messungen ermittelt werden. Aufgrund der großen räumlichen und zeitlichen Variation der meteorologischen Felder im Bereich einer komplexen Umgebung sind Messungen allerdings immer nur punktuell repräsentativ und eine Übertragung in benachbarte Räume selten möglich. Mesoskalige Modelle wie FITNAH können zu entscheidenden Verbesserungen dieser Nachteile herangezogen werden, indem sie physikalisch fundiert die räumlichen und/oder zeitlichen Lücken zwischen den Messungen schließen, weitere meteorologische Größen berechnen, die nicht gemessen wurden und Wind- und Temperaturfelder in ihrer raumfüllenden Struktur ermitteln.

Die Modellrechnungen bieten darüber hinaus den Vorteil, dass Planungsvarianten und Ausgleichsmaßnahmen in ihrer Wirkung und Effizienz studiert und auf diese Art und Weise stadtklimatisch optimierte Lösungen gefunden werden können.

### Grundgleichungen

Für jede meteorologische Variable wird eine physikalisch fundierte mathematische Berechnungsvorschrift aufgestellt. Alle mesoskaligen Modelle basieren daher, wie Wettervorhersage- und Klimamodelle auch, auf einem Satz sehr ähnlicher Bilanz- und Erhaltungsgleichungen. Das Grundgerüst besteht aus den Gleichungen für die Impulserhaltung (Navier-Stokes Bewegungsgleichung), der Massenerhaltung (Kontinuitätsgleichung) und der Energieerhaltung (1. Hauptsatz der Thermodynamik).

Je nach Problemstellung und gewünschter Anwendung kann dieses Grundgerüst noch erweitert werden um z.B. die Effekte von Niederschlag auf die Verteilung der stadtklimatologisch wichtigen Größen zu berücksichtigen. In diesem Falle müssen weitere Bilanzgleichungen für Wolkenwasser, Regenwasser und feste Niederschlagspartikel gelöst werden. Die Lösung des Gleichungssystems erfolgt in einem numerischen Raster. Die Rasterweite muss dabei so fein gewählt werden, dass die lokalklimatischen Besonderheiten des Untersuchungsraumes vom mesoskaligen Modell erfasst werden können. Je feiner das Raster gewählt wird, umso mehr Details und Strukturen werden aufgelöst (vgl. Abb. 3).

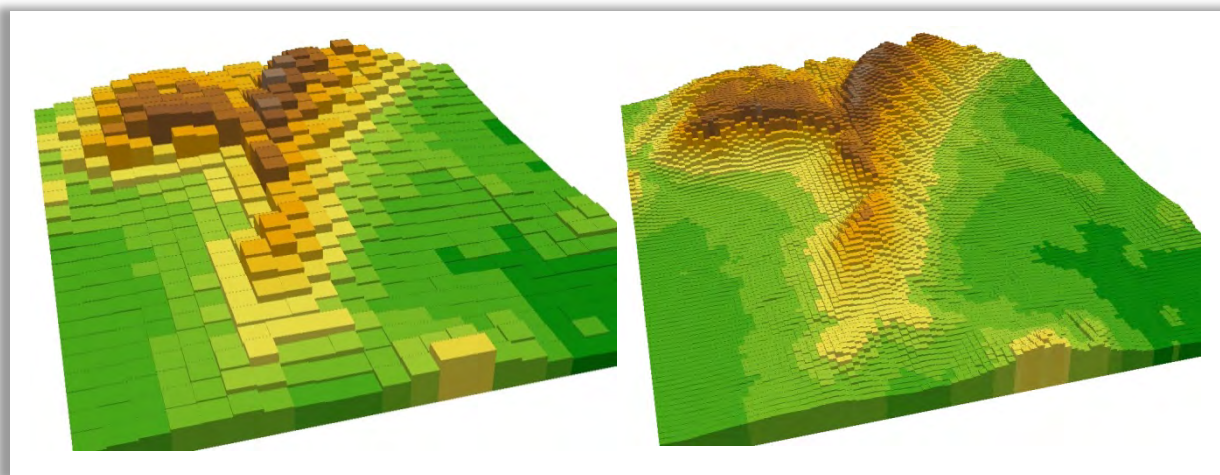


Abb. 3: Unterschiedliche Rasterweiten (links: 500 m x 500 m; rechts: 100 m x 100 m) bei einem digitalen Geländehöhenmodell



Allerdings steigen mit feiner werdender Rasterweite die Anforderungen an Rechenzeit und an die benötigten Eingangsdaten. Hier muss ein Kompromiss zwischen Notwendigkeit und Machbarkeit gefunden werden. In der vorliegenden Untersuchung beträgt die für die Modellierung mit FITNAH verwendete räumliche Maschenweite 25 m x 25 m. Bei allen Modellrechnungen ist die vertikale Gitterweite nicht äquidistant und in der bodennahen Atmosphäre sind die Rechenflächen besonders dicht angeordnet, um die starke Variation der meteorologischen Größen realistisch zu erfassen. So liegen die untersten Rechenflächen in Höhen von 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 und 70 m. Nach oben hin wird der Abstand immer größer und die Modellobergrenze liegt in einer Höhe von 3000 m über Grund. In dieser Höhe wird angenommen, dass die am Erdboden durch Orographie und Landnutzung verursachten Störungen abgeklungen sind. Die Auswertungen der FITNAH-Modellierung beziehen sich auf das bodennahe Niveau der Modellrechnung (2 m über Grund = Aufenthaltsbereich der Menschen).

### **Parametrisierungen**

Das mesoskalige Modell FITNAH berechnet alle meteorologischen Variablen als repräsentative Werte für das entsprechende Raster. Mit der Rasterweite wird somit auch die Dimension der räumlich noch auflösbaren Strukturen festgelegt. Typische Rasterweiten sind 25m x 25m bis 1000m x 1000m. Sie decken damit in etwa den Maßstabsbereich von 1:20 000 bis 1:100 000 ab und gehen mit der Planungsebene Flächennutzungsplan bzw. Regionalplan einher. Sind diese Strukturen von ihrer räumlichen Ausprägung her kleiner als die Rasterweite, ist das Modell nicht in der Lage diese zu berechnen (beispielsweise können einzelne Wolken in globalen Klimamodellen nicht berechnet werden). Ist nun aber bekannt, dass solche vom Modell nicht erfassbaren Strukturen relevante Auswirkungen auf die lokalklimatischen Größen haben die berechnet werden sollen, so müssen diese in geeigneter Weise berücksichtigt werden. Eine Möglichkeit ist dabei die Darstellung der summarischen Effekte der nicht aufgelösten Strukturen durch die vom Modell berechneten Variablen (Parametrisierung).

Die beiden wichtigsten Strukturen, die bei stadtklimatischen Fragestellungen berücksichtigt werden müssen, sind einzelne Gebäude und der Baumbestand. Diese sind von ihrer räumlichen Dimension allerdings so klein, dass sie üblicherweise durch das gewählte Rechengitter nicht erfasst werden können und somit parametrisiert werden müssen. In bebautem Gelände stellen sich die einzelnen Gebäude der Strömung in den Weg und verzögern diese. Lokal kann es zwar durch Düseneffekte auch zu einer Beschleunigung des Windes kommen, die summarische Wirkung über eine Rasterzelle mit Gebäuden ist aber eine Verzögerung. Gleichzeitig wird durch die Vielzahl der unterschiedlichen Hindernisse die Turbulenz verstärkt. Auch die Temperaturverteilung wird in starkem Maße modifiziert, da die in die bodennahe Atmosphäre ragenden Baukörper bis zur mittleren Bauhöhe in einem Wärmeaustausch mit der Umgebung stehen. Diese Effekte können über einen Porositätsansatz berücksichtigt werden. Einzelne Gebäude füllen nur einen Anteil des Volumens aus, welches durch das horizontale Raster und die Anordnung der Rechenflächen in der Vertikalen aufgespannt wird. Dieses Verhältnis bestimmt dann die Porosität (Abb. 4). Das Rastervolumen kann folglich nur noch zu einem geringen Anteil durchströmt werden, wobei die Porosität als gleichmäßig verteilt angenommen wird.

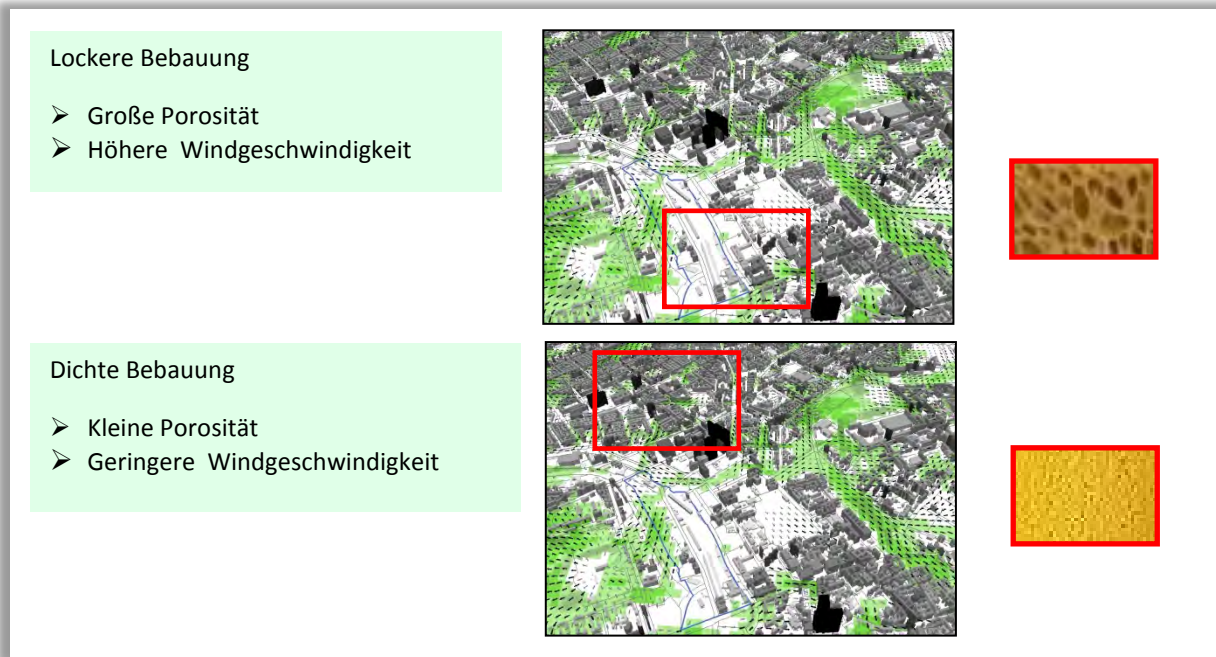


Abb. 4: Einfluss der Bebauungsdichte auf die Strömungsgeschwindigkeit

Eine Strömung ist nur noch in den offenen Poren möglich, was für die mittlere Geschwindigkeit eine deutliche Verzögerung bedeutet. Die Temperatur wird durch die gebäudespezifischen Parameter wie Gebäudehöhe, Überbauungsgrad oder anthropogen Abwärme bestimmt und damit das Temperaturfeld der bodennahen Atmosphäre bis in die mittlere Höhe der Bebauung modifiziert (Grundlagen und Beschreibung: Groß, 1989).

Ein vorhandener Baumbestand kann über die Baumhöhe, die Bestandsdichte und die Baumart charakterisiert werden. Auch diese Bestandsstrukturen sind in der Regel so klein, dass sie nicht vom Raster des Modells aufgelöst werden können und damit parametrisiert werden müssen. Eine solche Parametrisierung muss in der Lage sein, die Windberuhigung im Bestand, die Erhöhung der Turbulenz im oberen Kronenraum und die nächtliche Abkühlung bzw. die mittägliche Erwärmung im oberen Kronendrittel in Übereinstimmung mit Beobachtungen zu erfassen (Abb. 5). Bei FITNAH werden zusätzliche Terme in das Gleichungssystem eingeführt, die zum einen über einen Widerstandsterm die Modifizierung des Windfeldes gewährleistet und zum anderen den Strahlungshaushalt im Bereich eines Baumbestandes modifiziert (Grundlagen und Beschreibung: Groß, 1993).

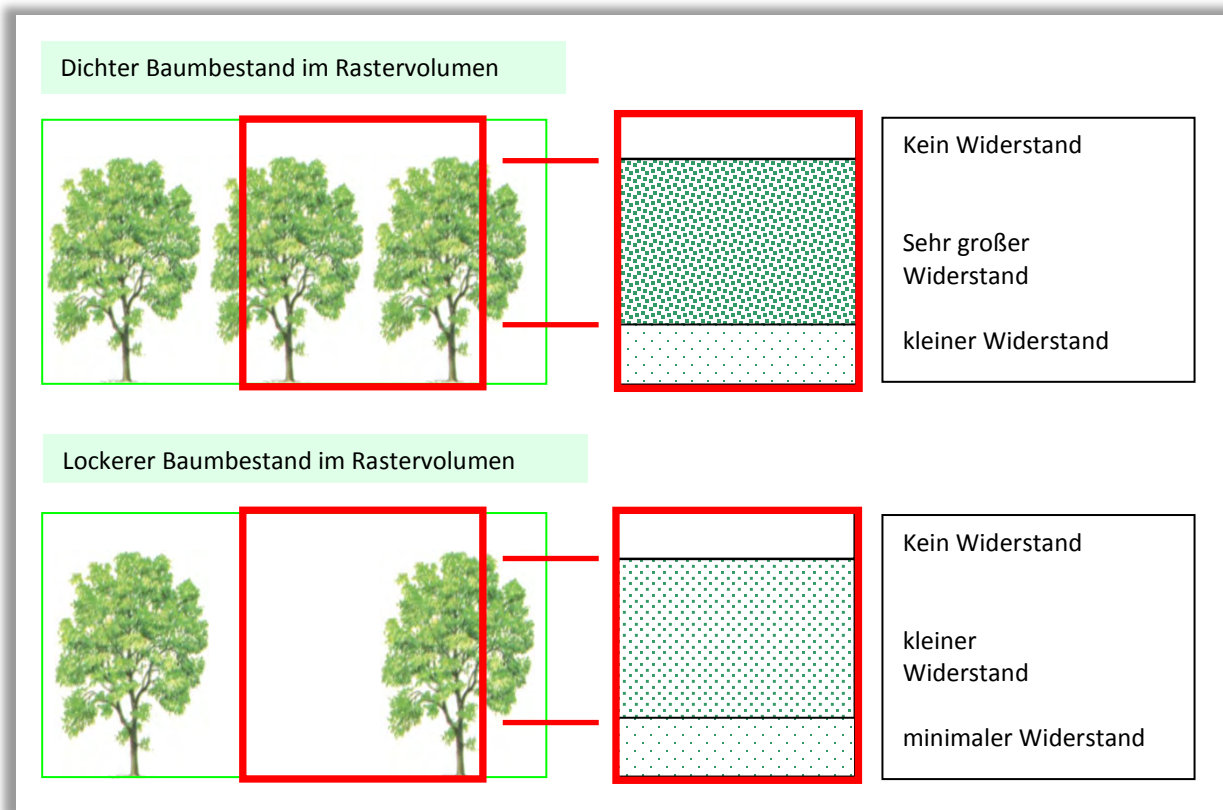


Abb. 5: Einfluss der Vegetation auf die Durchströmbarkeit einer Rasterzelle

Die beschriebenen Parametrisierungen sind geeignet, die aus Beobachtungen her bekannten, charakteristische Veränderung der verschiedenen meteorologischen Variablen im Bereich von Städten und Wäldern mit FITNAH zu berechnen.

### Eingangsdaten

Bei numerischen Modellen wie FITNAH muss zur Festlegung und Bearbeitung einer Aufgabenstellung eine Reihe von Eingangsdaten zur Verfügung stehen (Abb. 6). Diese müssen zum einen die Landschaft charakterisieren, für welche die lokalklimatische Studie durchgeführt werden soll, und zum anderen auch die großskaligen meteorologischen Rahmenbedingungen wie Wetterlage oder Klimaszenario definieren.

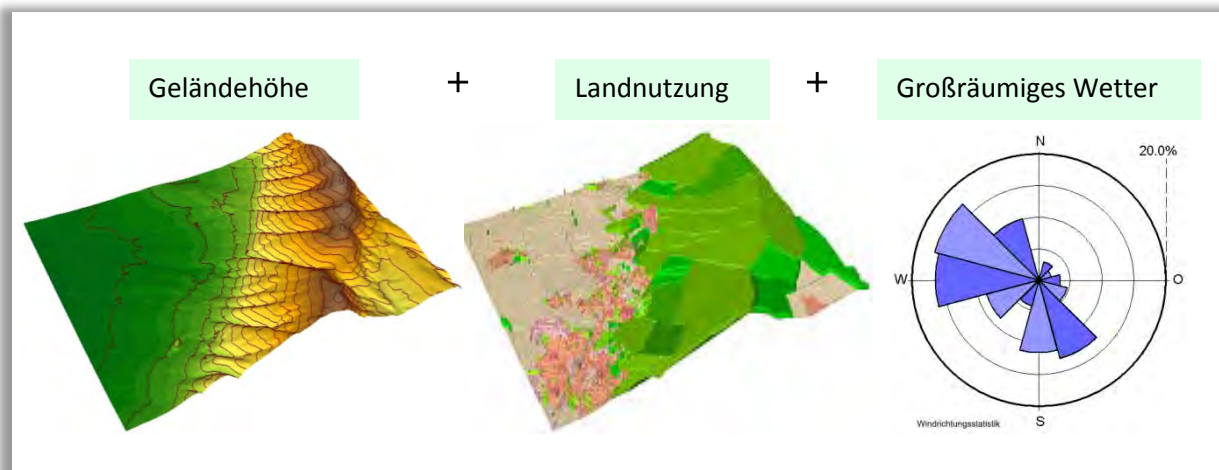


Abb. 6: Eingangsdaten für die Modellrechnung



Alle Eingangsdaten sind jeweils als repräsentativer Wert für eine Rasterzelle bereit zu stellen:

- Geländedaten (z.B. Geländehöhe, Neigung, Orientierung)
- Nutzungsdaten (Verteilung der Landnutzung)
- Bei urbanen Räumen: z.B. Gebäudehöhe, Überbauungsgrad, anthropogene Abwärme, Albedo

### Synoptische Rahmenbedingungen

Während sogenannter autochthoner („eigenbürtiger“) Wetterlagen können sich die lokalklimatischen Besonderheiten in einer Stadt besonders gut ausprägen, da es nur eine geringe „übergeordnete“ Windströmung gibt. Eine solche Wetterlage wird durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwachen überlagernden synoptischen Wind gekennzeichnet. Diese Wetterlagen treten in Großraum Rastatt an ca. 20% bis 30% der Jahresstunden auf. Bei den hier durchgeführten numerischen Simulationen wurden die großräumigen Rahmenbedingungen entsprechend festgelegt:

- Bedeckungsgrad 0/8,
- kein überlagernder geostrophischer Wind,
- relative Feuchte der Luftmasse 50%.

Die vergleichsweise geringen Windgeschwindigkeiten bei einer austauscharmen Wetterlage bedingen einen herabgesetzten Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht und tragen zur Anreicherung von Luftschadstoffen bei. Bei gleichzeitiger Wärmebelastung in den Siedlungsflächen können sich lokal bioklimatische und lufthygienische Belastungsräume ausbilden. Charakteristisch für diese (Hochdruck-) Wetterlage ist die Entstehung eigenbürtiger Kaltluftströmungen (Flurwinde), die durch den Temperaturgradienten zwischen kühlen Freiflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetrieben werden und zu einem Abbau der Belastungen beitragen. Diese Wettersituation stellt damit ein „Worst-Case“-Szenario dar. In Abb. 7 sind schematisch die für eine austauscharme sommerliche Wetterlage simulierten tageszeitlichen Veränderungen der Temperatur und Vertikalprofile der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für die Landnutzungen Freiland, Stadt und Wald dargestellt.

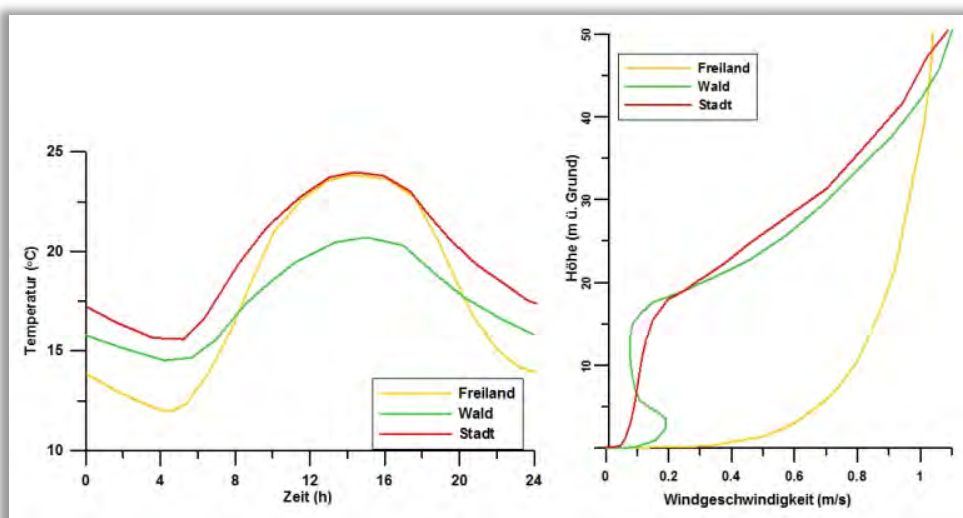


Abb. 7: Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für verschiedene Landnutzungen





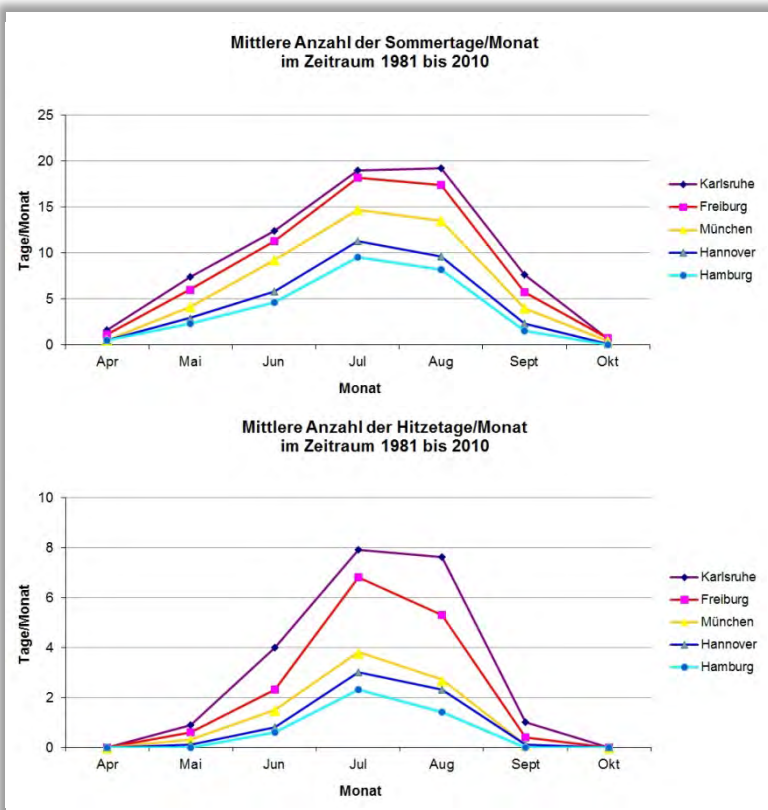
Hinsichtlich des Temperaturverlaufs zeigt sich, dass sowohl Freiflächen wie z.B. Wiesen als auch Bebauung ähnlich hohe Temperaturen zur Mittagszeit aufweisen können, die nächtliche Abkühlung der Siedlungsflächen vor allem durch die Wärme speichernden Materialien hingegen deutlich geringer ist. Bei den durch Wiese geprägten Grünflächen trägt der Mangel an Verschattung zum hohen Temperaturniveau bei, während hier nachts die Abkühlung am stärksten ist. Waldflächen nehmen eine vermittelnde Stellung ein, da die nächtliche Auskühlung durch das Kronendach gedämpft wird. Hinsichtlich der Windgeschwindigkeit wird der Einfluss von Bebauung und Vegetationsstrukturen im Vertikalprofil deutlich.

### Sommer- und Hitzetage als Indikatoren für die sommerliche Wärmebelastung

Eine Wärmebelastung für Menschen ist mit dem Auftreten entsprechender Wetterlagen verbunden. Einen Hinweis auf deren Häufigkeit gibt, neben anderen meteorologischen Parametern, die Anzahl von Hitze- und Sommertagen. Als „Sommertag“ wird ein Tag bezeichnet, bei dem das Tagesmaximum mehr als 25°C beträgt. Bei einem „Hitzetag“ liegt das Maximum dagegen bei mehr als 30°C. Tabelle 2 zeigt die Jahressummen für den Bezugszeitraum 1981 bis 2010 für ausgewählte Stationen.

Station	Tage/Jahr im Zeitraum 1981-2010	
	Hitzetage	Sommertage
Karlsruhe	21,4	68,0
Freiburg	15,4	60,4
München	8,4	46,3
Hannover	6,2	32,5
Hamburg	4,5	26,5

Tab. 2: Jährliche Summen der Hitze- und Sommertage im Jahr (Quelle: DWD 2016)



Die Gegenüberstellung der Werte veranschaulicht das in der Region Karlsruhe vorliegende Belastungsniveau im Vergleich zu anderen Regionen in Deutschland. So ist die höchste Anzahl an Sommer- und Hitzetagen mit durchschnittlich 21,4 bzw. 68,0 Tagen/Jahr in Karlsruhe anzutreffen, während Freiburg etwas niedrigere Werte aufweist. Deutlich geringer sind dagegen die Jahressummen in Norddeutschland. Hier treten weniger als die Hälfte der entlang des Oberrheins gemessenen Sommertage auf. Die monatlichen Summen der Sommer- und Hitzetage im Bezugszeitraum 1981 bis 2010 zeigt Abb. 8. So sind bei allen Stationen die meisten Tage erwartungsgemäß in Juli und August anzutreffen.

Abb. 8: Monatliche Summen der Hitze- und Sommertage (Quelle: DWD 2016)



### 3.2 Standardisierung der Parameter

Für die qualitative Bewertung von Klimafaktoren bedarf es eines begründeten, nachvollziehbaren Maßstabes. Nicht immer ist ersichtlich, aufgrund welcher Kriterien eine Klassifizierung in Kategorien wie „Hoch“ und „Niedrig“ oder „Günstig“ und „Ungünstig“ erfolgt ist. In der VDI-Richtlinie 3785 Blatt 1 (VDI 2008) wird daher vorgeschlagen, für eine Beurteilung das lokale oder regionale Wertenniveau einer Klimaanalyse zugrunde zu legen und die Abweichung eines Klimaparameters von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsraum als Bewertungsmaßstab heranzuziehen.

Wünschenswert wäre zudem, die Beurteilungskriterien sowohl mit der Ausprägung zusätzlich modellierter Variablen als auch mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen vergleichen zu können. Um eine solche Vergleichbarkeit herzustellen, werden die Parameter über eine z-Transformation standardisiert. Bei einer z-Transformation wird das arithmetische Gebietsmittel des Parameters zunächst gleich Null gesetzt, anschließend werden die Originalmaßeinheiten der um dieses Gebietsmittel streuenden Werte in Vielfache der Standardabweichung umgerechnet. Hieraus ergeben sich vier Bewertungskategorien, deren Abgrenzung durch den Mittelwert Null sowie die einfache positive und negative Standardabweichung von diesem Mittelwert festgelegt ist (s. Abb. 9).

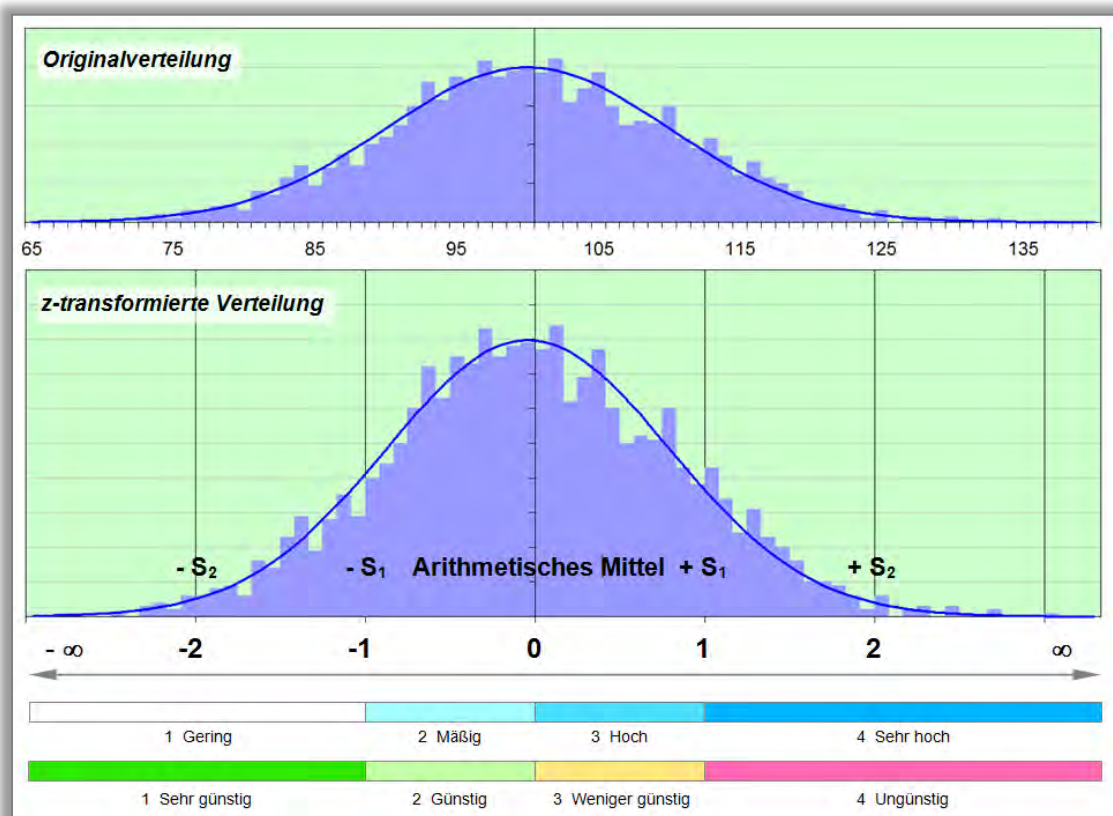


Abb. 9: Veranschaulichung der Standardisierung zur vergleichenden Bewertung von Parametern

Neben ihrem Einsatz für die Ermittlung und Beurteilung des Klimaparameters Kaltluftvolumenstrom (S. 23) wird die z-Transformation in dieser Untersuchung auch bei der Bewertung der bioklimatischen Situation (s. S. 14) verwendet.



### **3.3 Abgrenzung der klimaökologischen wirksamen Nutzungsstrukturen**

Um Aussagen über die Funktionszusammenhänge treffen zu können, müssen unterschiedliche Flächeneinheiten von Grünarealen einerseits und bebauten Bereichen andererseits in ihren klimatischen Merkmalen auch untereinander abgrenzbar sein. Das bedeutet, dass die Kaltluftlieferung von Grünflächen sehr unterschiedlich ausgeprägt ist und bei den Siedlungsflächen die bioklimatische Situation je nach Bebauungsstruktur und Lage im Raum stark variieren kann. Um diese Heterogenität in der Klimafunktions- bzw. Planungshinweiskarte darstellen zu können, wurde den Blockflächen der verwendeten Nutzungsinformationen die relevanten Klimaparameter wie z.B. Windgeschwindigkeit oder Kaltluftvolumenstrom zugeordnet. Diese Parameter liegen als rasterbasierte Felder in einem Geographischen Informationssystem als 25 m Raster vor. Umfasst ein Baublock mehrere Rasterzellen eines Parameters, wird aus den Zelleneinzelwerten ein Mittelwert gebildet. Somit steht für jede Blockfläche (bebaute als auch unbebaute Freiflächen) eine Reihe von Klimaparametern bereit. Darauf basierend werden den Teilflächen Bewertungsindices zugewiesen, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

#### **3.3.1 Grün- und Freiflächen**

Während in der Klimafunktionskarte die Grünflächen vor allem hinsichtlich ihres Kaltluftliefervermögens charakterisiert werden, steht in der Planungshinweiskarte deren stadtklimatische Bedeutung sowie die Ableitung der Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen im Mittelpunkt. Daraus ergibt sich eine unterschiedliche Vorgehensweise bei der Bewertung der Grünareale, auf die in Kap. 6.1 genauer eingegangen wird.

Als Kaltluft produzierende Bereiche gelten vegetationsgeprägte Freiflächen wie z.B. Ackerflächen, Parkareale, Kleingärten und Friedhofsanlagen. Für die Charakterisierung der Ausgleichsleistung wird in der Klimafunktionskarte der Kaltluftvolumenstrom herangezogen. Er drückt den Zustrom von Kaltluft aus den benachbarten Rasterzellen aus (vgl. Kap. 4.4).

Die Einstufung des innerhalb von Grünflächen auftretenden Kaltluftvolumenstrom orientiert sich an dem in der VDI-Richtlinie 3785 Blatt 1 (VDI 2008) beschriebenen Verfahren zur Z-Transformation (Kap. 3.2). Dieses Vorgehen legt allgemein das lokale/regionale Wertenniveau einer Klimaanalyse zugrunde und bewertet die Abweichung eines Klimaparameters von den mittleren Verhältnissen in einem Untersuchungsraum. Während diese Methode vor allem für die Ermittlung der bioklimatischen Situation geeignet ist, wird sie in dieser Untersuchung darüber hinaus auch für die Bewertung des Klimaparameters Kaltluftvolumenstrom herangezogen.

Als Resultat ergeben sich mit diesem Verfahren vier Bewertungskategorien (s. Tab. 3), welche durch den Mittelwert sowie die obere und untere S1-Schranke (Standardabweichung) nach der Z-Transformation abgegrenzt werden. Positive Abweichungen  $>0$  bedeuten überdurchschnittliche Werte, woraus sich die Bewertung in mittel und hoch ergibt. Negative Ausprägungen von  $<0$  bedeuten hingegen ein unterdurchschnittliches Niveau (entsprechend gering und sehr gering). Der Vorteil dieser Vorgehensweise





liegt in der Standardisierung eines Klimaparameters und die daraus resultierende Vergleichbarkeit der Variablen untereinander oder mit anderen Untersuchungen.

Die qualitative Einordnung des Kaltluftvolumenstroms zeigt Tabelle 3, wobei für einen klimaökologisch wirksamen Massenstrom der Wertebereich  $>-1$  angesehen wird (vgl. Tabelle 3). Die Bewertung des Kaltluftvolumenstroms orientiert sich somit an den Kategorien der Z-Transformation, wobei für jede Grünfläche ein mittlerer Z-Wert zugewiesen wurde. Da in der Klimafunktionskarte die Kaltluftlieferung von Grünarealen beurteilt wird, bezieht sich die statistische Analyse auf die Werteausprägung innerhalb der Grünflächen. Daher weicht die Klassifizierung von der des flächendeckenden rasterbasierten Volumenstroms ab (vgl. Kap. 4.4).

Mittlerer Z-Wert pro Grünfläche	Kaltluftvolumenstrom in $m^3/s$	Bewertung
$> 1$ (obere $S_1$ -Schranke)	$> 1000$	Sehr hoch
1 bis 0	$> 520$ bis 1000	Hoch
0 bis -1	280 bis 520	Mäßig
$< -1$ (untere $S_1$ -Schranke)	$< 280$	Gering

Tab. 3: Bewertung der Kaltluftlieferung innerhalb von Grünflächen

Die Darstellung der Kaltluftliefergebiete erfolgt als abgestufte Flächenfarbe. Zudem erhalten Grünflächen  $> 0,5$  Hektar mit einem mindestens mäßigen Kaltluftvolumenstrom eine Pfeilsignatur mit der Hauptströmungsrichtung innerhalb einer Fläche.

### Kaltluftleitbahnen

Leitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete (Ausgleichsräume) und Belastungsbereiche (Wirkungsräume) miteinander und sind somit elementarer Bestandteil des Luftaustausches (Abb. 10). Die Ausweisung der Leitbahnbereiche orientiert sich am autochthonen Strömungsfeld der FITNAH-Simulation und wird sowohl in der Klimafunktionskarte als auch der Planungshinweiskarte dargestellt. Als geeignete Oberflächenstrukturen innerhalb von Siedlungsräumen, die ein Eindringen von Kaltluft in die Bebauung erleichtern, dienen sowohl gering bebaute vegetationsgeprägte Freiflächen, Kleingärten und Friedhöfe als auch Gleisareale und breite Straßenräume. Kaltluftabflüsse treten über unbebauten Hangbereichen auf, sofern sie Neigungen von  $\geq 1^\circ$  aufweisen. Aufgrund der vergleichsweise höheren Dichte von Kaltluft setzt sie sich, dem Gefälle folgend, hangabwärts in Bewegung.

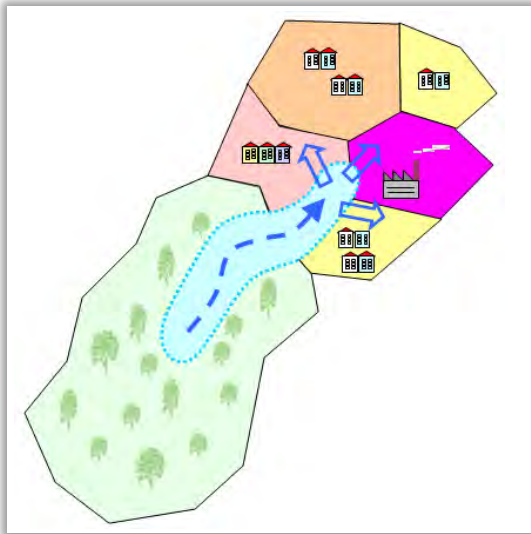


Abb. 10: Prinzipskizze Kaltluftleitbahn

Durch diese „Beschleunigung“ weisen Kaltluftabflüsse meist höhere Strömungsgeschwindigkeiten auf als Strömungen, die sich nur aufgrund des Temperaturunterschiedes zwischen kühlen Freiflächen und überwärmter Bebauung einstellen. Aus stadtklimatischer Sicht sind daher Abflüsse als sehr wirksam zu bewerten. Aufgrund der Reliefsituation im Stadtgebiet Rastatt treten Kaltluftabflüsse vorwiegend in der Hangzone des Rheingrabens auf und werden daher nicht gesondert ausgewiesen.

### 3.3.2 Bioklima in den Siedlungsflächen

Zur Bewertung der bioklimatischen Situation wird die nächtliche Überwärmung in den Nachtstunden (04 Uhr morgens) sowie die Wärmebelastung am Tage (14 Uhr mittags) herangezogen. Da die Klimaanalysekarte die Funktionen und Prozesse des nächtlichen Luftaustausches abbilden soll, wird hier der nächtliche Wärmeinseleffekt betrachtet. Die Planungshinweiskarte geht darüber hinaus auch auf die Wärmebelastung am Tage ein und stellt die thermische Gesamtsituation der Siedlungsflächen dar. In Abhängigkeit von den stadtspezifischen Faktoren (z.B. Bebauungshöhe, Versiegelung, Durchgrünungsgrad) und der Charakterisierung der Wettersituation (z.B. Wind, Luftmasseneigenschaften), können mit Hilfe des mesoskaligen Modells FITNAH diese Verteilungen innerhalb von Rastatt detailliert berechnet werden.

#### Bewertung der Siedlungsflächen in der Klimaanalysekarte

Die Siedlungsräume lassen sich in ausreichend durchlüftete Areale und damit meist klimatisch günstige Siedlungsstrukturen sowie klimatische Belastungsbereiche untergliedern. Der Kaltlufteinwirkungsbereich kennzeichnet das bodennahe Ausströmen der Kaltluft aus den Grünflächen in die angrenzende Bebauung während einer sommerlichen Strahlungswetternacht. Um die Strömung als klimaökologisch relevant einordnen zu können, sollte sie eine Strömungsgeschwindigkeit von mehr als 0,1 m/s erreichen. Damit geht einher, dass die im Einwirkungsbereich befindliche Bebauung überwiegend günstige bioklimatische Verhältnisse aufweist. Letztendlich sind für die menschliche Gesundheit die bioklimatischen Bedingungen in der Nacht bedeutender als die Tagesmaxima der Lufttemperatur, da gerade die nächtlichen Erholungsphasen für den Körper besonders wichtig sind.

Der nächtlichen Wärmebelastung, wie sie in der Klimaanalysekarte dargestellt ist, liegt die Werteausprägung in der zweiten Nachthälfte um 4 Uhr zugrunde. Es handelt sich um den bodennahen Temperaturwert-Wert für eine typische Sommernacht mit geringem Luftaustausch und ungehinderter langwelliger Ausstrahlung bei einem wolkenlosen Himmel. Dabei wirken lokal auftretende Kaltluftströmungen modifizierend auf die räumliche Ausprägung der Lufttemperatur. Es handelt sich somit um eine Einzelsituation.



Es wurde, analog zum Kaltluftvolumenstrom, eine statistische Analyse des Lufttemperatur-Ergebnisrasters durchgeführt und den (in der Klimaanalysekarte dargestellten) Blockflächen der Siedlungsräume ein Flächenmittelwert zugewiesen. Über das in der VDI-RL 3785 Blatt 1 beschriebene Verfahren zur Ermittlung der bioklimatischen Situation wird mittels der Z-Transformation das Modellgebiet in günstige und ungünstige Areale untergliedert. In der Nachtsituation ist dabei die Abweichung von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsraum ausschlaggebend.

Bei der Zuordnung eines Baublocks ist die jeweilige durchschnittliche Ausprägung des Z-Wertes der Lufttemperatur innerhalb der Fläche relevant (als Rasterzellenmittelwert), aus welchem sich die Zuordnung zu den Bewertungskategorien ergibt. Als Resultat ergeben sich mit diesem Verfahren vier qualitative Einstufungen, welche durch den Mittelwert sowie die obere und untere S1-Schranke (Standardabweichung) nach der Z-Transformation abgegrenzt werden. Positive Abweichungen > 0 bedeuten überdurchschnittliche Temperaturausrprägungen und resultieren in den Kategorien „Schwach“, „Mäßig“ und „Stark“. Bei negativen Ausprägungen von < 0 liegt ein unterdurchschnittliches Temperaturniveau vor und der Wärmeinseleffekt wird entsprechend als „nicht vorhanden“ kategorisiert. Der Vorteil dieser Vorgehensweise liegt in der Standardisierung eines Klimaparameters und der sich daraus ergebenden Vergleichbarkeit mit anderen Untersuchungen. In Tab. 4 sind den jeweiligen Klassen die auftretenden mittleren Lufttemperaturen zugeordnet, wobei der Mittelwert über alle Siedlungsflächen bei 17,5°C liegt.

Mittlerer Z-Wert der Lufttemperatur um 04:00 pro Block	Spannweite der mittleren Lufttemperatur um 04:00 pro Kategorie	Bewertung
≤ 0	< 17,5°C	Nicht vorhanden
> 0 bis ≤ 1	> 17,5°C bis 18,7°C	Schwach
> 1 bis ≤ 2	> 18,7 bis < 19,9°C	Mäßig
> 2	≥ 19,9°C bis < 20,4°C	Stark

Tab. 4: Bewertung des nächtlichen Wärmeinseleffekts in Siedlungsflächen

### Bewertung der Siedlungsflächen in der Planungshinweiskarte

Der Siedlungsraum stellt den primären Wirkungsraum des stadtklimatischen Prozessgeschehens dar. Im Folgenden wird die Herleitung der thermischen Gesamtsituation geschildert sowie die entsprechenden Ergebnisse beschrieben. Die zugrundeliegende Methode orientiert sich an der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 und sieht eine 4-stufige Klassifizierung zwischen „sehr günstig“ und „ungünstig“ vor (VDI 2008). Dieses Verfahren beruht im Wesentlichen auf dem Grad der Abweichung vom Mittelwert innerhalb der Blockflächen.

Zur Bewertung der **Tagsituation** ist der humanbioklimatische Index **PET um 14 Uhr** (=Physiologisch Äquivalente Temperatur) herangezogen worden (vgl. Höpfe und Mayer 1987). Dieser Parameter wird modellintern berechnet und berücksichtigt eine Vielzahl von Faktoren u.a. den kurz- und langwelligen Strahlungsfluss, die Lufttemperatur und -feuchte sowie die Windgeschwindigkeit).



Gegenüber vergleichbaren Indizes wie dem PMV (=Predicted Mean Vote) hat PET vor allem den Vorteil, aufgrund seiner °C-Einheit auch von Nichtfachleuten besser nachvollzogen werden zu können.

Darüber hinaus handelt es sich bei dem PET um eine Größe, die sich in der Fachwelt zu einer Art „Quasi-Standard“ entwickelt hat, so dass sich die Ergebnisse aus Rastatt grundsätzlich auch mit denen aus anderen Städten (auch außerhalb Deutschlands) vergleichen lassen. Die PET bezieht sich (wie die übrigen humanbiometeorologischen Indizes auch) auf außenklimatische Bedingungen und zeigt eine starke Abhängigkeit von der Strahlungstemperatur (Kuttler 1999). Mit Blick auf die Wärmebelastung ist er damit vor allem für die Bewertung des Aufenthalts im Freien am Tage sinnvoll einsetzbar. In der Nacht ist allerdings weniger der Aufenthalt im Freien Bewertungsgegenstand, sondern vielmehr die Möglichkeit eines erholsamen Schlafes im Innenraum.

Die VDI Richtlinie weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass die „Lufttemperatur der Außenluft die entscheidende Größe“ (VDI 2008, 25) für die Bewertung der Nachtsituation darstellt und näherungsweise ein direkter Zusammenhang zwischen Außen- und Innenraumlufte unterstellt werden kann. Zwar werden Tropennächte mit einer nächtlichen Minimumtemperatur von >20 °C gemeinhin als besonders problematisch bezeichnet und optimale Schlaftemperaturen mit 16 bis 18°C angegeben (UBA 2015), eine mit PET vergleichbare Bewertungsskala existiert für die nächtliche Situation im Innenraum (noch) nicht. Für die Planungshinweiskarte erfolgte die räumlich differenzierte Bewertung der Nachtsituation daher auf der Basis einer Z-Transformation der in den Siedlungsflächen auftretenden Flächenmittelwerte der **Lufttemperatur um 04 Uhr** und bildet somit den in der Klimanalysekarte dargestellten nächtlichen Wärmeinseleffekt ab.

Tageszeit	Bewertungsstufen	Methode
<b>Tagsituation</b> PET in 2 m über Grund um 14 Uhr	Gemäß VDI 3785, Bl.1 1= sehr günstig 2= günstig 3= weniger günstig 4= ungünstig	PET 14:00 Uhr z-Wert < -1 z-Wert ≥ -1 und ≤ 0 z-Wert > 0 und ≤ 1 z-Wert > 1
<b>Nachtsituation</b> Lufttemperatur in 2 m über Grund um 04 Uhr	Gemäß VDI 3785, Bl.1 1= sehr günstig 2= günstig 3= weniger günstig 4= ungünstig	T 04:00 Uhr z-Wert < 0 z-Wert ≥ 0 und ≤ 1 z-Wert > 1 und ≤ 2 z-Wert > 2

Tab. 5: Klassenstufen und Methode zur Bewertung der thermischen Situation im Siedlungsraum

Zur Beurteilung der Gesamtsituation in den Siedlungsflächen sind die Einzelergebnisse für die Tag- und Nachtsituation aggregiert worden. Aufgrund des ordinalen Skalenniveaus der Bewertungsstufen ist eine statistische Mittelwertbildung mathematisch nicht zulässig. Daher erfolgte eine gutachterliche Zuordnung, welche Klassenkombination zu welchem Gesamtergebnis führt (Tabelle 6).

Demnach sind den beiden Klassen 4 = ungünstig und 1 = sehr günstig je drei und den Klassen 3 = weniger günstig und 2 = günstig je 5 Kombinationen zugewiesen worden. Sofern sich für die beiden Tageszeiten identische Einzelergebnisse ergeben (z. B. die Kombination günstig/günstig), erfolgt die Zuweisung für die Gesamtbewertung in die entsprechende Klasse (günstig).



Bewertungsstufe Tagsituation	Bewertungsstufe Nachtsituation	Gesamtbewertung
4= ungünstig	4= ungünstig	nicht vorhanden
4= ungünstig	3= weniger günstig	4= ungünstig
3= weniger günstig	4= ungünstig	nicht vorhanden
4= ungünstig	2= günstig	3= weniger günstig
3= weniger günstig	3= weniger günstig	3= weniger günstig
2= günstig	3= weniger günstig	3= weniger günstig
2= günstig	4= ungünstig	3= weniger günstig
1= sehr günstig	4= ungünstig	nicht vorhanden
4= ungünstig	1= sehr günstig	2= günstig
3= weniger günstig	2= günstig	2= günstig
3= weniger günstig	1= sehr günstig	2= günstig
2= günstig	2= günstig	2= günstig
1= sehr günstig	3= weniger günstig	2= günstig
2= günstig	1= sehr günstig	1= sehr günstig
1= sehr günstig	2= günstig	1= sehr günstig
1= sehr günstig	1= sehr günstig	1= sehr günstig

Tabelle 6: Verrechnungsvorschrift zur Verknüpfung der Bewertung von Tag- und Nachtsituation

Das Wertepaar Tag = günstige thermische Situation und Nacht = weniger günstige thermische Situation wurde gesondert bewertet. Da ein erholsamer Schlaf für die menschliche Gesundheit hier als relevanter eingeschätzt wird, als die Tagsituation, während der die Anpassungskapazität der Bevölkerung an den Hitzestress grundsätzlich als höher einzustufen ist, wurde die Kombination in der Gesamtbewertung in die Klasse 3 (ungünstig) eingestuft.



## 4. Ergebnisse der Klimamodellierung

Im Folgenden werden die Modellergebnisse zu den Parametern Lufttemperatur in 2 m Höhe, Kaltluftströmungsfeld sowie Kaltluftvolumenstrom erläutert. Als meteorologische Rahmenbedingung wurde eine austauscharme Wetterlage zugrunde gelegt, da sich die stadtklimatischen Effekte vor allem während windschwacher Strahlungswetterlagen im Sommer entwickeln. Auslöser dieser Prozesse sind die Temperaturunterschiede zwischen vergleichsweise warmen Siedlungsräumen und kühleren vegetationsgeprägten Freiflächen.

### 4.1 Bodennahes Lufttemperaturfeld

**Allgemeines:** Der Tagesgang der Lufttemperatur ist direkt an die Strahlungsbilanz eines Standortes gekoppelt und zeigt daher in der Regel einen ausgeprägten Abfall während der Abend- und Nachtstunden. Dieser erreicht kurz vor Sonnenaufgang des nächsten Tages ein Maximum. Das Ausmaß der Abkühlung kann dabei – je nach den meteorologischen Verhältnissen, der Lage des Standorts und den landnutzungsabhängigen physikalischen Boden- und Oberflächeneigenschaften – große Unterschiede aufweisen, so dass sich bereits auf kleinem Raum ein differenziertes Temperaturfeld mit mehr als 8°C Temperaturabweichung einstellen kann.

Besonders auffällig dabei ist das thermische Sonderklima der Siedlungsräume. Die in Städten gegenüber dem Umland modifizierten klimatischen Verhältnisse lassen sich auf einige wesentliche Faktoren zurückführen. Hierzu gehören

- die erhöhte Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit der Boden- und Oberflächeneigenschaften
- die durch die Geometrie der städtischen Baukörper vergrößerte strahlungsabsorbierende Oberfläche
- die herabgesetzte Verdunstung durch die direkte Einleitung des Niederschlagswassers in die Kanalisation oder die Vorflut
- die über die vermehrte Emission von Gasen und Aerosolen zugunsten eines langwelligen Strahlungsgewinns veränderte Strahlungsbilanz (lokaler Treibhauseffekt)
- die Wirkung der Stadt als Strömungshindernis mit hoher aerodynamischen Rauigkeit und die damit verbundene Behinderung der Durchlüftung und des Luftaustausches mit dem Umland
- die erhöhte anthropogen bedingte Wärmeproduktion

Damit ist das Ausmaß der Temperaturabweichung im Siedlungsbereich vor allem abhängig von der Größe der Stadt und der Dichte der Überbauung.

Doch auch die Luftvolumina über grünbestimmten Flächen weisen untereinander keinen einheitlichen Wärmezustand auf. Die Abkühlungsrate von natürlichen Oberflächen wird insbesondere von ihren thermischen Bodeneigenschaften (u.a. ihrer Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität) sowie von eventuell vorhandenen Oberflächenbedeckungen (Bewuchs, Laubstreu usw.) bestimmt. Das Relief (Exposition, Geländeneigung) und die Lage im Mosaik der Nutzungen und ihrer dynamischen Luftaustauschprozesse üben einen weiteren Einfluss aus.



Eine Sonderstellung nehmen Wald- und Gewässerflächen ein. Der gedämpfte, insgesamt vermittelnde Tagesgang der Temperatur im Wald beruht zu einem großen Teil auf dem zweischichtigen Strahlungsumsatz zwischen Atmosphäre und Kronendach sowie zwischen Kronendach und Stammraum. Größere Waldgebiete sind wichtige Frischluftproduktionsgebiete, wobei hier sauerstoffreiche, staubfreie und wenig belastete Luft entsteht. Während tagsüber durch Verschattung und Verdunstung relativ niedrige Temperaturen bei hoher Luftfeuchtigkeit im Stammraum vorherrschen, treten nachts, im Vergleich zu nicht mit Gehölz bestandenen Grünflächen, eher milde Temperaturen auf. Stadtnahe Wälder können daher in begrenztem Maße auch am Tage Kaltluft zugunsten des Siedlungsraumes erzeugen.

Die hohe spezifische Wärmekapazität des Wassers, seine besondere Art der Strahlungsabsorption und die im Wasserkörper stattfindenden turbulenten Durchmischungsvorgänge sorgen für eine (von hohen Absolutwerten ausgehend) deutlich verringerte tagesperiodische Temperaturamplitude über den größeren Gewässern. Da hier die Lufttemperaturen im Sommer tagsüber niedriger und nachts höher als in der Umgebung sind, wirken größere Gewässer auf bebauten Flächen tagsüber klimatisch ausgleichend, während sie nachts die Abkühlung verringern.

Die Ermittlung des bodennahen Temperaturfeldes ermöglicht es, Bereiche mit potenziellen bioklimatischen Belastungen abzugrenzen, Aussagen zum Auftreten thermisch und/oder orographisch induzierter Ausgleichsströmungen zu treffen und die räumliche Ausprägung und Wirksamkeit von Kalt- bzw. Frischluftströmungen abzuschätzen. Das sich um 4 Uhr in der Nacht einstellende Temperaturfeld im Untersuchungsraum umfasst zwischen Minimalwerten von 13,6°C und Maximalwerten von bis zu 21,0°C eine Spannweite von etwa 7°C. Die mittlere Temperatur des Untersuchungsgebietes liegt bei den angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen bei 15,5°C.

Innerhalb der bebauten Gebiete ist die Temperaturverteilung räumlich differenziert, da Areale mit Einzelhausbebauung, Kernbebauung und Verkehrsanlagen unterschiedliche Boden- und Oberflächeneigenschaften aufweisen. Im Rahmen der durchgeführten Klimamodellierung weisen die die Innenstadt sowie größere Gewerbeflächen die höchsten Temperaturen von mehr als 20°C auf, was mit dem hohen Bauvolumen und der hohen Oberflächenversiegelung von bis zu 95% einher geht (Abb. 11). Diese nehmen vor allem westlich und östlich der Kernstadt größere Areale ein.

Große Teile des Siedlungsraumes sind durch Zeilen- sowie Reihen- und Einzelhausbebauung geprägt, in der mit 17,5°C bis 18,5°C deutlich niedrigere Lufttemperaturen vorliegen. Von den Wohnbauflächen weist die Einzelhausbebauung vor allem an den Siedlungsrändern das geringste Temperaturniveau auf, wobei dort 18°C selten überschritten werden. Darüber hinaus zeigen die Verkehrsflächen, abhängig vom Versiegelungsgrad und der umgebenden Bebauung, meist Temperaturen zwischen 18°C und 19°C.

Im Temperaturfeld treten die unbebauten, vegetationsgeprägten Freiflächen mit deutlich geringeren Werten hervor. Die niedrigsten Temperaturen im Untersuchungsgebiet sind mit weniger als 15°C vor allem über den Freiflächen außerhalb der Kernstadt anzutreffen, was in der starken langwelligen Ausstrahlung nach Sonnenuntergang begründet liegt. Ähnlich geringe Werte können zudem kleinräumig in Senkenbereichen auftreten, wo sich die Kaltluft aufgrund ihrer höheren Dichte sammelt.





Waldareale besitzen dagegen ein vergleichsweise hohes Temperaturniveau von 16°C bis 17°C. Hier dämpft das Kronendach die nächtliche Ausstrahlung und damit auch ein stärkeres Absinken der bodennahen Lufttemperatur. Verglichen mit den weitläufigen Freiflächen des Umlandes weisen die innerstädtischen Grünflächen, abhängig von ihrer Größe und Form, ein höheres Wertespektrum auf, welches meist zwischen 16°C und 18°C beträgt. In den übrigen, kleineren Grünflächen sinkt die Temperatur nur noch selten auf weniger als 17°C ab. Hier wird deutlich, dass diese Flächen in eine insgesamt wärmere Umgebung eingebettet sind und daher die vergleichsweise geringen Temperaturen des Umlandes nicht mehr erreicht werden.

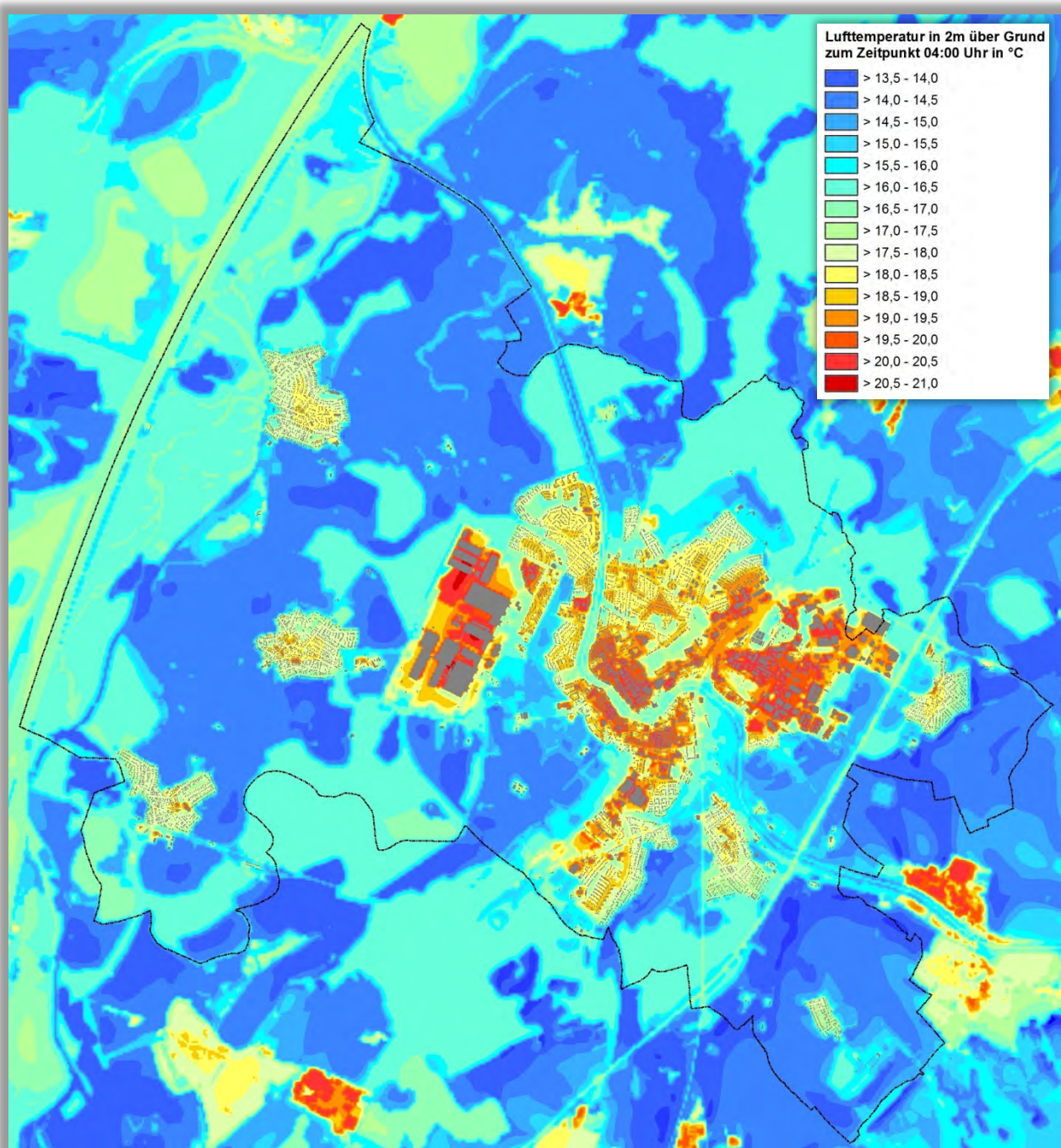


Abb. 11: Bodennahe Lufttemperatur zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2m ü. Grund)





## 4.2 Physiologisch Äquivalente Temperatur

Zur Bewertung der Tagsituation wird der humanbioklimatische Index PET (=Physiologisch Äquivalente Temperatur) herangezogen (Höppe und Mayer 1987). Der PET bezieht sich (wie die übrigen humanbiometeorologischen Indizes auch) auf außenklimatische Bedingungen und zeigt eine starke Abhängigkeit von der Strahlungstemperatur (Kuttler 1999). Mit Blick auf die Wärmebelastung ist er damit vor allem für die Bewertung des Aufenthalts im Freien am Tage sinnvoll einsetzbar. Per Definition liegt eine starke Belastung ab einer PET von mehr als 35°C vor. Zum Zeitpunkt 14 Uhr zeigt sich, dass die auftretende Wärmebelastung am Tage vor allem über die Verschattung beeinflusst wird. Eine mäßige Wärmebelastung mit einer PET von 29°C bis 32°C ist insbesondere unter den größeren Baumbeständen der Waldflächen zu beobachten (grüne Farben; Abb. 12).

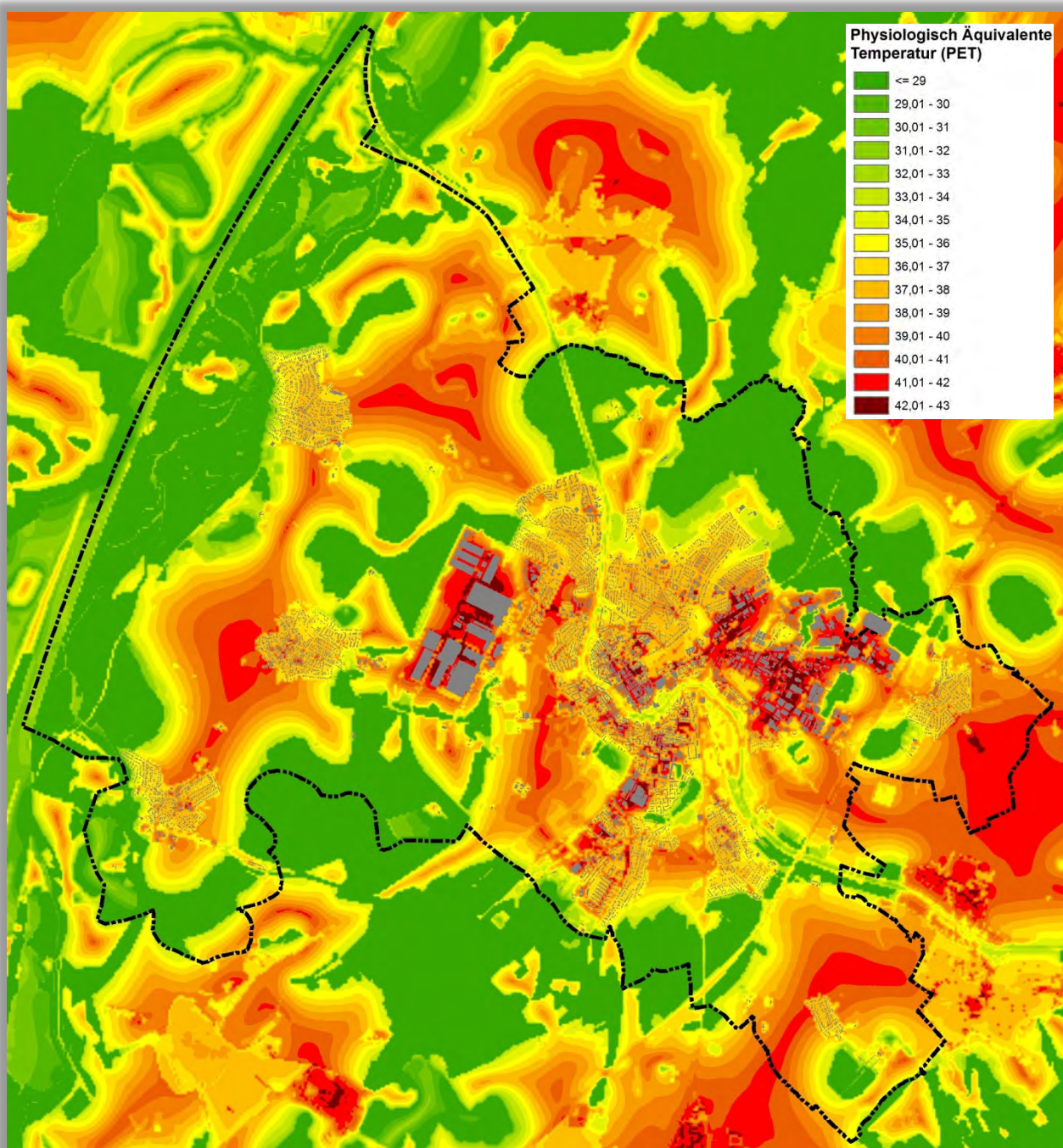


Abb. 12: PET zum Zeitpunkt 14 Uhr mittags (2m ü. Grund)

Dem stehen die stark besonnten Areale gegenüber, wo die Wärmebelastung mit einer PET von deutlich mehr als 35°C häufig als stark einzustufen ist (Gelb/Orange/Rot). Die höchsten Belastungen treten über Freiland und den größeren versiegelten Arealen der Gewerbeflächen auf.

### 4.3 Autochthones Windfeld

#### Allgemeines:

Die bodennahe Temperaturverteilung bedingt horizontale Luftdruckunterschiede, die wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind. Ausgangspunkt dieses Prozesses sind die nächtlichen Temperaturunterschiede, die sich zwischen Siedlungsräumen und vegetationsgeprägten Freiflächen einstellen. An den geneigten Flächen setzt sich abgekühlte und damit schwerere Luft in Richtung zur tiefsten Stelle des Geländes in Bewegung. So entstehen an den Hängen die nächtlichen Kaltluftabflüsse (u.a. Mosimann et al. 1999). Die Windgeschwindigkeit dieses kleinräumigen Phänomens wird in erster Linie durch das Temperaturdefizit zur umgebenden Luft und durch die Neigung des Geländes bestimmt.

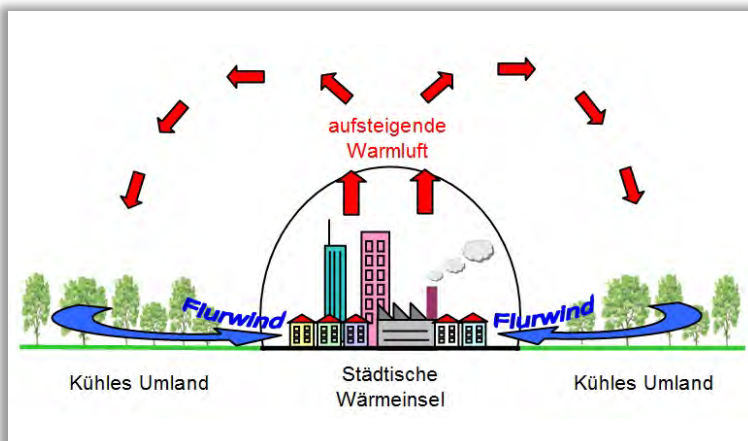


Abb. 13: Prinzipskizze Flurwind

Neben den orographisch bedingten Strömungen mit Kaltluftabflüssen bilden sich auch so genannte Flur-/Strukturwinde, d.h. eine direkte Ausgleichsströmung vom hohen zum tiefen Luftdruck aus. Sie entstehen, wenn sich stark überbaute oder versiegelte Gebiete stärker erwärmen als umliegende Freiflächen, und dadurch ein

thermisches Tief über den urbanen

Gebieten entsteht (vgl. Abb. 13). Der resultierende Druckgradient kann daraufhin durch einströmende kühlere Luftmassen aus dem Umland ausgeglichen werden (u.a. Kiese et al. 1992). Für die Ausprägung dieser Strömungen ist es wichtig, dass die Luft über eine gewisse Strecke beschleunigt werden kann und nicht durch vorhandene Hindernisse wie Bebauung abgebremst wird. Die Flur-/ Strukturwinde sind eng begrenzte, oftmals nur schwach ausgeprägte Strömungsphänomene, die bereits durch einen schwachen überlagernden Wind überdeckt werden können. Ihre Geschwindigkeit liegt meist unterhalb von 2 m·s<sup>-1</sup> (Mosimann et al. 1999).

Die landnutzungstypischen Temperaturunterschiede beginnen sich schon kurz nach Sonnenuntergang herauszubilden und können die ganze Nacht über andauern. Dabei erweisen sich insbesondere Wiesen- und Ackerflächen als kaltluftproduktiv. Abhängig von den Oberflächeneigenschaften und Abkühlungsraten geht damit die rasche Entwicklung von Kaltluftströmungen einher, die zunächst vertikal nur von geringer Mächtigkeit (5-10 m Schichthöhe) sind und sich zwischen der Vielzahl der unterschiedlich temperierten Flächen ausbilden. Diese kleinskaligen Windsysteme werden im Laufe der Nacht von horizontal und vertikal etwas mächtigeren Flur- und Hangwinden (mehrere Dekameter Mächtigkeit) überdeckt, die zwischen den



großen Freiflächen und überbauten Arealen entstehen. Den hier beschriebenen Phänomenen kommt eine besondere landschaftsplanerische Bedeutung zu: Größere Siedlungen wirken aufgrund ihrer hohen aerodynamischen Rauigkeit als Strömungshindernis. Aus diesem Grund sind die Durchlüftung der Stadtkörper und ihr Luftaustausch mit dem Umland generell herabgesetzt. Die Abfuhr von schadstoffbelasteten und überwärmten Luftmassen in den Straßenschluchten kann in Abhängigkeit von der Bebauungsart und -dichte deutlich eingeschränkt sein. Speziell bei austauschschwachen Wetterlagen und für Städte in Muldenlage wirken sich diese Faktoren bioklimatisch ungünstig aus. Daher können die genannten Strömungssysteme durch die Zufuhr frischer und kühlerer Luft eine bedeutende klimaökologische Ausgleichsleistung für die Belastungsräume erbringen.

Die Kaltluftströmung ist in der vorliegenden Untersuchung ein wichtiger Parameter zur Beurteilung des Kaltluftthaushaltes, wobei sich vor allem die Luftaustauschprozesse am Stadtrand erst in der zweiten Nachthälfte vollständig ausgebildet haben. Daher wird im Folgenden auf die Ergebnisse zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens eingegangen.

Das sich zum nächtlichen Analysezeitpunkt ausgeprägte Kaltluftströmungsfeld stellt Abb. 14 in zwei Ebenen dar. Die Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit wird über die Pfeilrichtung und Pfeillänge in Form von Vektoren abgebildet, wobei die Pfeile der Karte für eine übersichtlichere Darstellung auf 50 m x 50 m Kantenlänge (entspricht 4 Rasterzellen) aggregiert worden sind. Die unterlegten Rasterzellen stellen zudem die Windgeschwindigkeit flächenhaft in Farbstufung dar. Die Werte beziehen sich auf eine Analysehöhe von 2 m über Grund. Abgebildet sind alle Zellen des ursprünglichen 25 m Rasters, für die aufgrund einer modellierten Mindestwindgeschwindigkeit von  $\geq 0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  und unter Berücksichtigung der gebietstypischen Ausprägung eine potenzielle klimaökologische Wirksamkeit angenommen werden kann.

Die für das 2 m-Niveau wiedergegebenen Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich der Kernstadt reichen von vollkommener Windstille bis zu Maximalwerten von  $0,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  in der Murgniederung (Dunkelblau). Während innerhalb von Waldflächen der Stammraum die Ausbildung höherer Strömungsgeschwindigkeiten in Bodennähe unterbindet, zeigt sich am Randbereich des Hirschgrunds ein flächenhaftes Ausströmen von Kaltluft in die Bebauung, wobei niedrige Bebauung und breite Straßenräume ein Eindringen in die Siedlungsfläche begünstigt. Die über dem Hangbereich des Rheintals entstehenden Kaltlufteinflüsse erreichen allerdings nur den südöstlichen Rand des Stadtgebietes und wirken aufgrund der Entfernung nicht direkt auf die Kernstadt ein. Als bedeutsame Kaltluftliefergebiete treten die Freiflächen westlich und östlich des Ortsteils Niederbühl, im Bereich der Oberwaldstraße sowie Zaystraße auf. Auf gesamtstädtischer Ebene zeigt sich die wichtige Rolle größerer Grünzüge wie dem nördlich der Beethovenstraße bzw. dem Verlauf der Murg, da sie die Kaltluft als Leitbahnen tief in die Bebauung heranzuführen können.

Die Eindringtiefe der nächtlichen Kaltluft in die Siedlungsräume und damit auch das Maß der bioklimatischen Gunstwirkung während sommerlicher Hochdruckwetterlagen hängt von der Bebauungsstruktur und der Intensität der Kaltluftdynamik ab. Ganz allgemein wird eine vergleichsweise gering überbaute Einzel- und Reihenhausbauung besser durchströmt als eine Block- und Blockrandbebauung. Große Teile der stärker bebauten Wohngebiete werden hingegen nicht nennenswert von Kaltluft durchströmt, da die zunehmende Bebauungsdichte und das im Vergleich zum Freiland höhere Temperaturniveau die Kaltluftströmung abschwächen.





Die Spanne der Eindringtiefe variiert deutlich und beträgt, abhängig von den baustrukturellen Bedingungen, zwischen 100 m und 700 m. Eine intensive Durchlüftung von durchgrünten Siedlungstypen bewirkt hier die sehr günstigen bioklimatischen Bedingungen am Stadtrand (vgl. Kap. 5.2).

Große Teile der Gewerbeflächen sowie der Stadtteilzentren werden hingegen nicht nennenswert von Kaltluft durchströmt, da die zunehmende Bebauungsdichte und das im Vergleich zum Freiland höhere Temperaturniveau die nächtliche Kaltluftströmung abschwächen.

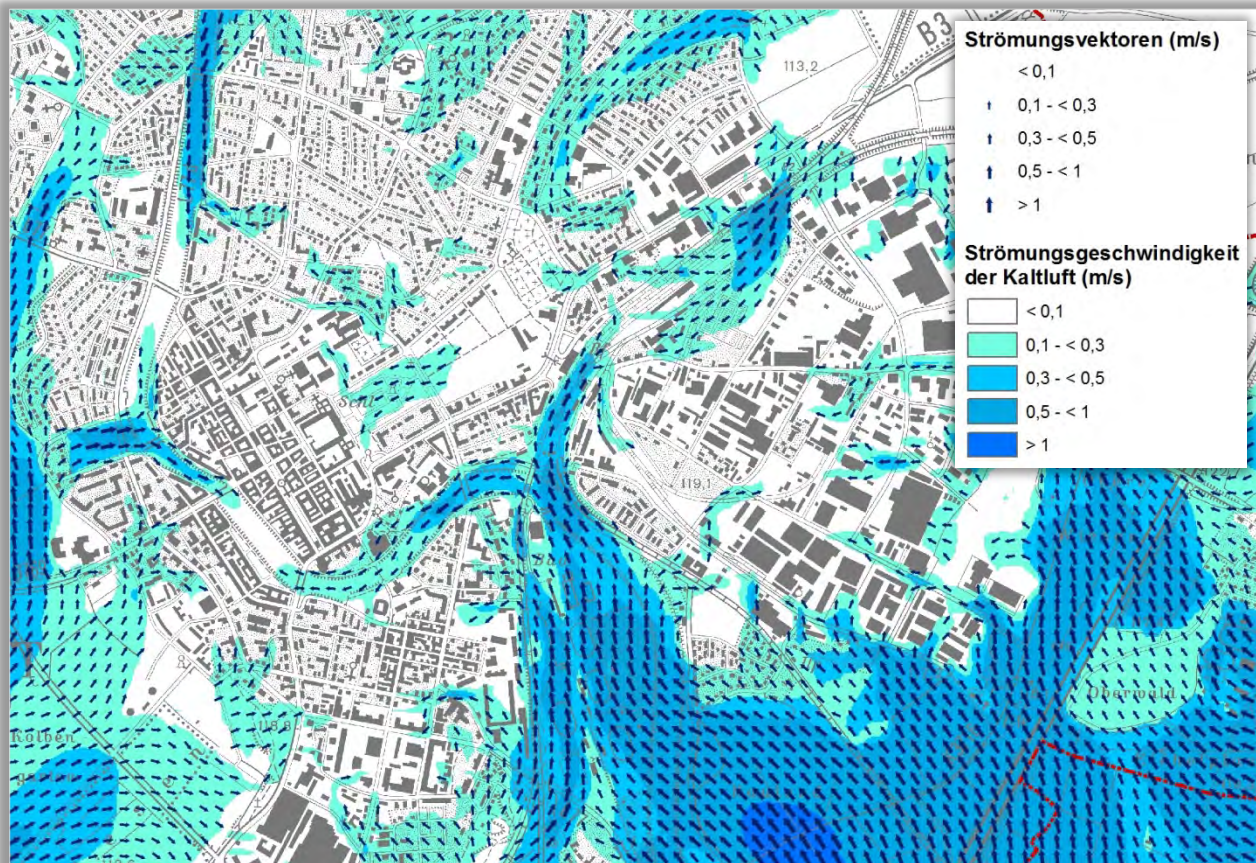
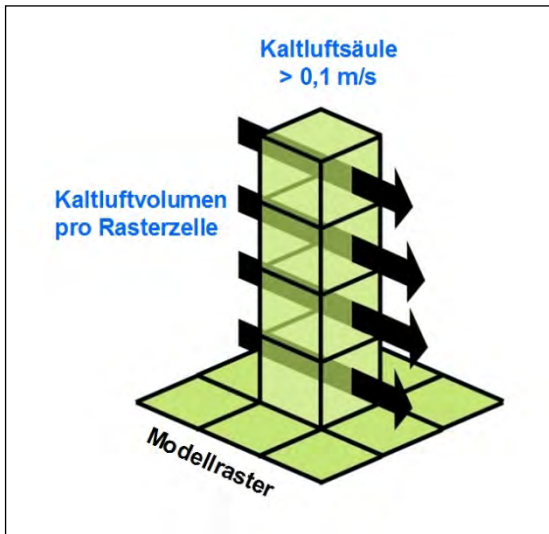


Abb. 14: Nächtliches autochthones Windfeld im Bereich der Kernstadt zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2m ü. Grund)

#### 4.4 Kaltluftvolumenstrom

Allgemeines: Wie bereits im Vorkapitel zum autochthonen Windfeld eingehender erläutert, kommt den lokalen thermischen Windsystemen eine besondere Bedeutung beim Abbau von Wärme- und Schadstoffbelastungen größerer Siedlungsräume zu. Weil die potenzielle Ausgleichsleistung einer grünbestimmten Fläche nicht allein aus der Geschwindigkeit der Kaltluftströmung resultiert, sondern zu einem wesentlichen Teil durch ihre Mächtigkeit (d.h. durch die Höhe der Kaltluftschicht) mitbestimmt wird, wird zur Bewertung der Grünflächen ein weiterer Klimaparameter herangezogen: der sogenannte Kaltluftvolumenstrom. Für die Auswertung wurde der Zeitpunkt 04 Uhr morgens gewählt, da zu diesem Zeitpunkt die Intensität der Kaltluftströme voll ausgeprägt ist.



Unter dem Begriff Kaltluftvolumenstrom versteht man, vereinfacht ausgedrückt, das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite). Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit  $m^3$ , die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer Leitbahn fließt. Für die dargestellten Werte bedeutet dies folgendes: Da die Modellergebnisse nicht die Durchströmung eines natürlichen Querschnitts

Abb. 15: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom

widerspiegeln, sondern den Strömungsdurchgang der gleichbleibenden Rasterzellenbreite, ist der resultierende

Parameter streng genommen nicht als Volumenstrom, sondern als rasterbasierte Volumenstrom-dichte aufzufassen. Diesen Wert kann man sich leicht veranschaulichen, indem man sich ein 25 m breites, quer zur Luftströmung hängendes Netz vorstellt, das ausgehend von der Obergrenze der Kaltluftschicht<sup>1</sup> bis hinab auf die Erdoberfläche reicht (Abb. 15). Bestimmt man nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft, erhält man die rasterbasierte Volumenstromdichte. Der Volumenstrom ist damit ein Maß für den Zustrom von Kaltluft und bestimmt somit, neben der Strömungsgeschwindigkeit, die Größenordnung des Durchlüftungspotenzials. Die Klassifizierung des flächendeckenden (rasterbasierten) Volumenstroms orientiert sich am auftretenden Wertespektrum innerhalb des gesamten Untersuchungsgebietes und weicht daher von der in Kap. 3.3.1 (S. 16) dargestellten Klassifizierung des Volumenstroms innerhalb von Grünflächen ab. Die qualitative Bewertung dieser meteorologischen Größe zeigt Tab. 7.

Bewertung	Kaltluftvolumenstrom in $m^3/s$
Sehr hoch	> 900
Hoch	900 bis $\geq 450$
Mittel	450 bis $\geq 250$
Gering	< 250

Tab. 7: Qualitative Einordnung des Kaltluftvolumenstroms

Ausgehend vom der gebietstypischen Ausprägung im Untersuchungsraum wird als Schwellenwert für einen klimaökologisch wirksamen Kaltluftstrom ein Wert von mehr als  $250 m^3/s$  angenommen, wobei die innenstadtnahen Siedlungsflächen meist einen mäßigen bis geringen Volumenstrom aufweisen. Die räumliche Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Untersuchungsraum geht im Wesentlichen mit der

<sup>1</sup> Die Schichtgrenze wird dort angesetzt, wo die horizontale Fließgeschwindigkeit geringer als  $0,1 m \cdot s^{-1}$  wird





des bodennahen Strömungsfeldes einher. Abbildung 16 zeigt den Kaltluftstrom in einer qualitativen Abstufung. Analog zur Strömungsgeschwindigkeit treten die höchsten Werte über dem südöstlichen Stadtgebiet auf, was auf die Kaltluftabflüsse im Übergang zum Rheintal zurückzuführen ist. Zudem sind innerhalb von Kaltluftleitbahnen vorwiegend hohe Volumenströme zu beobachten. Damit zeigt sich die Funktion der in Kap. 4.2 angesprochenen Flächen als Kaltluftschneisen und ihre Bedeutung für den nächtlichen Luftaustausch während sommerlicher, windschwacher Wettersituationen. In den unterdurchschnittlich durchlüfteten Siedlungsflächen liegt dagegen ein geringer Kaltluftvolumenstrom vor. Die Eindringtiefe des von Kaltluft produzierenden Flächen ausgehenden Volumenstroms entspricht in etwa der des Kaltluftströmungsfeldes.

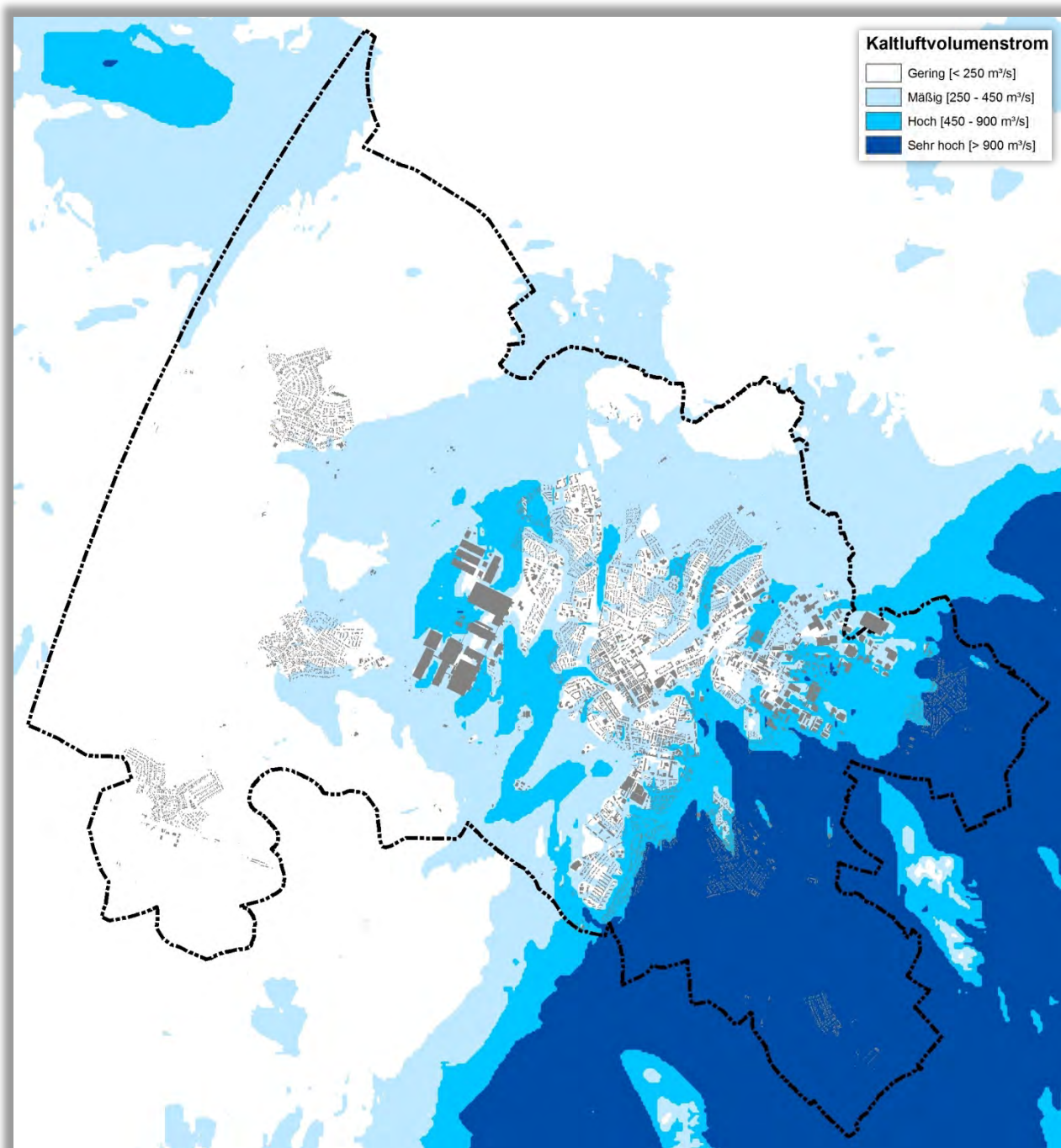


Abb. 16: Kaltluftvolumenstrom zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens



## 5 Klimaökologische Funktionen

Im Folgenden wird auf die Klimafunktionskarte als Hauptergebnis dieser Untersuchung eingegangen. Der Ausarbeitung der klimaökologisch relevanten Strukturen liegt die vorangegangene Klimamodellierung für das Stadtgebiet Rastatt zugrunde. Darin wurden die relevanten meteorologischen Parameter wie Temperaturfeld, Kaltluftvolumenstrom und autochthones Strömungsfeld modelliert und in ihrer flächenhaften Ausprägung dargelegt. Ausgangspunkt der vorliegenden Analyse ist nun die Gliederung des Untersuchungsraumes in bioklimatisch und/oder lufthygienisch belastete Siedlungsräume (**Wirkungsraum**) einerseits und Kaltluft produzierende, unbebaute und vegetationsgeprägte Flächen andererseits (**Ausgleichsräume**). Sofern diese Räume nicht unmittelbar aneinander grenzen und die Luftaustauschprozesse stark genug ausgeprägt sind, können linear ausgerichtete, gering überbaute Freiflächen (**Luftleitbahnen**) beide miteinander verbinden. Aus der Abgrenzung von Gunst- und Ungunsträumen sowie der verbindenden Strukturen ergibt sich somit ein komplexes Bild vom Prozesssystem der Luftaustauschströmungen des **Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüges** im Stadtgebiet Rastatt. Die Klimafunktionskarte bildet dabei den planungsrelevanten Ist-Zustand der Klimasituation ab. Die abgegrenzten klimatischen Funktionsräume sollen dazu beitragen

- die Grün- und Freiflächen entsprechend ihres Kaltluftliefervermögens zu qualifizieren,
- die Wirkungsräume hinsichtlich ihrer bioklimatischen Belastung zu charakterisieren
- sowie die regional und lokal bedeutsamen Luftaustauschbeziehungen zu lokalisieren und in ihrer räumlichen Ausprägung und ihrer bioklimatischen Bedeutung zu bewerten

Die Klimafunktionskarte beinhaltet die klimaökologisch wichtigen Elemente und basiert auf der Analyse des klimatischen Ist-Zustandes in Rastatt. Dabei konzentriert sich die Darstellung auf Elemente und Bereiche, die sich über landschaftsplanerische Maßnahmen positiv beeinflussen lassen (Maßnahmen zum Schutz, zur Sicherung und zur Entwicklung der Schutzgüter Klima und Luft). Somit steht ein Instrument zur Beurteilung von klimatischen Beeinträchtigungen bereit, die bei einer Nutzungsänderung auftreten können. Darüber hinaus stellt sie die Grundlage für ein räumliches Handlungskonzept für den Bereich Stadtklima in der Landschaftsplanung bereit. Der Aufbau der Kartenlegende folgt dem Konzept des Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüges, wobei im Folgenden auf die Inhalte eingegangen wird.

### 5.1 Grün- und Freiflächen

Vegetationsbestandene Freiflächen mit einer nennenswerten Kaltluftproduktion stellen klimaökologische Ausgleichsräume dar und können über Flurwinde die Wärmebelastung in den Siedlungsflächen verringern. Eine hohe langwellige nächtliche Ausstrahlung während austauscharmer Hochdruckwetterlagen führt zu einer starken Abkühlung der bodennahen Luftschicht. Die Gesamtfläche der Kaltluft produzierenden Grünflächen beziffert sich auf etwa 4.469 Hektar, was einem Flächenanteil von rund 76 % des Stadtgebietes entspricht. Dabei werden vor allem die ausgedehnten Freiflächen als Zonen einer sehr hohen Kaltluftlieferung sichtbar. Dies ist auf die intensive Abkühlung zurück zu führen, die mit entsprechenden Kaltluftvolumina einhergehen.



Grünflächen hoher Kaltluftlieferung sind häufig mit den zuvor beschriebenen Arealen vergesellschaftet. Mit einer Gesamtfläche von ca. 847 ha für die sehr hohe und 321 ha für die hohe Kaltluftlieferung beträgt der Flächenanteil dieser Kategorie an der Gesamtgrünfläche ca. 19 % bzw. 7 %.

Die Ausgleichsleistung von Flächen, die eine mäßige Kaltluftlieferung aufweisen, ist ebenfalls als klimaökologisch relevant einzuschätzen. Dies betrifft sowohl vor allem die größeren innerstädtischen Parkareale sowie die an die Kernstadt angrenzenden Grünflächen. Die Flächensumme dieser mittleren Kategorie beträgt ca. 970 Hektar, was einem Anteil von ca. 22 % an der Gesamtgrünfläche entspricht.

Darüber hinaus sind die kleineren Grünflächen, zusammenhängende Hausgärten und nicht überbauten Ruderalflächen mit niedriger Größe und geringen Kaltluftvolumenstrom zu nennen. Diese Areale bilden selten eine eigene Kaltluftströmung und damit einen Einwirkbereich aus, da sie in eine insgesamt wärmere Bebauung eingebettet sind. Durch die isolierte Lage in der Bebauung weisen sie zudem keine Anbindung an vorhandene Leitbahnen auf. Innerhalb von Waldflächen handelt es sich um Bereiche mit unterdurchschnittlicher Strömungsgeschwindigkeit der Kaltluft im Stammraum, was mit entsprechend geringen Werten einhergeht. Einen sehr geringen Kaltluftvolumenstrom weisen mit 2.330 ha etwa 52 % der Grünflächen auf.

Innerhalb von Belastungsbereichen können aber auch diese Flächen eine bedeutsame Funktion als klimaökologische Komfortinseln erfüllen, sofern sie ein Mosaik aus unterschiedlichen Mikroklimaten wie beispielsweise beschattete und besonnte Bereiche oder sogar kühlenden Wasserflächen aufweisen (Mikroklimavielfalt). Durch solche Eigenschaften sind diese im Allgemeinen frei zugänglichen Flächen insbesondere an Sommertagen mit einer hohen Einstrahlungsintensität und damit einher gehenden Wärmebelastung im Innenstadtbereich wichtig. Tabelle 8 fasst die ausgewiesenen Kategorien zusammen:

Kaltluftlieferung	Gesamtgröße der Klasse in Hektar	Anteil am Grünflächenbestand
Sehr hoch	847	19 %
Hoch	321	7 %
Mäßig	970	21 %
Gering	2.330	52 %

Tab. 8 Qualitative Einordnung der Kaltluftlieferung von Grünflächen im Stadtgebiet Rastatt

Somit führen unterschiedliche Struktureigenschaften der Grünflächen zu einem Mosaik aus Flächen unterschiedlicher Kaltluftdynamik. Die einzelnen (Teil-) Areale innerhalb eines Kaltlufteinzugsgebietes besitzen in ihrer Summenwirkung eine Entlastungsfunktion für benachbarte und weiter entfernte Siedlungsräume.

## 5.2 Siedlungsräume

Ein erholsamer Schlaf ist nur bei günstigen thermischen Bedingungen möglich, weshalb der Belastungssituation in den Nachtstunden eine besondere Bedeutung zukommt. Da die klimatischen





Verhältnisse der Wohnungen in der Nacht im Wesentlichen nur durch den Luftwechsel modifiziert werden können, ist die Temperatur der Außenluft der entscheidende Faktor bei der Bewertung der thermophysiologischen Belastung. Entsprechend spiegelt die Beurteilung des Bioklimas weniger die thermische Beanspruchung des Menschen im Freien wider, als vielmehr die positive Beeinflussbarkeit des nächtlichen Innenraumklimas.

Wie in Kap. 3.3.2 beschrieben, ist die bioklimatische Belastungssituation der Baublöcke auf Basis der nächtlichen Überwärmung ausgewiesen worden. Damit ergibt sich eine räumliche Untergliederung des Siedlungsraumes in bioklimatisch belastete Bereiche einerseits sowie unbelastete bzw. lediglich gering belastete andererseits. Letztere sind, durch von Kaltluft produzierenden Grünflächen ausgehende Kaltlufteinwirkbereiche, nur gering überwärmt und durch eine ausreichende Durchlüftung gekennzeichnet. Kaltlufteinwirkbereiche innerhalb der Bebauung sind durch die Schraffur gekennzeichnet. Am Ende einer warmen Sommernacht werden bis 04 Uhr ca. 34 % des Siedlungsraums mit Kalt-/Frischlufte versorgt und befinden sich damit im Einwirkbereich von Flurwinden und lokalen Kaltluftabflüssen.

Die Reichweite einer Kaltluftströmung in die Bebauung hängt vor allem vom Ausmaß der Kaltluftdynamik ab. Sie ist bei Flurwinden mit Bezug zu großräumigen Kaltluftentstehungsgebieten wie den landwirtschaftlichen Nutzflächen des Umlandes am intensivsten. Die Eindringtiefe der Kaltluft beträgt, abhängig von der Bebauungsstruktur, zwischen ca. 100 m und bis zu 700 m. Darüber hinaus spielt auch die Hinderniswirkung des angrenzenden Bebauungstyps eine wesentliche Rolle. In den peripheren, vergleichsweise gering überbauten dörflichen Ortsteilen erfolgt häufig ein flächenhaftes Eindringen von Kaltluft in den Siedlungsraum. Mit Blick auf die gesamtstädtische Situation ist die bioklimatische Belastung bei einer Einzel- und Reihenhausbauung mit einem vergleichsweise niedrigen Versiegelungsgrad und hohem Grünanteil am geringsten ausgeprägt.

Diesen Gunsträumen stehen Belastungsbereiche mit einer überdurchschnittlichen Wärmebelastung und einem Durchlüftungsdefizit gegenüber. Dies betrifft vor allem die Innenstadt sowie Stadtteilzentren, in denen bioklimatisch weniger günstige bzw. ungünstige Bedingungen vorliegen. Diese resultieren aus dem hohen Überbauungs- und Versiegelungsgrad sowie einer in Teilen unzureichenden Durchlüftung. Dabei treten auch die größeren Gewerbe- und Industriearale mit einer Belastungssituation hervor, da sie oftmals eine ähnlich verdichtete Bebauungsstruktur und hohe Versiegelungsgrade wie eine Zentrumsbebauung aufweisen.

Abbildung 17 zeigt einen Ausschnitt aus der Klimaanalysekarte, wobei die bioklimatische Situation der Siedlungsräume mit einer Farbabstufung dargestellt ist. Die stärkste Überwärmung ist im Umfeld des Marktplatzes anzutreffen (Dunkelrot), während die Bebauung am Rand der Kernstadt eine deutlich günstigere Situation zeigt. Wesentliche Teile der Wohnbebauung weist eine mäßige Überwärmung auf (Dunkelorange). Der Einwirkbereich der Kaltluft ist mit einer Schraffur dargestellt.

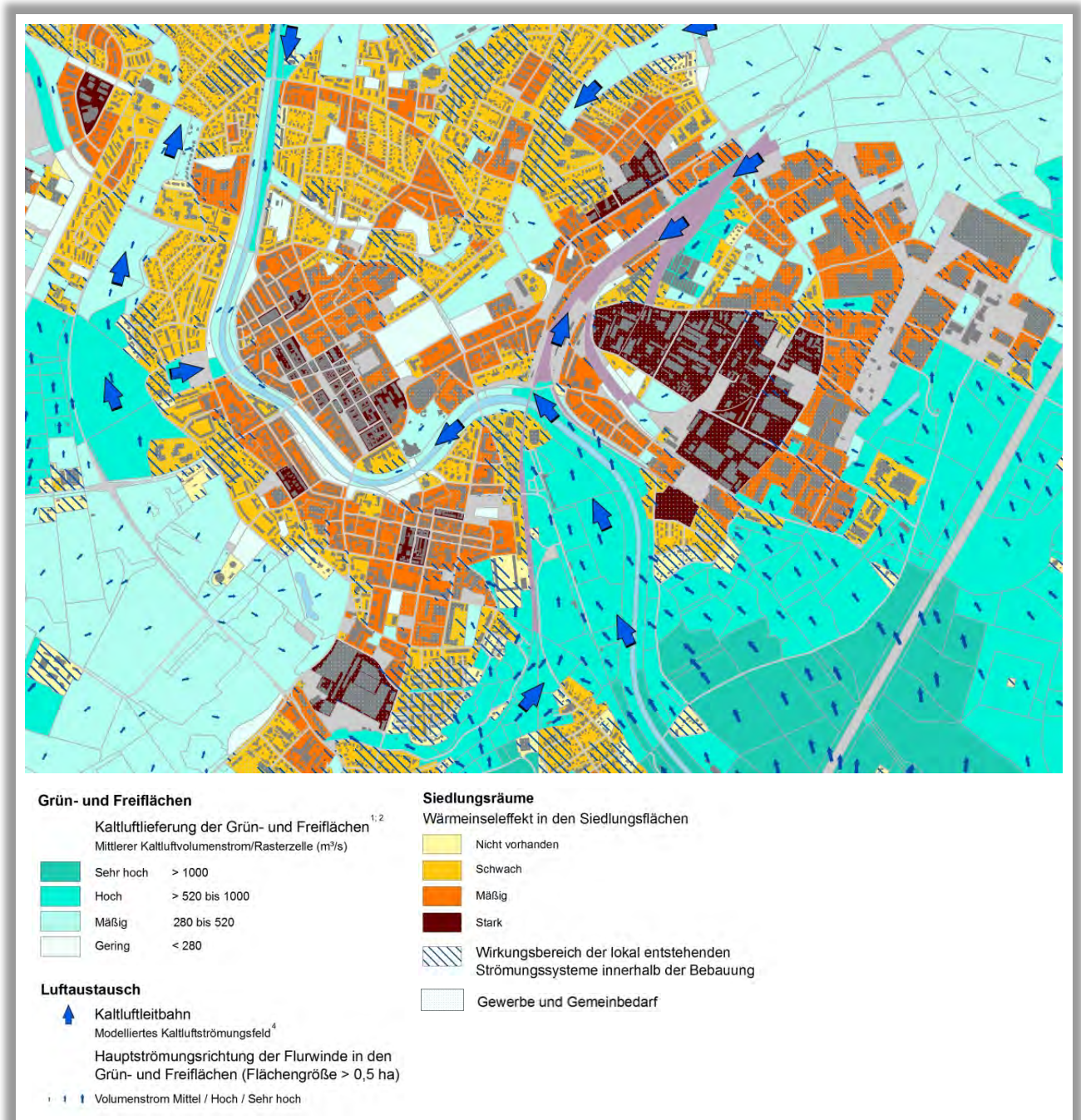


Abb. 17: Klimafunktionen im Bereich der Kernstadt



### 5.3 Luftaustausch

Strukturen, die den Luftaustausch ermöglichen und Kaltluft an die Siedlungsbereiche heranführen, sind das zentrale Bindeglied zwischen Ausgleichsräumen und bioklimatisch belasteten Wirkungsräumen. Kaltluftleitbahnen sollten daher einen generell geringen Überbauungsgrad und einen hohen Grünflächenanteil aufweisen sowie linear auf Wirkungsräume ausgerichtet sein. Grundsätzlich kommen Tal- und Niederungsbereiche, größere Freiräume aber auch ausgedehnte Gleisareale als geeignete Strukturen in Frage. Im Rahmen der Klimaanalyse wurden insgesamt 6 Leitbahnen ausgewiesen:

- Freifläche westlich Zaystraße (1)
- Grünareal westlich Waldfriedhof (2)
- Gleisanlage südlich Karlsruher Straße (3)
- Südliche Murniederung (4)
- Freifläche westlich Niederbühl / Südring (5)
- Grünfläche entlang Oberwaldstraße (6)

Es erfolgt hingegen keine Leitbahnausweisung für Bereiche, wo Kaltluft von Grünflächen direkt in die Bebauung strömt. In diesen Fällen grenzen Ausgleichs- und Wirkungsräume direkt aneinander, so dass eine Leitbahnausweisung nicht möglich ist. Dies ist häufig bei den innerstädtischen Grünflächen gegeben. Die Klimafunktionskarte für das gesamte Stadtgebiet ist dem separaten Kartenanhang zu entnehmen.



## 6 Planungshinweiskarte Stadtklima

Innerstädtische und siedlungsnaher Grünflächen haben eine wesentliche Wirkung auf das Stadtklima und beeinflussen die direkte Umgebung in mikroklimatischer Sicht positiv. Die Planungshinweiskarte Stadtklima stellt eine integrierende Bewertung der in der Klimafunktionskarte dargestellten Sachverhalte im Hinblick auf planungsrelevante Belange dar. Aus ihr lassen sich Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen zur Verbesserung von Klima und - über die Effekte der Verdünnung und des Abtransportes - auch der Luft ableiten. Dem Leitgedanken dieser Bemühungen entsprechen die Ziele zur

- Sicherung,
- Entwicklung und
- Wiederherstellung

klimaökologisch wichtiger Oberflächenstrukturen. Die zugeordneten Planungshinweise geben Auskunft über die Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen, aus denen sich klimatisch begründete Anforderungen und Maßnahmen im Rahmen der räumlichen Planung ableiten lassen.

### Allgemeines zur siedlungsklimatischen Rolle von Stadtgrün

Während über den von Wiese oder Acker geprägten Arealen am Tage durch die intensive Einstrahlung und dem Mangel an Verschattung ähnlich hohe Werte wie in den verdichteten Siedlungsflächen auftreten können, ist dort gleichzeitig in der Nachtsituation die stärkste Abkühlung zu erwarten. Hier kann einerseits in der Nacht eine ungehinderte (langwellige) Ausstrahlung verbunden mit starker Abkühlung der darüber lagernden Luftmasse erfolgen. Am Tage ist andererseits ein hoher (kurzwelliger) solarer Strahlungsinput mit starker Erwärmung der Bodenoberfläche die Folge (vgl. Temperaturverlauf Abb. 7, S. 12).

Andererseits weisen die durch Bäume und Gehölze geprägten Flächen an wolkenlosen Sommertagen mit starker Sonneneinstrahlung aufgrund der Schattenspende und der Verdunstung von Wasser das geringste Belastungspotential auf. Damit kommt den innerstädtischen Grünflächen vor allem in den stärker überbauten Quartieren eine wichtige Rolle zu. Zur Aufwertung der Aufenthaltsqualität sollten vor allem innerhalb der Quartiersplätze ausreichend große beschattete Areale ausgebildet werden. Insbesondere das Gehen/Radfahren im Schatten sollte möglich sein. Dabei sind vor allem lockere, hochstämmige Baumgruppen und Baumalleen als Beschattungselemente sinnvoll. Darüber hinaus sollten größere Grünflächen auch ein Mosaik aus unterschiedlichen Mikroklimaten wie beispielsweise beschattete und besonnte Bereiche oder kühlende Wasserflächen aufweisen, um den unterschiedlichen Bedürfnissen der Menschen hinsichtlich des Aufenthaltes im Freien entgegen zu kommen (Mikroklimavielfalt).

Damit wird die unterschiedliche Bedeutung bzw. Bedeutung von Grünflächen am Tage bzw. in der Nacht deutlich. Einerseits sollen sie eine gute Aufenthaltsqualität am Tage gewährleisten, andererseits könne nächtliche Flurwinde die Wärmebelastung in den Siedlungsräumen lindern. Die Mindestgröße zur Ausbildung einer Kaltluftströmung lässt sich auf etwa 1 ha beziffern (SCHERER 2007). Abgesehen von der Flächengröße wird dies aber auch durch die grünplanerische Ausgestaltung mitbestimmt. Sofern ein bedeutsamer Luftaustausch durch Flurwinde stattfinden kann, sollte dieses (eigenbürtige)





Luftaustauschsystem Grünfläche – angrenzende Bebauung und die damit verbundene klimaökologische Wohlfahrtswirkung aufrechterhalten werden. In diesem Zusammenhang und in Bezug auf die nächtliche Kaltluftproduktion weist ein vorwiegend durch Wiese geprägter Flächentyp die besten Eigenschaften auf. Da auch von dichteren Vegetationselementen eine Hinderniswirkung für den Luftaustausch ausgehen kann, sollte der Übergangsbereich zur Bebauung von Grünstrukturen wie dichten Baumgruppen, Gehölzen oder hohen Hecken weitestgehend frei gehalten werden. Abbildung 18 zeigt einen Ausschnitt aus der Planungshinweiskarte für den Bereich Rastatt-Süd.

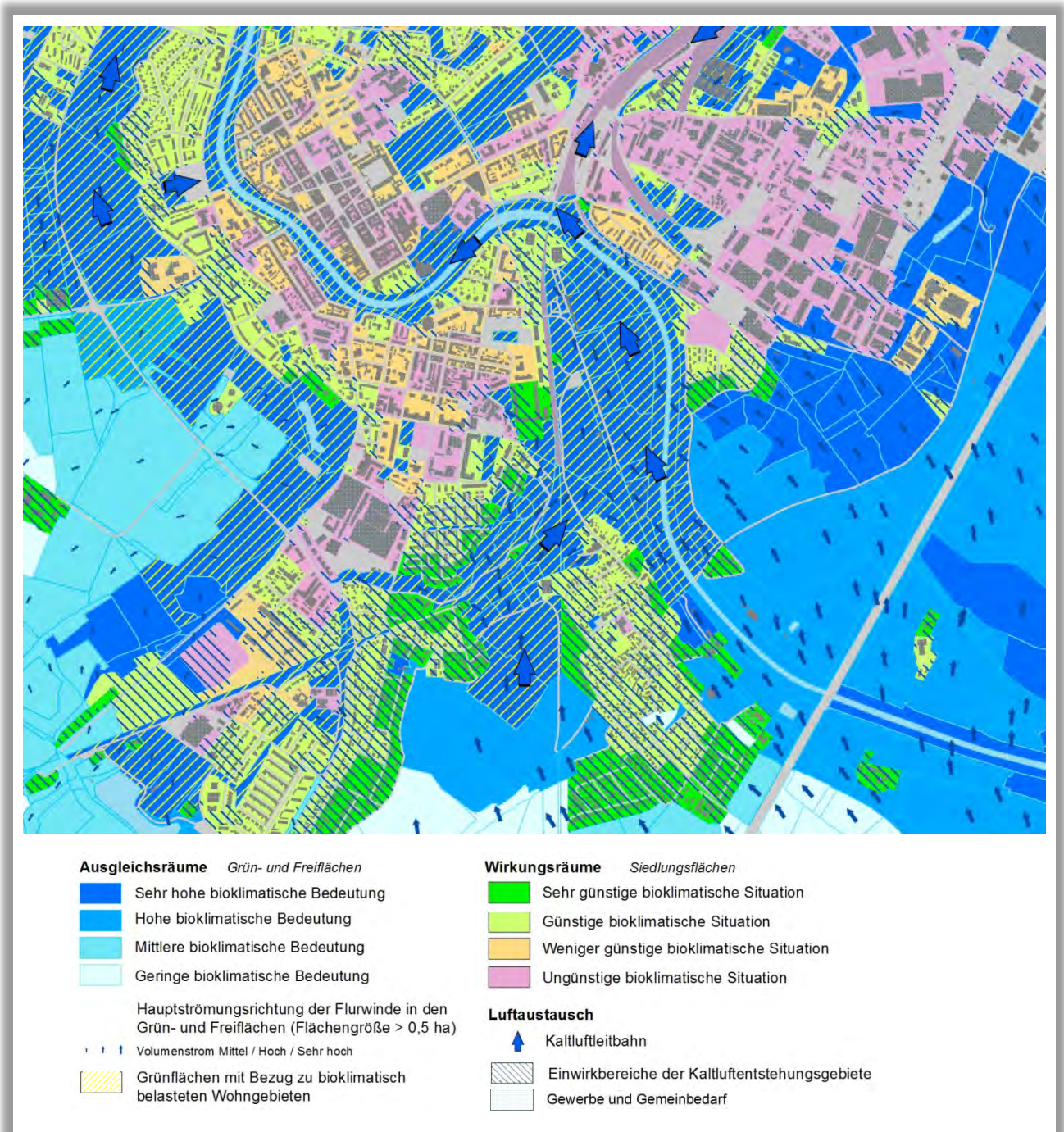


Abb. 18: Planungshinweise im Bereich Rastatt-Süd

In Folgendem wird auf die planerische Einordnung der klimaökologisch relevanten Elemente in Rastatt eingegangen. Basis für die Beurteilung und Abgrenzung der Räume hinsichtlich ihrer planerischen



Prioritäten sind die Simulationsergebnisse der Klimaparameter für eine austauscharme sommerliche Strahlungswetterlage. Die Legende folgt dabei dem Konzept des Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüges.

## 6.1 Grün- und Freiflächen

### Planerische Einordnung der Grünflächen

Zur Bewertung der klimaökologischen Charakteristika der Grünflächen<sup>2</sup> im Hinblick auf planungsrelevante Belange bedarf es einer Analyse der vorhandenen Wirkungsraum-Ausgleichsraum-Systeme im Untersuchungsgebiet. Kaltluft, die während einer Strahlungsnacht innerhalb der Freiräume entsteht, kann nur dann von planerischer Relevanz sein, wenn den Flächen ein entsprechender Siedlungsraum zugeordnet ist, der von ihren Ausgleichsleistungen profitieren kann. Für die Bewertung der bioklimatischen Bedeutung von grünbestimmten Flächen wird ein teilautomatisierbares Verfahren angewendet, das sich wie folgt skizzieren lässt:

#### Sehr hohe bioklimatische Bedeutung:

1. Ermittlung von Siedlungsräumen mit „*bioklimatisch ungünstigen*“ Verhältnissen
2. Ermittlung der an (1) *angrenzenden Grünflächen* (Toleranz = 300 m).  
Grünflächen im Umfeld von bioklimatisch ungünstigen Siedlungsräumen kommt grundsätzlich eine hohe Bedeutung zu. Sie sind geeignet, unabhängig von ihrem Kaltluftliefervermögen ausgleichend auf das thermische Sonderklima in ihrem meist dicht bebauten Umfeld zu wirken.
3. Ermittlung von *Leitbahnen*  
Leitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete (Ausgleichsräume) und Belastungsbereiche (Wirkungsräume) miteinander und sind somit elementarer Bestandteil des Luftaustausches. Die Ausweisung der Leitbahnbereiche erfolgt manuell und orientiert sich an der Ausprägung des autochthonen Strömungsfeldes der FITNAH-Simulation.
4. Allen Grünflächen aus (2) und (3) wird eine **sehr hohe bioklimatische Bedeutung** zugesprochen.

#### Hohe bioklimatische Bedeutung

5. Ermittlung von Siedlungsräumen mit „*bioklimatisch weniger günstigen*“ Verhältnissen
6. Ermittlung der an (5) *angrenzenden Grünflächen* (Toleranz = 50 m).  
Wie unter (2) erfolgt die Einstufung auch dieser Flächen unabhängig von der flächeninternen Ausprägung der Klimaparameter
7. Ermittlung der an (2), (3) und (6) direkt *angrenzenden Grünflächen (Umfeldflächen)*.  
Bereiche, die zur Ausweisung von „Kaltluftquellgebieten“ der besonders bedeutenden Flächen dienen.
8. Grünflächen aus (6) wird generell eine **hohe bioklimatische Bedeutung** zugesprochen
9. Grünflächen aus (7) wird eine **hohe bioklimatische Bedeutung** zugesprochen, wenn sie einen hohen Kaltluftvolumenstrom (Karte 4) aufweisen

#### Mittlere bioklimatische Bedeutung

10. Grünflächen aus (7) wird eine **mittlere bioklimatische Bedeutung** zugesprochen, wenn sie eine hohe Kaltluftproduktionsrate (Karte 2) aufweisen

---

<sup>2</sup> Als „Grünfläche“ werden hier unabhängig von ihrer jeweiligen Nutzung all jene Flächen bezeichnet, die sich durch einen geringen Versiegelungsgrad von maximal etwa 25 % auszeichnen. Neben Parkanlagen, Kleingärten, Friedhöfen und Sportanlagen umfasst dieser Begriff damit auch landwirtschaftliche Nutzflächen sowie Forsten und Wälder.





11. Waldflächen werden – wenn sie nicht bereits in eine der vorgenannten Kategorien fallen – pauschal ebenfalls eine **mittlere bioklimatische Bedeutung** zugesprochen.

Wald kommt generell eine von der Stärke des nächtlichen Kaltluftliefervermögens unabhängige bioklimatische Ausgleichsleistung als Frischluftproduzent und Erholungsraum zu.

Freiflächen, die keinem der oben genannten Kriterien entsprechen, wird eine nur **geringe bioklimatische Bedeutung** zugesprochen.

Die nach diesem vereinfachten Verfahren ermittelte bioklimatische Bedeutung der Freiräume basiert zum einem auf ihrer Lage in Bezug zu bioklimatisch belasteten Siedlungsstrukturen, zum anderen auf der flächeninternen Ausprägung der Klimaparameter, d.h. im Wesentlichen auf ihrem Kaltluftliefervermögen. Diese Unterscheidung wurde getroffen, weil die flächeninternen Klimaparameter nicht in allen Bereichen

gleichermaßen aussagekräftig sind.

So kann eine Grünfläche trotz relativ geringem Kaltluftliefervermögen in einem ansonsten stark überbauten Umfeld signifikant zur Verminderung der dort auftretenden hohen Belastungen beitragen. Aus diesem Grund wurden Freiräume im direkten Umfeld von Siedlungsbereichen mit ungünstigen bioklimatischen Verhältnissen generell eine hohe bioklimatische Bedeutung zugesprochen. Somit verfügt eine in ihrer bioklimatischen Bedeutung als „Sehr hoch“ eingestufte Grünfläche über einen direkt zugeordneten, bioklimatisch stark belasteten Wirkungsraum.

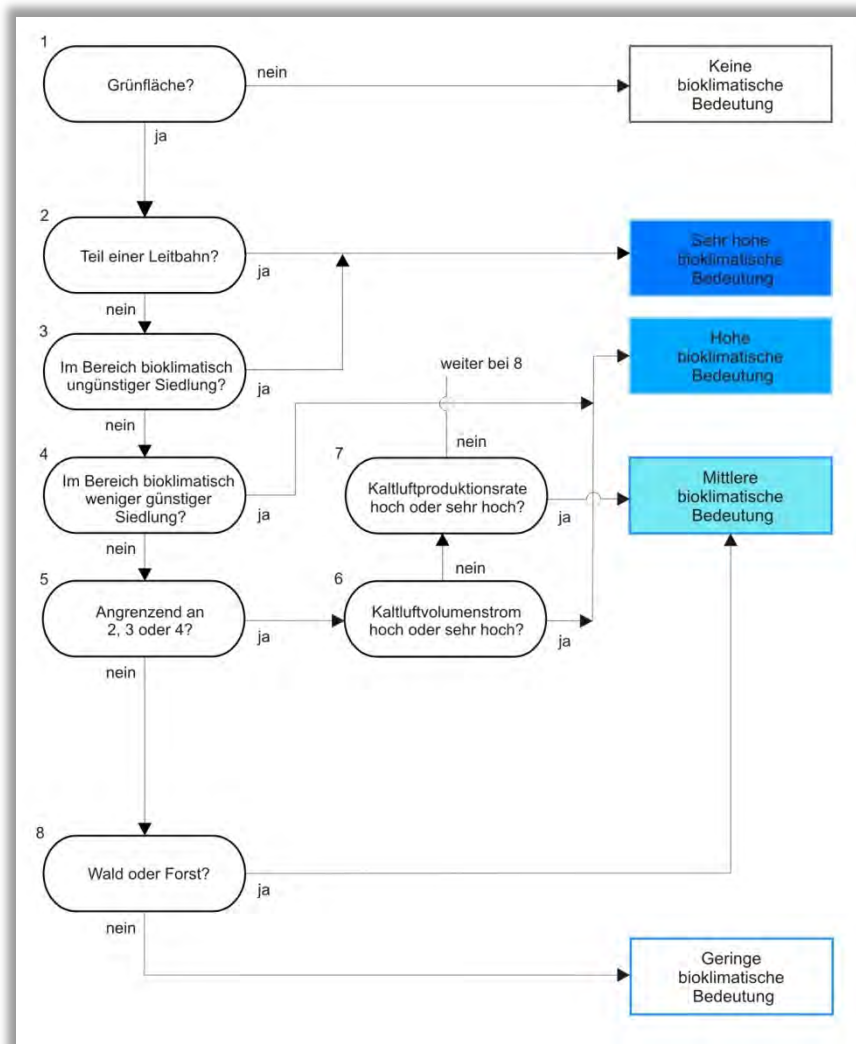


Abb. 19: Vereinfachtes Verknüpfungsmodell zur Ermittlung der bioklimatischen Bedeutung der Grünflächen

Eine als „Hoch“ eingestufte Grünfläche verfügt entweder über einen direkt zugeordneten, bioklimatisch belasteten Wirkungsraum oder weist ein überdurchschnittliches Kaltluftliefervermögen auf und ist gleichzeitig als Ausgleichsraum oder Kaltluftquellgebiet einzustufen. Darüber hinaus sind die Kaltluftliefergebiete mit Bezug zu bioklimatisch belasteten Siedlungsflächen mit einer Schraffur versehen.



## Bilanzierung der Grünflächen für das Stadtgebiet Rastatt

Eine sehr hohe stadtklimatische Bedeutung erlangen die Grün- und Freiflächen mit Einfluss auf bioklimatisch belastete Siedlungsräume bzw. in einer Funktion als Kaltluftleitbahn. Die Gesamtgröße dieser Teilflächen beziffert sich auf ca. 684 Hektar.

Eine hohe Bedeutung kommt vor allem daran angrenzenden Arealen zu, welche eine Funktion als Kaltluftquellgebiete mit hohem Kaltluftliefervermögen für Kaltluftleitbahnen aufweisen. Die Gesamtfläche von Grünflächen hoher Bedeutung beträgt 430 ha.

Eine mittlere stadtklimatische Bedeutung weisen vor allem die Waldflächen auf. Diese Kategorie ist mit insgesamt 1.845 ha am gesamten Grünflächenbestand vertreten.

Als vierte Kategorie werden Grün- und Freiflächen mit einer geringen stadtklimatischen Bedeutung ausgewiesen. Dabei handelt es sich um meist siedlungsferne Freiflächen, welche keinen nennenswerten Einfluss auf - belastete - Siedlungsbereiche ausüben. Dies sind vor allem die landwirtschaftlich genutzten Flächen am Stadtrand. Tabelle 9 fasst die Flächenanteile der ausgewiesenen Kategorien zusammen:

Bewertung	Anteil am Grünflächenbestand
Sehr hoch	15 %
Hoch	10 %
Mittel	41 %
Gering	34 %

Tab. 9: Bilanzierung der planerisch relevanten Grünflächen

Somit lässt sich ca. 15 % des Grünflächenbestandes der höchsten planerischen Priorität zuordnen, während 10,0 % eine hohe Bedeutung aufweisen. Grün- und Freiflächen mit einer mittleren Bedeutung haben einen Anteil von 41 % am Gesamtbestand, während 34 % eine Randlage bzw. geringe Relevanz für Siedlungsflächen besitzen.

## 6.2 Siedlungsräume

Das Stadtgebiet zeichnet sich durch eine heterogene Bebauungsstruktur aus. Daraus resultieren unterschiedliche bioklimatische Bedingungen, die während sommerlicher, windschwacher Strahlungswetterlagen durch lokale Luftaustauschprozesse mitbestimmt werden. Daraus folgt auch eine differenzierte planerische Betrachtung (vgl. Kap.3.3.2).

Eine Wohnbebauung, welche sehr **günstige oder günstige bioklimatische Bedingungen** aufweist, ist meist durch eine offene Bebauungsstruktur, einen überdurchschnittlich hohen Grünflächenanteil sowie eine wirksame Kaltluftströmung gekennzeichnet.



Diese Räume weisen am ehesten ein Potenzial zur weiteren maßvollen, baulichen Verdichtung auf, da sie lediglich **gering** bzw. **nicht belastet** sind. Um das günstige Bioklima zu erhalten, sollten die folgenden planerischen Aspekte berücksichtigt werden:

- Bei nutzungsintensivierenden Eingriffen die Baukörperstellung im Hinblick auf Kaltluftströmungen berücksichtigen. Daher Neubauten parallel zur Kaltluftströmung ausrichten.
- Bauhöhen möglichst gering halten.
- Grün- und Freiflächenanteil erhalten.

**Belastungsbereiche** weisen hingegen einen Durchlüftungsmangel, eine überdurchschnittliche Wärmebelastung und lokal auch eine lufthygienische Belastung auf. Unterschieden werden Siedlungsräume mit weniger günstigen bioklimatischen Bedingungen sowie ungünstigen Verhältnissen als höchste Belastungskategorie.

Für diese Gebiete können die folgenden Empfehlungen gegeben werden:

- Verbesserung der Durchlüftung und Erhöhung des Vegetationsanteils
- Erhalt aller Freiflächen
- Reduzierung/Vermeidung von Emissionen
- Herabsetzung des Versiegelungsgrades und ggf. Begrünung von Blockinnenhöfen
- Verbesserung im Bestand z.B. durch Dach- und Fassadenbegrünung
- Möglichst keine weitere Verdichtung

Diese Bereiche weisen daher gegenüber einer weiteren Nutzungsintensivierung eine **hohe** (mäßig bis hoch belastet) bzw. die **höchste Empfindlichkeit** (hoch bis sehr hoch belastet) auf.

### 6.3 Luftaustausch

**Kaltluftleitbahnen** stellen die Verbindung zwischen Ausgleichsräumen und bioklimatisch belasteten Wirkungsräumen her, wobei Niederungsbereiche, größere Grünflächen sowie Bahnareale als geeignete Strukturen in Frage kommen. In diesem Zusammenhang dienen Leitbahnen im Stadtgebiet Rastatt für die Zufuhr von Kaltluft aus dem stadtnahen Umland, sofern kein flächenhaftes Einströmen in den Siedlungsraum erfolgt. Im Rahmen der Klima- und Windfeldmodellierung sind die in Kap. 5.3 genannten Leitbahnen ermittelt worden.

Für alle Leitbahnen gelten die folgenden Planungshinweise:

- Vermeidung baulicher Hindernisse, die einen Kaltluftstau verursachen könnten
- Bauhöhe möglichst gering halten
- Neubauten parallel zur Kaltluftströmung ausrichten
- Randbebauung möglichst vermeiden
- Erhalt des Grün- und Freiflächenanteils



## 6.4 Nutzungshinweise für die Bauleitplanung

Die Planungshinweiskarte stellt die stadtklimatisch relevanten Strukturen mit ihrer jeweiligen Bedeutung dar und erlaubt im Falle einer Nutzungsänderung die Ersteinschätzung der Empfindlichkeit von Grün- und Siedlungsflächen. Aufgrund ihrer wichtigen lokalklimatischen Funktionen sowie der Rolle im Stadtökosystem insgesamt sollte die Überbauung von Grünflächen aber grundsätzlich vermieden werden. Sind dennoch konkrete Eingriffe vorgesehen, können entsprechende zu berücksichtigende Maßnahmen aus der jeweiligen Empfindlichkeit im Plangebiet abgeleitet werden, gleiches gilt für die Siedlungsflächen.

Mit der durchgeführten Analyse der klimaökologischen Funktionen stehen flächendeckend aktuelle Informationen zu den Schutzgütern Klima und Luft für das gesamte Stadtgebiet Rastatt zur Verfügung. Damit wird eine fundierte klimatische Ersteinschätzung von Planungsvorhaben ermöglicht und kann anschließend in die Detailplanung von Flächennutzungsänderungen einfließen.

### Allgemeine Maßnahmen zur Verringerung der Wärmebelastung im Siedlungsraum

Während am Tage die direkte, kurzweilige Strahlung der Sonne wirksam ist, geben nachts Bauwerke und versiegelte Oberflächen die tagsüber gespeicherte Energie als langweilige Wärmestrahlung wieder ab. Durch die Verringerung des Wärmeinputs am Tage wird gleichzeitig weniger Strahlungsenergie in der Baumasse gespeichert und in der Nacht auch weniger Wärme an die Luft abgegeben.

Die für die belasteten Bereiche abzuleitenden Hinweise zielen deshalb vor allem darauf ab, einerseits durch zusätzliche Verschattung die Aufenthaltsqualität im Freien zu steigern und andererseits den Gebäudebestand hitzeangepasst zu gestalten:

- Keine weitere Verdichtung der Bebauung und gleichzeitige Erhöhung des Vegetationsanteils
- Erhalt aller Freiflächen
- Entsiegelung von Blockinnenhöfen und Straßenraum
- Straßenbäume erhalten und Lücken schließen
- Verbesserung der wohnungsnahen Grünflächenversorgung

Zudem lässt sich über die Verwendung von hellen Baumaterialien die Reflexion des Sonnenlichtes (Albedo) erhöhen, so dass ebenerdig versiegelte Flächen oder auch Fassaden stärker zurückstrahlen. Dadurch bleiben sie am Tage kühler und nehmen damit insgesamt weniger Wärmeenergie auf.

### Bedeutung von Dach- und Fassadenbegrünung

Zu den weiteren effektiven Maßnahmen, die Erwärmung der Gebäude am Tage abzuschwächen, zählen Dach- und Fassadenbegrünung. Letztere wirkt zweifach positiv auf einen Gebäudebestand ein, da einerseits durch die Schattenspende die Wärmeeinstrahlung am Tage reduziert wird und andererseits über die Verdunstungskälte des Wassers Wärme abgeführt wird. Eine Fassadenbegrünung ist insbesondere an West- und Südfassaden wirksam, da hier die stärkste Einstrahlung stattfindet. Darüber hinaus mindert eine Begrünung die Schallreflexion und damit die Lärmbelastung und kann zu einem gewissen Grad Stäube und Luftschadstoffe binden.

Bei der Dachbegrünung wirkt die Vegetation zusammen mit dem Substrat isolierend und verringert damit das Aufheizen darunter liegenden Wohnraums. Zudem senkt die Dachbegrünung die



Oberflächentemperatur des Daches aufgrund der Verdunstung von Wasser ab und verringert die Temperatur in der oberflächennahen Luftschicht. Voraussetzung dafür ist allerdings ein ausreichendes Wasserangebot für die Vegetation. Sollte bei längeren Hitzeperioden die Vegetation austrocknen, steigen die Temperaturen wieder auf das Niveau eines normalen Daches an und können sogar darüber hinausgehen. Der Kühlungseffekt für die Innenräume bleibt dabei aber erhalten. Im Winter isoliert ein Gründach zusätzlich und kann zur Senkung des Heizbedarfes beitragen. Ein weiterer Vorteil von Dachbegrünung ist im Retentionsvermögen von Regenwasser zu sehen, wodurch die Kanalisation vor allem bei Starkregenereignissen entlastet wird.



## 7 Fazit

Die vorliegende Untersuchung hat die klimaökologischen Funktionszusammenhänge im Stadtgebiet Rastatt während austauscharmer, sommerlicher Hochdruckwetterlagen dargelegt. Durch die Zufuhr von frischer und kühlerer Luft können klimaökologische Ausgleichsleistungen für die Belastungsräume erbracht werden. In diesem Rahmen sind bioklimatisch belastete Siedlungsräume einerseits sowie entlastende, Kaltluft produzierende Flächen andererseits ausgewiesen worden. Insgesamt gesehen ist das klimatische Ausgleichspotenzial der umgebenden Freiflächen als hoch anzusehen. Jedoch weisen Teilräume des Untersuchungsgebietes ein erhöhtes bioklimatisch Belastungspotenzial in der Nacht auf, wobei die Überwärmung in 5 % der Siedlungsflächen als stark und in 20 % als mäßig angesehen werden kann (Abb. 20).

In der Gesamtbewertung, welche auch die bioklimatische Situation am Tage mit einbezieht, sind 26 % der Bebauung als stark belastet und 11 % als mäßig belastet einzuordnen. Letztendlich weisen aber 63 % des Siedlungsraums vorwiegend günstige Bedingungen auf.

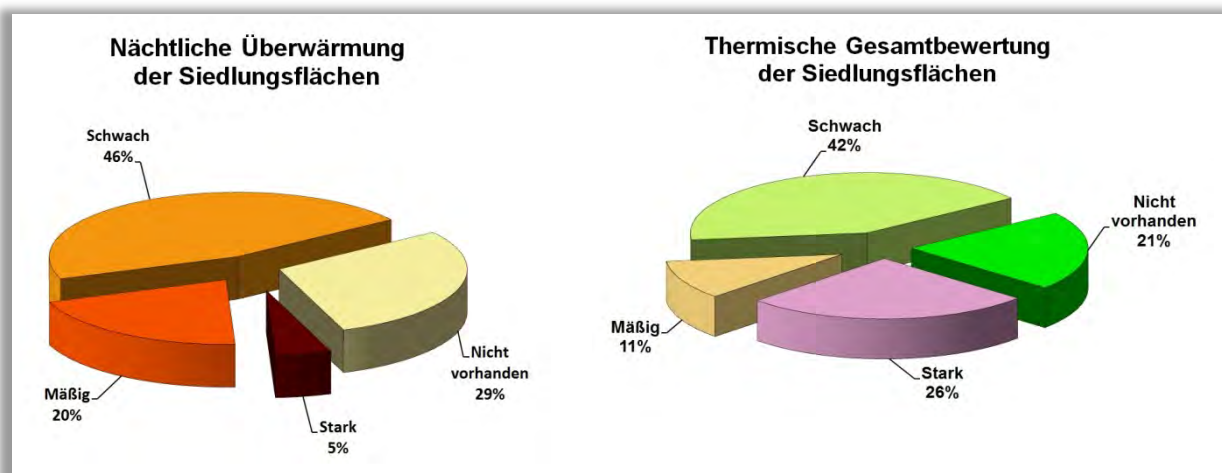


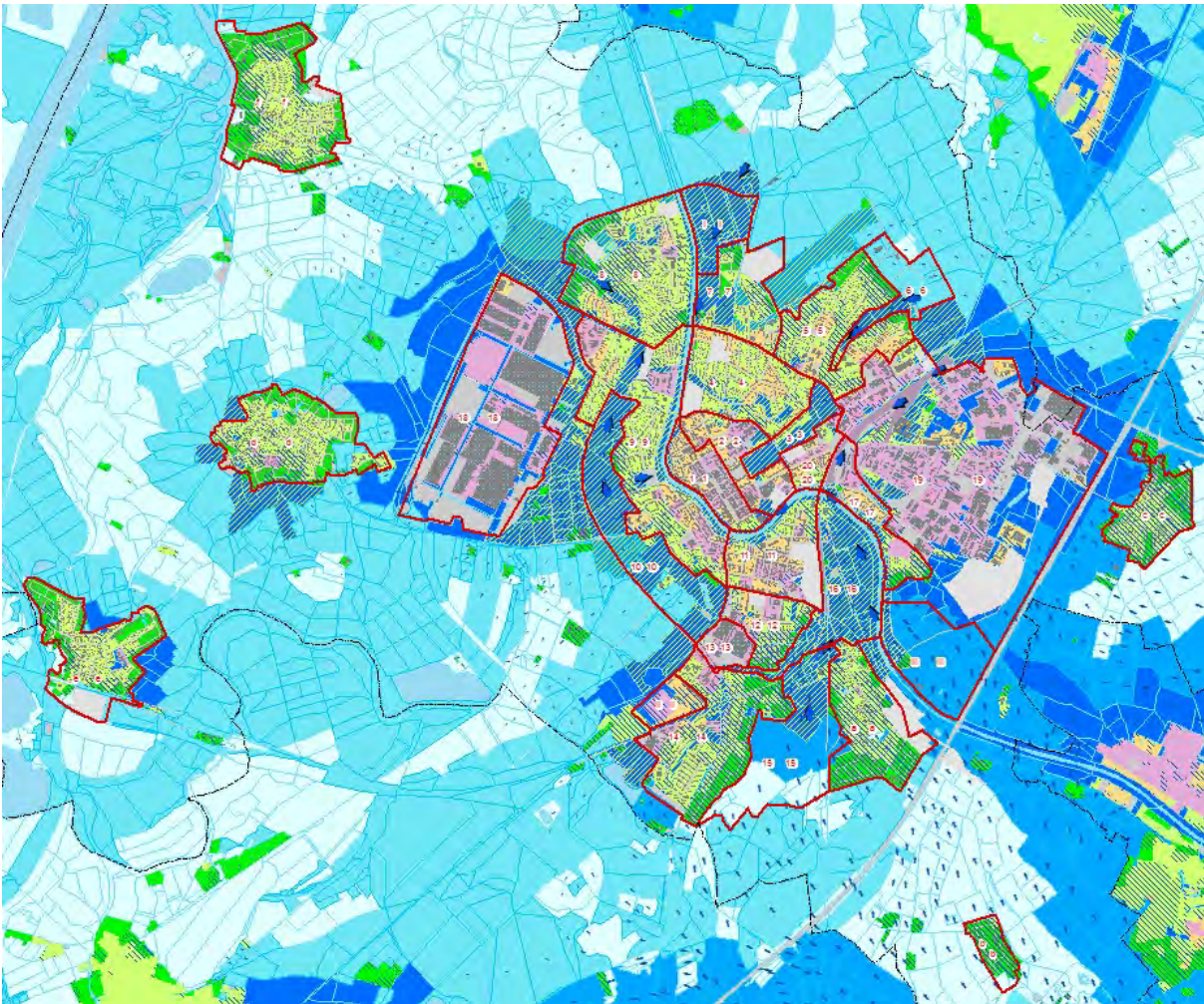
Abb. 20: Flächenbilanz der bioklimatischen Situation

Des Weiteren befinden sich 34 % der Siedlungsfläche bis 04:00 Uhr morgens im Einwirkungsbereich von Flurwinden und lokalen Kaltluftabflüssen. Aufgrund der Tatsache, dass die Stadtstruktur vorwiegend durch eine eher gering verdichtete Wohnbebauung geprägt ist und sich die wenigen ungünstigen Bereiche vorwiegend auf die Innenstadt und die Gewerbegebiete begrenzen, ist die bioklimatische Situation insgesamt als moderat einzustufen. Auch vor dem Hintergrund des sich abzeichnenden Klimawandels ist eine klimagerechte Stadtentwicklung auch für eine eher kleine bis mittelgroße Stadt wie Rastatt relevant. Als klimaökologisches Qualitätsziel ergibt sich die Sicherung, Entwicklung und Wiederherstellung wichtiger Oberflächenstrukturen zur Verbesserung bzw. Erhaltung bioklimatisch günstiger Verhältnisse sowie der Luftqualität. Durch die Kenntnis der wichtigen, das klimaökologische Prozessgeschehen steuernden Strukturelementen wie Kaltluftentstehungsflächen, Luftleitbahnen und Komforträumen sowie ihrer qualitativen Einordnung steht mit der vorliegenden Untersuchung eine wichtige Grundlage zur Umsetzung dieser Ziele bereit.





## 8 Teilflächen für klimaökologische Planaussagen (Steckbriefe)



Basierend auf der vorliegenden Analyse des Stadtklimas von Rastatt werden in diesem Anhang Teilbereiche der Planungshinweiskarte detailliert dargestellt. Für den jeweiligen Stadtbereich werden klimaökologische Planaussagen auf Basis der hier erläuterten Planungshinweiskarte gegeben.

Die Ausweisung der Flächen erfolgte durch die Stadt Rastatt.

### Thermische Situation in den Teilbereichen

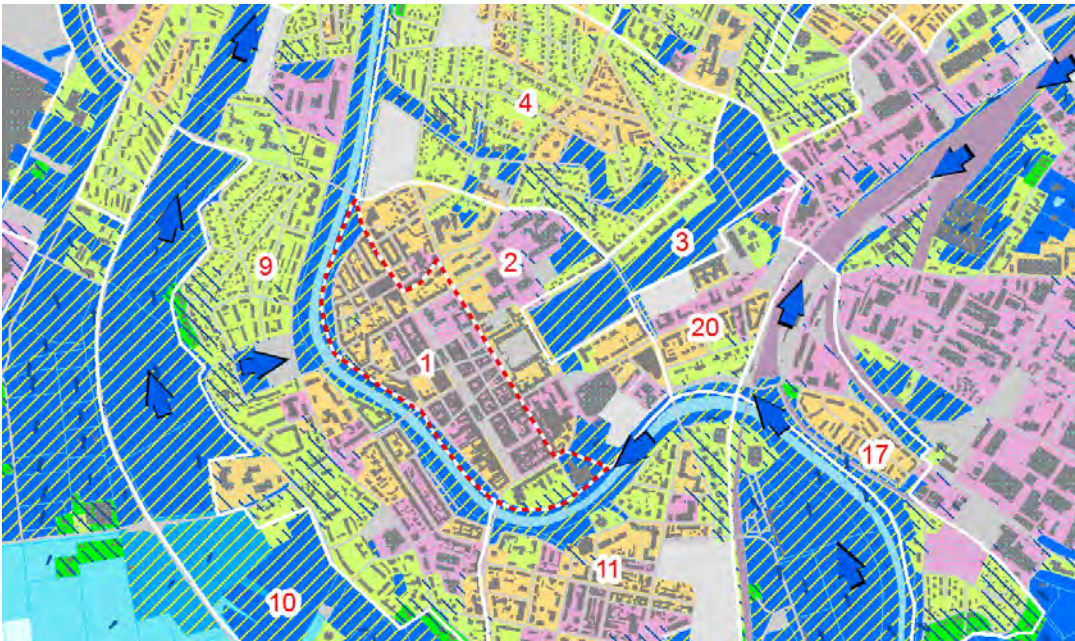
Die durchschnittliche Temperatur **in den Teilbereichen** in 2 m Höhe zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens beträgt 17,5°C, bei einem durchschnittlichen Minimum von 14,7°C und einem durchschnittlichen Maximum von 19,4°C. Das absolute Minimum liegt bei 13,3°C (Rauental, Bereich c), während das absolute Maximum 20,5°C beträgt (Industriegebiet, Bereich 18).

Im Vergleich dazu liegen die Temperaturen **im ganzen Untersuchungsgebiet** um 4 Uhr in der Nacht zwischen Minimalwerten von 13,6°C und Maximalwerten von bis zu 21,0°C. Die errechnete mittlere Temperatur des Untersuchungsgebietes liegt bei den angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen bei 15,5°C.





## Bereich 1: Barocke Innenstadt



### Beschreibung:

Der Wirkungsbereich 1 befindet sich im Zentrum von Rastatt und wird von der Murg im Südwesten und der Herrenstraße im Nordosten eingerahmt. Die stark verdichtete Blockrandbebauung mit drei- bis fünfgeschossiger Bebauung weist eine heterogene Struktur auf. In diesem Bereich der Innenstadt sind nur wenige kleinere Grünflächen vorhanden.

### Klimatische Situation:

Aufgrund der zentralen Lage in Rastatt und der verdichteten Bebauung weist diese Siedlungsfläche zum größten Teil eine weniger günstige bis ungünstige bioklimatische Situation auf. Fehlende Ausgleichsräume im Innern der Fläche und die ungünstige Lagesituation führen dazu, dass der Wirkungsraum überwärmt. Daher haben die wenigen vorhandenen Grünflächen als Aufenthaltsbereiche im Freien eine sehr hohe bioklimatische Bedeutung für die Bewohner des Wirkungsraumes. Die Zufuhr von nächtlicher Kalt-/Frischlufte über die Murgniederung trägt zur thermischen Entlastung bei.

Die modellierte Temperatur in 2 m Höhe zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens beträgt im Mittel von 19,3°C. Gegenüber einem Durchschnittswert aller Siedlungsflächen von 17,5°C wird somit der nächtliche „Wärmeinsel-Effekt“ in der Stadtmitte deutlich.

### Planungshinweise:

Innerhalb des Bereichs 1 tritt eine klimatische Belastung nicht nur in den Nachtstunden sondern vor allem auch am Tage auf. Daher sollten Maßnahmen zur Verbesserung des Lokalklimas einerseits darauf abzielen, die Aufenthaltsqualität im Freien zu verbessern und andererseits den Gebäudebestand hitzeangepasst zu gestalten. Hierbei kann auf kleinräumige Maßnahmen zurückgegriffen werden, die über die Tagsituation hinaus auch in den Nachtstunden das Klima vorteilhaft beeinflussen. Hierzu zählen beispielsweise: Entsiegelungsmaßnahmen, Innenhofbegrünungen, Verschattung von Gebäuden. Die vorhandenen Grünflächen sind als Klimaoasen für den Aufenthalt am Tage von großer Bedeutung und sollten gegebenenfalls durch weitere Baumpflanzungen und Wasserflächen optimiert werden.



## Bereich 2: Restliche Innenstadt



### Beschreibung:

Das Gebiet umschließt den nordöstlichen Teil der Innenstadt in dem sich das Schloss befindet. Der Wirkungsraum wird durch den Schlosspark und die Straße *An der Ludwigsfeste* begrenzt. Die Bebauung ist locker und großzügig, der Innenhof ist versiegelt. Südlich des Schlossparks befinden sich größere Gebäude (z.B. Badner Halle, Pagodenburg) mit kleineren (versiegelten) Freiräumen. Nördliche der Schlossparks steht eine Schule und ein Krankenhaus.

Dieser Bereich ist insgesamt weniger dicht bebaut als die restliche Innenstadt und verfügt ebenfalls nur über wenige Grünflächen. Verglichen mit dem Gebiet 1 ist der Anteil an Stadt- und Straßenbäumen aber deutlich höher.

### Klimatische Situation:

Auf Grund der zentralen Lage in Rastatt und der verdichteten Siedlungsstruktur ist im Bereich 2 eine weniger günstige bis ungünstige bioklimatische Situation sowie einen Mangel an Durchlüftung vorhanden. Fehlende angrenzende Ausgleichsräume und die ungünstige Binnenlage führen dazu, dass dieser Wirkungsraum eine Überwärmung aufweist. Daher ist der Mittelwert der modellierten Lufttemperatur in 2 m Höhe zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens mit 19,1°C vergleichsweise hoch. Die wenigen vorhandenen Grünflächen haben als „Klimaoasen“ an Tagen mit starker solarer Einstrahlung eine hohe bioklimatische Bedeutung für die Bewohner des Areal.

### Planungshinweise:

Abgesehen vom Schlossgarten hat der Bereich 2 keine Anbindung an einen ausreichend großen und umfassend wirksamen Ausgleichsbereich. Daher sind vor allem Maßnahmen nötig, die zu einem günstigeren Eigenklima führen.

Hierzu zählt zum einen die Erhöhung des Grünvolumens (Dach- und Fassadenbegrünung, Straßenbegleitgrün, Entsiegelungen etwa mit Rasensteinen), aber auch eine gezielte Verschattung beispielsweise durch Sonnensegel oder die Schaffung von Wasserflächen. Die wenigen vorhandenen Grünflächen sollten unbedingt erhalten und nach Möglichkeit optimiert und ausgedehnt werden.





### Bereich 3: Schlosspark und Friedhof



#### Beschreibung:

Der Bereich 3 umfasst den Schlosspark und den Friedhof. Diese Freiflächen sind vor allem durch Rasen- und Kiesflächen geprägt. Wenige Bäume wurden als Allee angepflanzt. Die am Nordrand der Grünachse lokalisierte 5-geschossige Villenbebauung ist Bestandteil dieses Areals.

#### Klimatische Situation:

Die Lage des Schlossgartens, als einzige größere Grün- und Freifläche innerhalb der zentralen Stadt, hat eine sehr hohe bioklimatische Bedeutung für die umliegenden Siedlungsgebiete. Der mittlere Wert der modellierte Temperatur im Bereich 3 in 2 m Höhe zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens beträgt 17,4°C, fast 2°C weniger als im dicht bebauten Innenstadtbereich. Verglichen mit anderen, randständigen Grünflächen ist das Temperaturniveau hoch. Dies macht deutlich, dass das Areal in ein insgesamt wärmeres Umfeld eingebettet ist.

#### Planungshinweise:

Durch den Bezug zu den überwärmten Siedlungsflächen der Innenstadt ergibt sich die höchste Empfindlichkeit gegenüber einer Nutzungsänderung. Von einer weiteren Bebauung sollte daher abgesehen werden. Mit Blick auf die rasengeprägte Ausgestaltung östlich der Ludwigsfeste sind weitere Baumgruppen zur Verbesserung der Aufenthaltsqualität am Tage sinnvoll. Ein Baum-/Gehölzanteil von etwa 30 % ist dabei empfehlenswert. Dieser sollte allerdings nicht überschritten werden, um eine Beeinflussung bodennaher Kaltluftbewegungen zu vermeiden.



## Bereich 4: Zay



### Beschreibung:

Das Wohngebiet im Bereich 4 ist relativ homogen mit zwei- bis dreigeschossigen Häusern bebaut. Der größte Flächenanteil ist von Ein- und Mehrfamilienhäusern mit Gärten geprägt. In Richtung Murg verdichtet sich die Bebauung zu Reihenhäusern (Steinmauerner Straße) bzw. Blockrandbebauung.

Die Häuser der Gartenstadtgenossenschaft (im Südwesten) gruppieren sich um eine große Grünfläche im Innenhof. Nördlich davon verläuft ein Grünzug mit Rasenflächen und Bäumen Richtung Osten durch das Areal. Dort befindet sich ein Spielplatz.

### Klimatische Situation:

Der Bereich 4 (Wirkungsraum) weist durch seine vorwiegend aufgelockerte Bebauung mit einem niedrigen Versiegelungsgrad eine überwiegend günstige bioklimatische Situation auf. Lediglich in den stärker verdichteten Siedlungsanteilen liegen weniger günstige Bedingungen vor. Die in der Nacht modellierte Temperatur beträgt im Mittel 18,3°C und liegt damit um 0,7°C über dem Mittelwert aller Siedlungsflächen. Der nächtliche Wärmeinseleffekt ist somit als schwach bis mäßig einzuordnen.

### Planungshinweise:

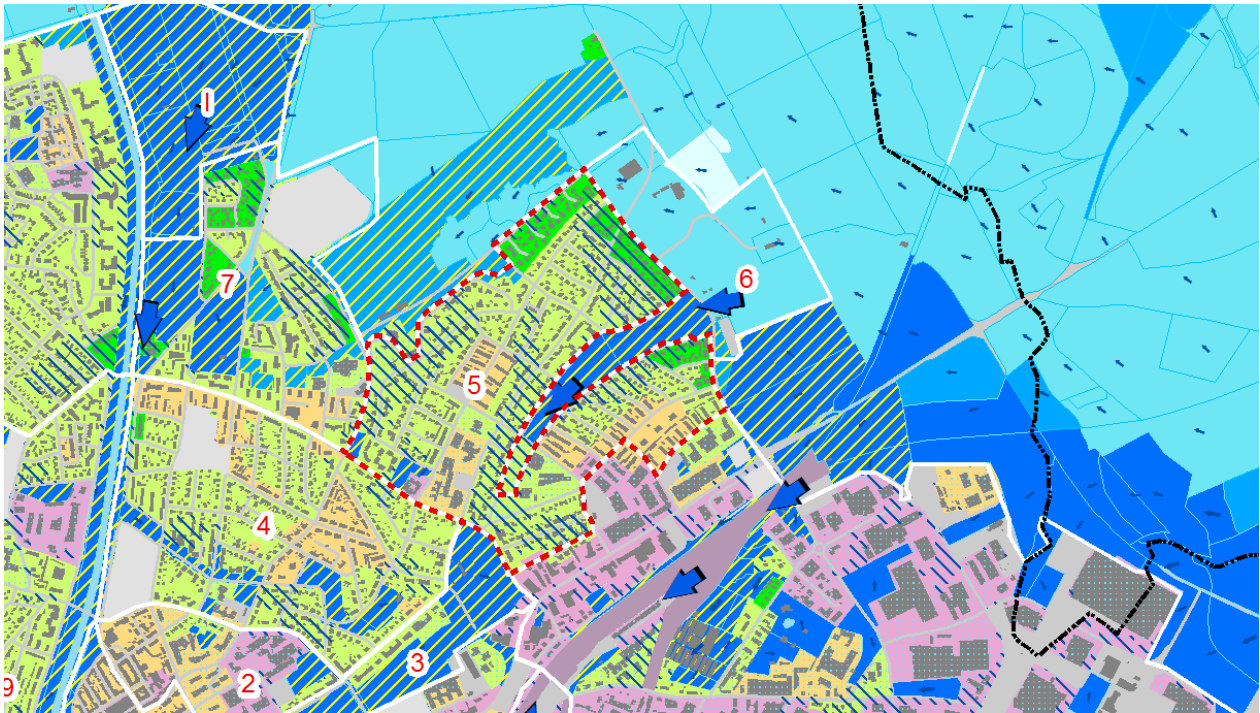
Aus den klimatischen und strukturellen Merkmalen ergibt sich eine mittlere Empfindlichkeit gegenüber nutzungsintensivierenden Eingriffen. Um die überwiegend günstige bioklimatische Situation zu erhalten, sollte die Bebauung nicht wesentlich verdichtet werden. Auch der schmale Grünzug im Süden sollte erhalten bleiben, da er thermisch ausgleichend auf die angrenzende Bebauung wirkt.

Im östlichen Teil der Fläche könnte eine Verbesserung des Lokalklimas angestrebt werden. Hierbei kann auf kleinräumige Maßnahmen zurückgegriffen werden, die auch in den Nachtstunden das Klima vorteilhaft beeinflussen. Hierzu zählen Entsiegelungsmaßnahmen oder beispielsweise Dach- oder Fassadenbegrünungen. Zudem bieten die größeren Straßenzüge das Potenzial für eine weitere Begrünung mit Bäumen.





## Bereich 5: Röttererberg und Biblis



### Beschreibung:

Auch der Bereich 5 ist ein reines Wohngebiet in dem große Einfamilienhäuser mit Gärten stehen. Ein großer Grünzug (Leitbahn, Bereich 6) zieht sich zwischen Mozart- und Beethovenstraße durch das Gebiet. Nördlich grenzt der Bereich an die große Ausgleichsfläche des Segelfluggeländes Rastatt-Baldenau.

### Klimatische Situation:

Das Areal profitiert von der nächtlichen Kaltluftströmung der angrenzenden Grün- und Freiflächen. Teilbereiche der Siedlung werden von Kaltluft durchströmt. Die bioklimatische Situation reicht von günstig bis hin zu sehr günstig an Siedlungsrand, wobei die Gebiete um die größeren Gebäude (Zeilen-, Hochhaus und Hallengebäude) weniger günstige, teilweise auch weniger günstig Bedingungen aufweisen.

Den vorhandenen Grünflächen innerhalb der Siedlungen kommen einer hohen bioklimatischen Bedeutung zu, wobei der Stadtteil durch die vielen Gärten zwischen den Einfamilienhäusern einen hohen Durchgrünungsgrad aufweist. Die modellierte Lufttemperatur im Bereich 5 (Höhe: 2 m, Zeitpunkt: 4 Uhr) beträgt im Mittel 18,2°C, die nächtliche Überwärmung ist somit eher schwach ausgeprägt.

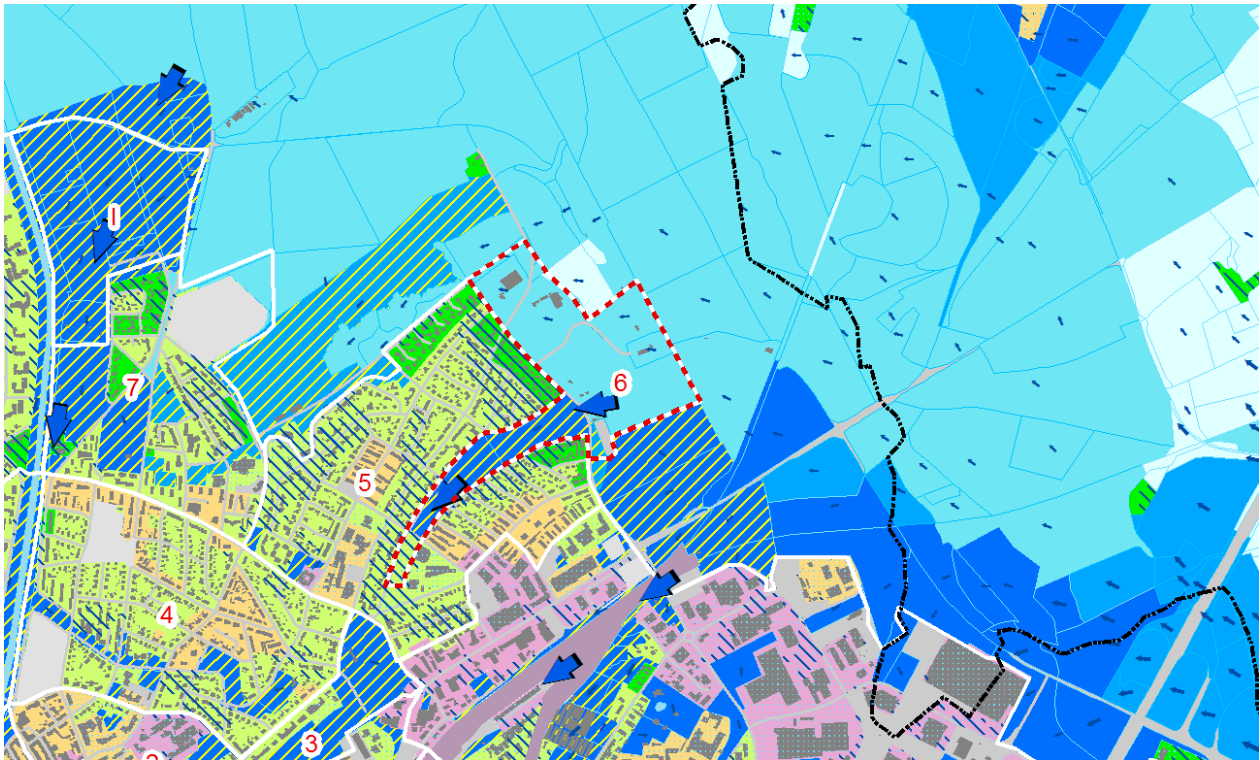
### Planungshinweise:

Die gute bioklimatische Situation in diesem Gebiet sollte möglichst erhalten bleiben. Bauliche Veränderungen sind möglich, wobei die Baukörperstellung auftretende Kalt-/Frischluftströmungen berücksichtigen sollte. Ziel soll sein, weiterhin eine gute Durchlüftung des Stadtteils zu gewährleisten.





## Bereich 6: Fohlenweide, Waldfriedhof, Mozart-Beethoven-Anlage



### Beschreibung:

Bereich 6 umfasst das Gebiet einer Pferdekoppel, eines Friedhofs sowie einen Grünzug, der sich nach Südwesten hin in das angrenzende Wohngebiet erstreckt. Während im Bereich der Koppel nur wenige Hofgebäude vorhanden sind, besteht ein Großteil der Fläche aus Weideland.

### Klimatische Situation:

Das Parkgelände entlang der Beethovenstraße ermöglicht ein tiefes Eindringen von Kalt-/Frischlufte in die Siedlungsfläche, so dass hier eine Klimafunktion als Kaltluftleitbahn vorliegt. Die Kaltluft wird hier kanalisiert und in Richtung auf die Kernstadt weitergeleitet. Die Flächen weisen daher eine hohe und sehr hohe bioklimatische Bedeutung auf. Die modellierte Temperatur im Bereich 6 (Höhe: 2 m, Zeitpunkt: 4 Uhr) beträgt im Mittel 15,8°C.

### Planungshinweise:

Durch die Funktion als Leitbahn ergibt sich die höchste Empfindlichkeit gegenüber einer Nutzungsänderung. Die Durchströmbarkeit des Leitbahnbereiches entlang der Beethovenstraße sollte daher erhalten bleiben. Der übrige Grünraum weist eine hohe Empfindlichkeit auf. Auch hier sollte eine Randbebauung bzw. Hindernisse, die einen Kaltluftstau verursachen könnten, vermieden werden. Die Vernetzung des Parkareals mit dem Umland sollte nicht unterbrochen werden, um weiterhin den Zustrom von Kalt-/Frischlufte in die Leitbahn zu ermöglichen.

## Bereich 7: Röhrig und Bittler



### Beschreibung:

Der Bereich 7 wird nach Westen hin von der Murg begrenzt, wobei sich im Süden die Wohnbebauung aus den Bereichen 4 und 5 fortsetzt. Im Umfeld der Brufertstraße befinden sich Kleingartenanlagen. Einzelne höhere Gebäude sind von durchgrünter Abstandsflächen umgeben, wobei ganz allgemein die bauliche Dichte zum Richard-Wagner-Ring hin zunimmt. Als Siedlungstypologie dominieren allerdings Ein- und Mehrfamilienhäuser.

### Klimatische Situation:

In Bereich 7 ist die bioklimatische Situation in den Siedlungsflächen als durchweg günstig bis sehr günstig zu bewerten. Die lockere Bebauung und die vielen Grünflächen zwischen den Häusern lassen eine gute Durchströmbarkeit der Fläche zu. Hier kann der hohe Kaltluftvolumenstrom aus dem Norden in die Wohngebiete vordringen.

Ein Großteil der Grünflächen ist von sehr hoher bioklimatischer Bedeutung, da hier die Kaltluft aus dem Norden entlang der Murg in die Siedlungsgebiete abfließt und damit eine Klimafunktion als Leitbahn vorliegt. Die modellierte Temperatur im Bereich 7 (Höhe: 2 m, Zeitpunkt: 4 Uhr) beträgt im Mittel 17,2°C.

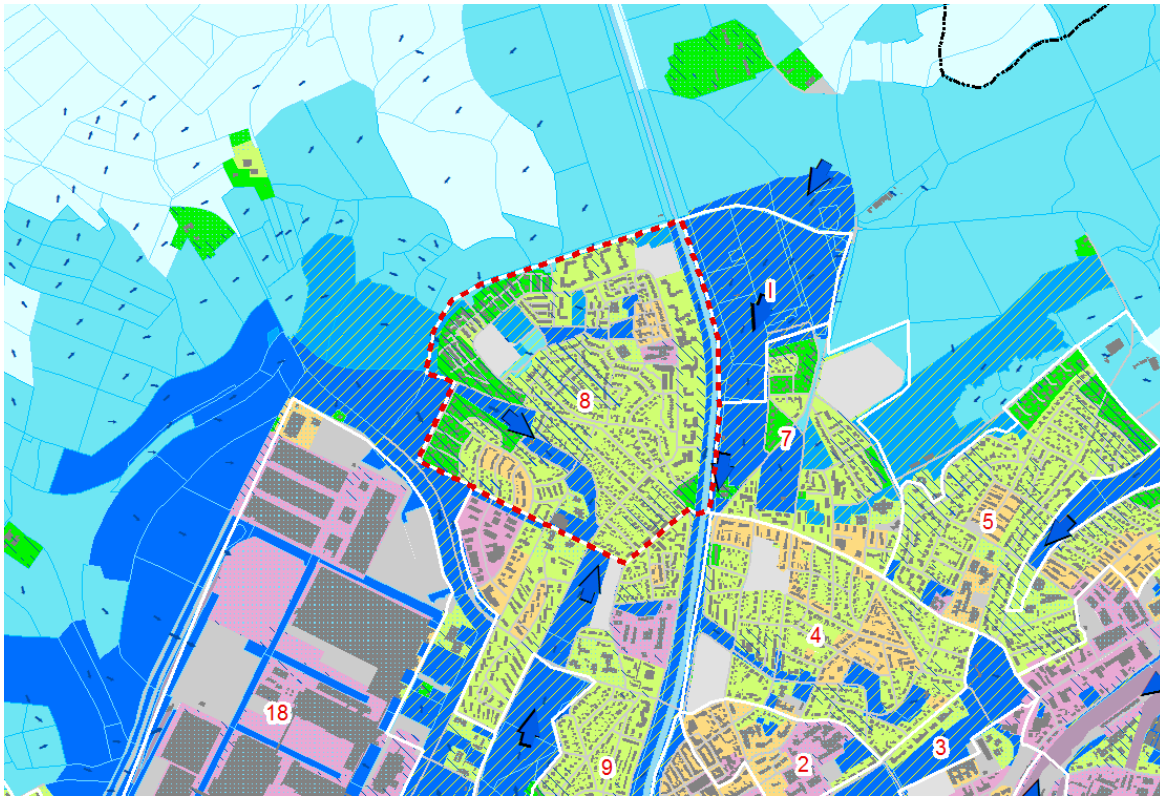
### Planungshinweise:

Den Flächenanteilen mit Leitbahnfunktion - also den Kleingartenanlagen - kommt die höchste Empfindlichkeit gegenüber einer Nutzungsänderung zu. Hier sollte eine Randbebauung vermieden werden. Darüber hinaus ist die Vernetzung mit den Grün- und Freiflächen des Umlandes zu gewährleisten.

In den Siedlungsflächen sollte die günstige bioklimatische Situation erhalten und die Bauhöhen möglichst gering bleiben. Zudem sollten Neubauten eine Nord-Süd-Ausrichtung aufweisen, um die Hinderniswirkung für nächtliche Kalt-Frischluftrömungen gering zu halten.



## Bereich 8: Rheinau



### Beschreibung:

Der Bereich 8 befindet sich westlich der Murg und ist ebenfalls durch eine vorwiegende Wohnnutzung mit Einzel- und Reihenhäusern geprägt. Im Norden und Osten ist zudem eine höhergeschossige Zeilenbebauung anzutreffen. Das Gebiet wird im Westen von einem Grünkorridor untergliedert, zudem ist auch im Nordteil des Areals eine größere Grünfläche vorhanden.

### Klimatische Situation:

Die bioklimatische Wohnsituation ist vorwiegend als günstig zu beurteilen, am westlichen Siedlungsrand sogar als sehr günstig. Lediglich im Umfeld der Gustav-Heinemann-Schule liegt kleinräumig eine Belastungssituation vor. Große Bereiche der Bebauung werden von Kalt-/Frischluf durchströmt, was auf den intensiven Luftaustausch im Umfeld der Grünachsen zurückzuführen ist. Dahingehend ist der Grünraum südlich der Plittersdorfer Straße als Leitbahn einzuordnen. Die modellierte Temperatur im Bereich 8 (Höhe: 2 m, Zeitpunkt: 4 Uhr) beträgt im Mittel 17,6°C.

### Planungshinweise:

Den Flächenanteilen mit Leitbahnfunktion - also der Grünachse entlang Plittersdorfer Straße/Altmurgweg - kommt die höchste Empfindlichkeit gegenüber einer Nutzungsänderung zu. Hier sollte eine Randbebauung vermieden werden. Darüber hinaus ist die Vernetzung mit den Grün- und Freiflächen des Umlandes zu gewährleisten.

In den Siedlungsflächen sollte die günstige bioklimatische Situation erhalten und die Bauhöhen möglichst gering bleiben. Zudem sollten Neubauten eine Nordwest-Südost-Ausrichtung aufweisen, um die Hinderniswirkung für nächtliche Kalt-/Frischlufströmungen gering zu halten.





## Bereich 9: Rastatt West und -Oberwald



### Beschreibung:

Bereich 9 erstreckt sich von der Buchenstraße im Norden bis zur Bundesstraße 36 im Süden westlich der Kernstadt. Auch hier handelt es sich um ein Wohngebiet (hauptsächlich Einfamilienhäuser), das von einem größeren Grünbereich durchzogen ist, über den die Kalt-/Frischlufte in die Siedlungsbereiche vordringt.

Nördlich der Wilhelm-Busch-Straße sind zwei kleinere Gewerbegebiete anzutreffen. Nach Süden hin verdichtet sich die Bebauung hin zu einer Blockrandbebauung mit teilweise begrünten Innenhöfen. Der Überbauungsgrad ist in seiner Ausprägung teilweise vergleichbar mit der Dichte in der Innenstadt (vgl. Bereich 1).

### Klimatische Situation:

Die bioklimatische Situation in diesem sehr baustrukturell heterogenen Bereich ist überwiegend günstig. Sowohl der Grünzug als auch der Festplatz werden in den Nachtstunden von Kalt-/Frischlufte überströmt und weisen damit eine Leitbahnfunktion auf. Östlich des Leopoldrings ist die Situation weniger günstig bis ungünstig einzustufen, da hier die Bebauung deutlich dichter ist. Die modellierte Temperatur im Bereich 9 (Höhe: 2 m, Zeitpunkt: 4 Uhr) beträgt im Mittel 18,0°C.

### Planungshinweise:

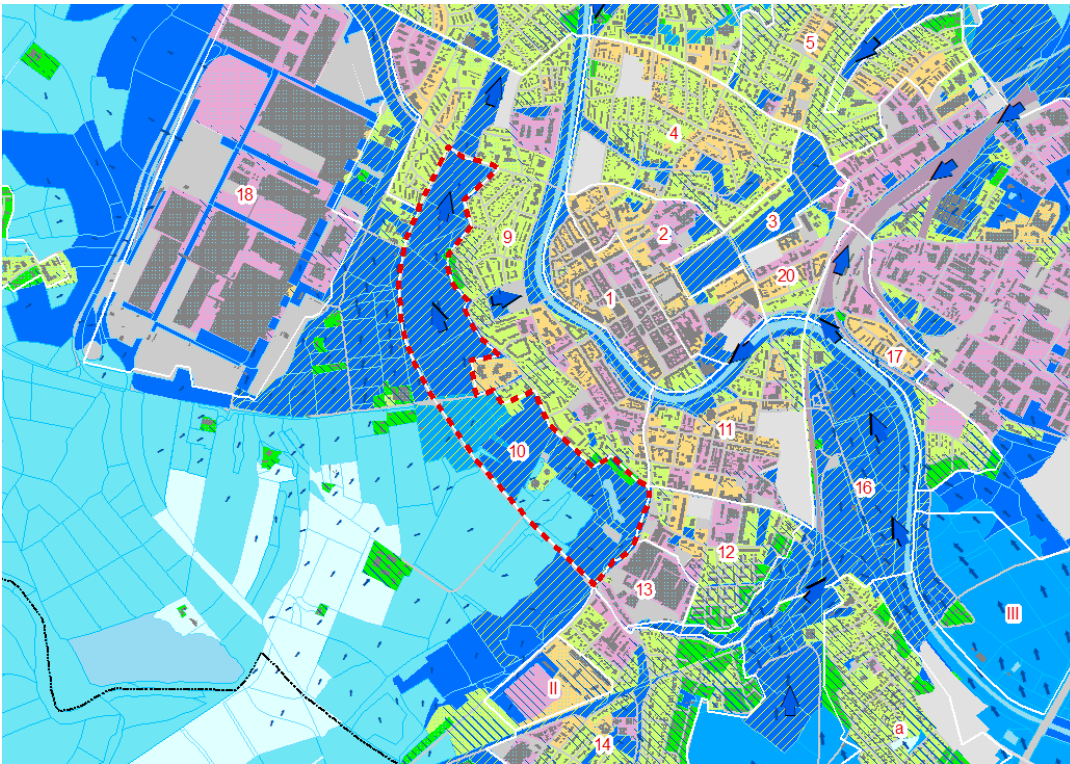
Die weitestgehend günstigen bioklimatischen Bedingungen in diesem Gebiet erfordern nur in Teilbereichen eine Verbesserung der Situation.

Innerhalb der Bebauung entlang der Augustastraße tritt eine klimatische Belastung auf. Hier sollten Maßnahmen zur Verbesserung des Lokalklimas einerseits darauf abzielen, die Aufenthaltsqualität im Freien zu verbessern und andererseits den Gebäudebestand hitzeangepasst zu gestalten.

Hierbei kann auf kleinräumige Maßnahmen zurückgegriffen werden, die über die Tagsituation hinaus auch in den Nachtstunden das Klima vorteilhaft beeinflussen. Hierzu zählen u.a.: Entsiegelungsmaßnahmen, Dachbegrünungen, Innenhofbegrünungen, Verschattung von Gebäuden etwa durch Fassadenbegrünung.



## Bereich 10: Landschaftsschutzgebiet Rastatter Bruch



### Beschreibung:

Bereich 10 ist eine südwestlich der Kernstadt vorgelagerte Freifläche und stellt einen Übergangsbereich der landwirtschaftlich genutzten Freiflächen des Umlandes zum Siedlungsraum dar. Im Süden wird die Fläche von der Kehlerstraße begrenzt, wo auch der Stadtgarten lokalisiert ist. Dies ist das einzige Areal in Bereich 10, der zum Teil bewaldet ist.

### Klimatische Situation:

Über den Bereich kann die von Süden Richtung Stadt strömende Kaltluft nach Norden (Leitbahn) in die Siedlungsgebiete fließen. In diesem Bereich sind sowohl der Kaltluftvolumenstrom als auch die bioklimatische Bedeutung sehr hoch. Die modellierte Temperatur im Bereich 10 (Höhe: 2 m, Zeitpunkt: 4 Uhr) beträgt im Mittel 15,3°C und weist gegenüber der Siedlungsflächen eine starke nächtliche Abkühlung auf.

### Planungshinweise:

Die Teilflächen, die als Leitbahnbereiche ausgewiesen wurden, weisen eine sehr hohe klimatische Bedeutung auf und sollten als Grün- oder Freiflächen erhalten bleiben.





## Bereich 11: Dörfel



### Beschreibung:

Bereich 11 liegt südlich der Innenstadt und grenzt im Norden direkt an die Murg und südlich an die Lützowerstraße an. Der größte Teil des Gebietes ist ein verdichtetes, historisches Wohngebiet mit wenigen Grünflächen. Während im Norden die Bebauung kleinteiliger wird, stehen im Südosten einige große Gebäude auf der Konversionsfläche Joffre.

### Klimatische Situation:

Bereich 11 wird von der Kaltluftströmung aus dem Süden über die Murg umströmt (Leitbahn). Im Osten reicht diese Strömung auch bis ins Innere des Wirkungsbereiches. Die bioklimatische Situation innerhalb der Bebauung reicht von sehr günstig (Süden) über günstig (im Norden) bis zu weniger günstig bzw. ungünstig in den restliche Arealen.

Die modellierte Temperatur im Bereich 11 (Höhe: 2 m, Zeitpunkt: 4 Uhr) beträgt im Mittel 18,6°C.

### Planungshinweise:

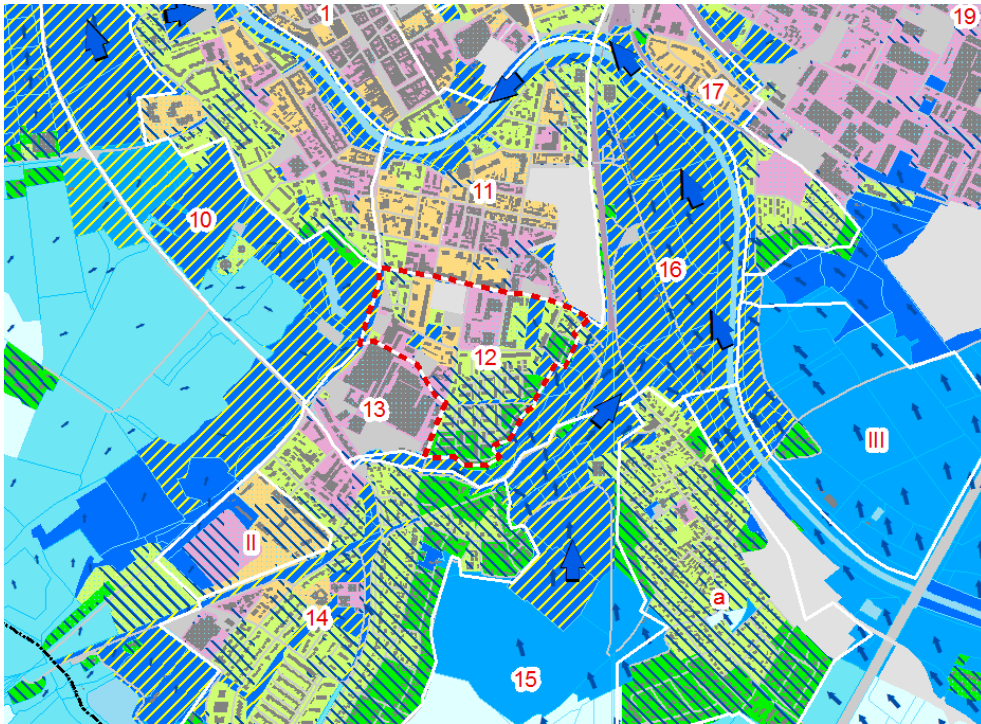
Die weitestgehend günstige bioklimatische Situation im Norden des Gebietes erfordert keine zwingende Verbesserung der Lage.

Dagegen weist die dichte Bebauung im Süden eine klimatische Belastung auf. Hier sollten Maßnahmen zur Verbesserung des Lokalklimas einerseits darauf abzielen, die Aufenthaltsqualität im Freien zu verbessern und andererseits den Gebäudebestand hitzeangepasst zu gestalten.

Hierbei kann auf kleinräumige Maßnahmen zurückgegriffen werden, die über die Tagsituation hinaus auch in den Nachtstunden das Klima vorteilhaft beeinflussen. Hierzu zählen u.a.: Entsiegelungsmaßnahmen, Dachbegrünungen, Innenhofbegrünungen, Verschattung von Gebäuden etwa durch Fassadenbegrünung. Die vorhandene Grünfläche am Murgdamm ist als Bereich mit hoher Aufenthaltsqualität am Tage von großer Bedeutung und sollten gegebenenfalls durch weitere Baumpflanzungen optimiert werden. Vorhandene nicht zugängliche Grünbereiche könnten zu Aufenthaltsbereichen qualifiziert werden.



## Bereich 12: Leopoldsfeste und Leopoldplatz



### Beschreibung:

Südlich der Lützowerstraße liegt der Bereich 12. Es weist vorwiegend eine Wohnnutzung mit wenigen Grünflächen auf, wobei die bauliche Dichte im Norden höher ausgeprägt ist als im Süden.

Hier ist eine eher homogene Bebauung anzutreffen, welche vor allem aus zwei- bis dreigeschossigen Reihenhäuser mit anliegenden Gärten besteht. Im Norden überwiegt eine mehrgeschossige Zeilenbebauung mit oft hohem Versiegelungsgrad.

### Klimatische Situation:

Die Überwärmungssituation ist hier recht unterschiedlich ausgeprägt. Während im Osten der höhere Durchgrünungsgrad eine sehr günstige bis günstige bioklimatische Situation vorliegt, sind in den stärker versiegelten Flächen nach Westen und Norden hin auch weniger günstige bis ungünstige Bedingungen anzutreffen. Die günstige Situation im Osten ist auf die gute Durchlüftung des Wohngebietes bzw. die Nähe zu den Kaltluft produzierenden Grünflächen mit Leitbahnfunktion zurückzuführen.

Die modellierte Temperatur im Bereich 12 (Höhe: 2 m, Zeitpunkt: 4 Uhr) beträgt im Mittel 18,3°C.

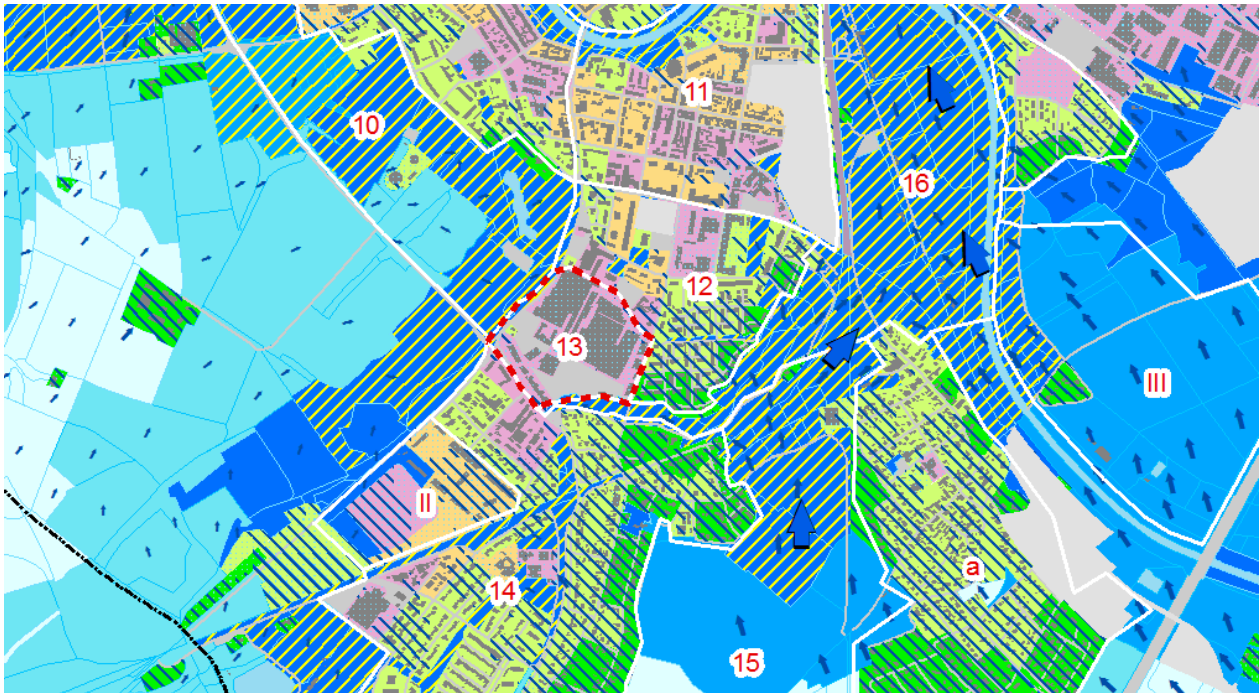
### Planungshinweise:

Während die Siedlungsfläche im Ostteil durch ihre günstige bioklimatische Situation keine zwingende Verbesserung der Lage erfordert, sollte die Bereiche im Norden mit Maßnahmen zur Verbesserung des Lokalklimas bedacht werden. Hier sollte die Aufenthaltsqualität im Freien verbessert und andererseits der Gebäudebestand hitzeangepasst gestaltet werden.

Dazu kann auf kleinräumige Maßnahmen zurückgegriffen werden, die über die Tagsituation hinaus auch in den Nachtstunden das Klima vorteilhaft beeinflussen. Hierzu zählen u.a.: Entsiegelungsmaßnahmen, Dachbegrünungen, Innenhofbegrünungen, Verschattung von Gebäuden etwa durch Fassadenbegrünung. Die vorhandenen Grünflächen sind als Klimaoasen von großer Bedeutung und sollten gegebenenfalls durch weitere Baumpflanzungen optimiert werden.



### Bereich 13: Maquet



#### Beschreibung:

Bereich 13 ist ein Firmengelände mit großen Lagerhallen und versiegelten Außenbereichen. An der Badener Straße stehen drei mehrgeschossige Zeilenbauten. Der Grünflächenanteil ist sehr gering.

#### Klimatische Situation:

Der Wirkungsraum weist sowohl eine Überwärmung als auch eine schlechte Durchlüftung auf, so dass die klimatische Situation als ungünstig einzustufen ist. Dies ist auf die große Baumasse der Hallenbebauung und den hohen Oberflächenversiegelungsgrad zurückzuführen. Die befestigten bzw. überbauten Flächen heizen sich während sommerlicher Strahlungswetterlagen stark auf, was in der Nacht zu einem ausgeprägten Wärmeinseleffekt führt. Daher liegt die modellierte Temperatur im Bereich 13 (Höhe: 2 m, Zeitpunkt: 4 Uhr) im Mittel bei vergleichsweise hohen 19,4°C. Von allen Teilbereichen ist in diesem Gebiet die höchste mittlere Temperatur zu beobachten.

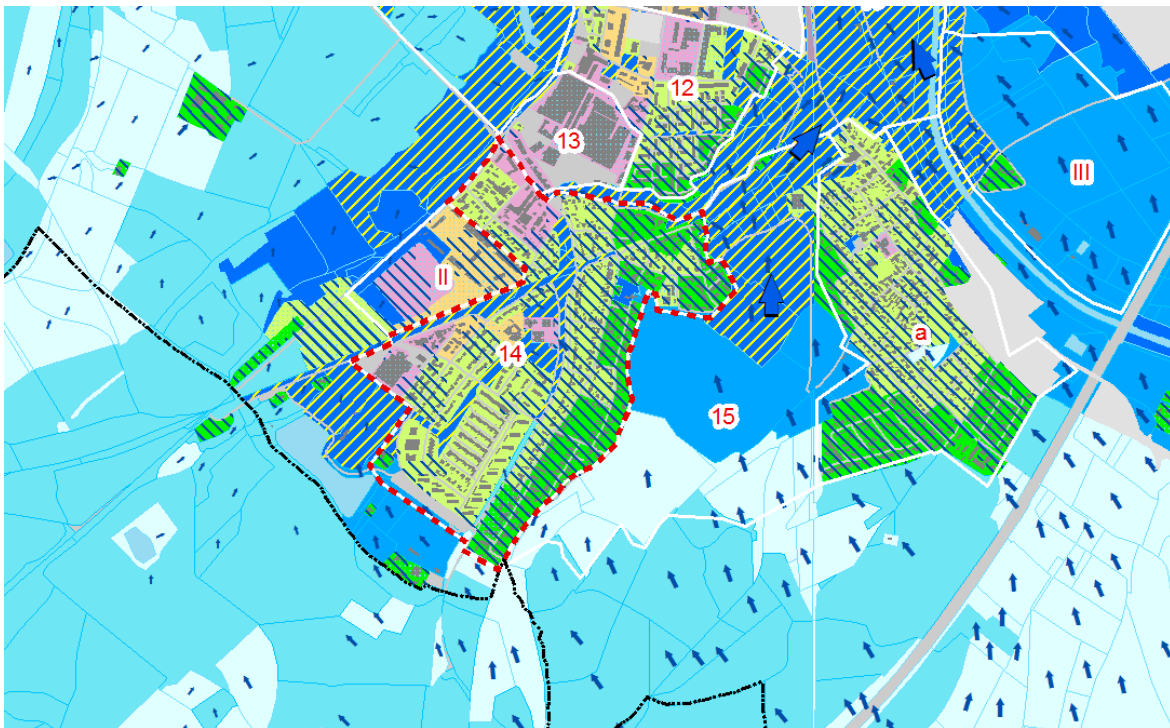
#### Planungshinweise:

Um die bioklimatische Situation in diesem Wirkungsraum zu verbessern, sind vor allem grünplanerische Maßnahmen umzusetzen, um die Überwärmung zu mindern. Hierzu zählen Entsiegelungen, Dach- und Fassadenbegrünungen, Straßenbegleitgrün.





## Bereich 14: Münchfeld und Siedlung



### Beschreibung:

Der Bereich 14 ist ein Einfamilienhaus-Wohngebiet mit Einzel- und Reihenhäusern. Es ist homogen bebaut und weist einen überdurchschnittlichen Grünanteil auf. Im Osten grenzt das Areal an die Freiflächen entlang des Ooser Landgrabens, während sich im Westen eine Konversionsfläche befindet.

### Klimatische Situation:

Fast im gesamten Bereich 14 liegt eine sehr günstige bis günstige bioklimatische Situation vor. Nur auf wenigen Flächen im Westen sind durch einen größeren Versiegelungsgrad weniger günstige bis ungünstige Bedingungen anzutreffen.

Die günstige Situation im Osten ist einerseits auf die vielen Grünflächen, andererseits aber auch auf die gute Durchlüftung des in den Nachtstunden zurückzuführen. Hier kann der hohe Kaltluftvolumenstrom aus dem Süden in die Siedlungsfläche vordringen.

Die modellierte Temperatur im Bereich 14 (Höhe: 2 m, Zeitpunkt: 4 Uhr) beträgt im Mittel 17,8°C.

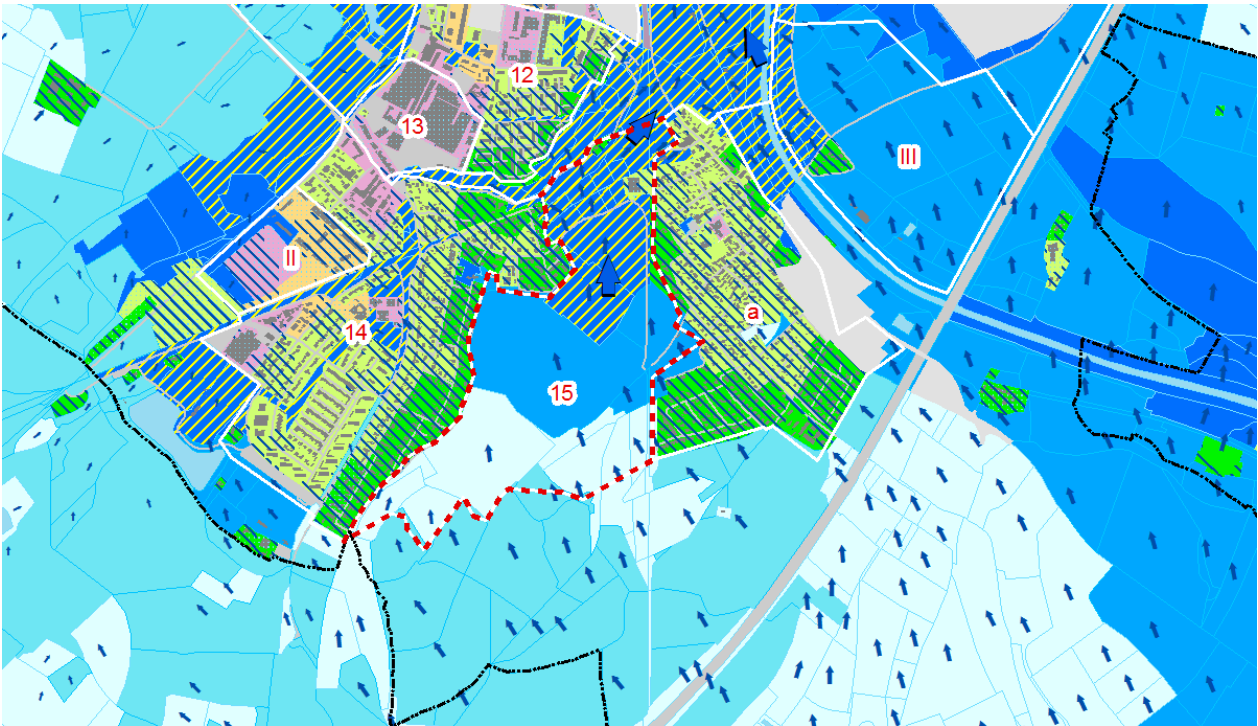
### Planungshinweise:

Während die Bereiche im Osten durch ihre günstige bioklimatische Situation keine zwingende Verbesserung der Lage erfordert, sollte die Bereiche im Westen mit Maßnahmen zur Verbesserung des Lokalklimas bedacht werden. Hier sollte die Aufenthaltsqualität im Freien verbessert und andererseits der Gebäudebestand hitzeangepasst gestaltet werden.

Dazu kann auf kleinräumige Maßnahmen zurückgegriffen werden, die über die Tagsituation hinaus auch in den Nachtstunden das Klima vorteilhaft beeinflussen. Hierzu zählen u.a.: Entsiegelungsmaßnahmen, Dachbegrünungen, Innenhofbegrünungen, Verschattung von Gebäuden etwa durch Fassadenbegrünung. Die vorhandenen Grünflächen sind als Klimaoasen von großer Bedeutung und sollten gegebenenfalls durch weitere Baumpflanzungen optimiert werden.



## Bereich 15: Ooserlandgraben und Hurst



### Beschreibung:

Der Bereich 15 umfasst die vorwiegend landwirtschaftlich genutzten Flächen zwischen dem Bereich 14 im Westen und dem Ortsteil Niederbühl (Bereich a) im Osten.

### Klimatische Situation:

Der ausgedehnte Freiraum weist eine intensive nächtlicher Abkühlung auf, was sich in einer modellierten Temperatur (Höhe: 2 m, Zeitpunkt: 4 Uhr) von im Mittel 14,8°C zeigt. Der nördliche Teil im Übergang zum Wiesenweg/Südring hat eine klimatische Funktion als Kaltluftleitbahn und führt Kalt-/Frischlufte in Richtung der Kernstadt.

### Planungshinweise:

Als siedlungsnahe Freifläche mit intensiver Kaltluftlieferung weisen sie größtenteils eine hohe und sehr hohe bioklimatische Bedeutung auf, wobei vor allem die nördlichen Teilflächen mit Leitbahnfunktion besonders schützenswert sind.

Ziel sollte sein, einerseits den Zustrom von Kalt-/Frischlufte nach Norden hin zu gewährleisten und andererseits die gute Durchlüftung des Bestands aufrecht zu erhalten.





## Bereich 16: Schwalbenrain und Südring



### Beschreibung:

Der Bereich 16 schließt nördlich an den Ausgleichsraum 15 an und setzt den Grünzug nach Norden weiter fort. Begrenzt wird er nach Osten hin durch die Murg. Hier befinden sich Kleingärten, ein Sportplatz und ein Freibad.

### Klimatische Situation:

Der Grünzug Schwalbenhain weist als Kaltluft produzierende Grünfläche eine starke nächtliche Abkühlung auf und ist in seiner Gesamtheit als Kaltluftleitbahn anzusprechen. Hier treffen die nächtlichen Flurwinde aus dem Bereich 15 sowie den Freiflächen östlich der Murg zusammen und strömen weiter in Richtung Kernstadt.

Die modellierte Temperatur im Bereich 16 (Höhe: 2 m, Zeitpunkt: 4 Uhr) beträgt im Mittel 16,0°C.

### Planungshinweise:

Aufgrund der Leitbahnfunktion weist die gesamte Fläche die höchste stadtklimatische Bedeutung auf. Die Durchströmbarkeit der Leitbahnbereiche sollte erhalten bleiben. Eine kleinflächige Bebauung der Flächen ist möglich, möglichen klimatische Auswirkungen sollten aber im Rahmen einer Einzelfallprüfung nachgegangen werden.



## Bereich 17: Alte Bahnhofstraße und Beinle



### Beschreibung:

Der Bereich 17 befindet sich nordwestlich des Bereichs 16, auf der gegenüberliegenden Seite der Murg. Im Norden des Areals befindet sich der Bahnhof Rastatt, darüber hinaus sind eine dichte Zeilenbebauung sowie einzelne Gewerbeflächen anzutreffen. Nach Süden hin lockert sich die Bebauung auf, hier sind Einfamilienhäuser mit Gärten lokalisiert.

### Klimatische Situation:

Das Areal grenzt an den Bereich 16 an, welcher eine Funktion als Kaltluftleitbahn aufweist. Daher ist die Versorgung mit nächtlicher Kalt-/Frischlufte vor allem innerhalb der Wohnbebauung im Umfeld des Drosselwegs gegeben, was mit günstigen bioklimatischen Bedingungen einhergeht. Nach Norden hin nimmt sowohl die Hinderniswirkung durch die Gebäude als auch die Versiegelung insgesamt zu, so dass im Umfeld des Bahnhofs eine bioklimatische Belastungssituation vorliegt. Der unbebaute Flächenanteil im Bereich des Bahnhofs wird hingegen als Kaltluftleitbahn ausgewiesen und steht in funktionalem Zusammenhang mit dem Bereich 16.

Die modellierte Temperatur im Bereich 17 (Höhe: 2 m, Zeitpunkt: 4 Uhr) beträgt im Mittel 18,3°C.

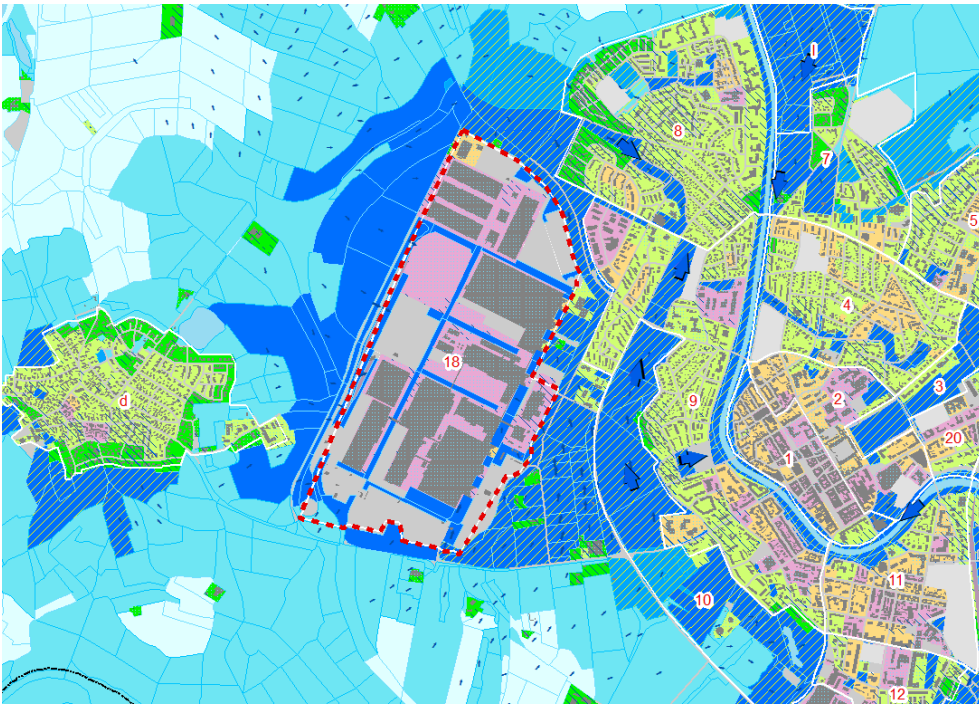
### Planungshinweise:

Der hohe Versiegelungsgrad und die engere Bebauung bringen im Nordteil klimatische Belastungen mit sich. Hier sollten Maßnahmen zur Verbesserung des Lokalklimas einerseits darauf abzielen, die Aufenthaltsqualität im Freien zu verbessern und andererseits den Gebäudebestand hitzeangepasst zu gestalten.

Hierbei kann auf kleinräumige Maßnahmen zurückgegriffen werden, die über die Tagsituation hinaus auch in den Nachtstunden das Klima vorteilhaft beeinflussen. Hierzu zählen u.a.: Entsiegelungsmaßnahmen, Dachbegrünungen, Innenhofbegrünungen, Verschattung von Gebäuden etwa durch Fassadenbegrünung. Die vorhandenen Grünflächen als Bereiche mit potenziell hoher Aufenthaltsqualität sollten gegebenenfalls durch weitere Baumpflanzungen optimiert werden.



## Bereich 18: Mercedes-Benz-Werk



### Beschreibung:

Bereich 18 ist ein Industriegebiet (Mercedes Benz) mit großen Hallen und versiegelten Flächen. Es ist fast vollständig von grünen Ausgleichsflächen (Wald, Ackerflächen, Kleingärten) umgeben und grenzt nur im Nordosten (Wilhelm-Busch-Straße) an den Siedlungsbereich

### Klimatische Situation:

Der Bereich 18 weist aufgrund seiner strukturellen Eigenschaften sowohl am Tage als auch in der Nacht eine potenzielle Überwärmung auf. Die Baumassen heizen sich während sommerlicher Strahlungswetterlagen stark auf, was zu einem ausgeprägten Wärmeinseleffekt in den Nachtstunden führt.

Dies äußert sich in einer simulierten durchschnittlichen Temperatur von 19,4°C in 2 m Höhe zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens. Gegenüber dem Mittelwert des Stadtgebiets (15,5°C) bedeutet dies eine Abweichung um fast +4°C.

### Planungshinweise:

Im Mercedes-Benz-Werk halten sich Menschen Tag und Nacht auf, die von möglichst günstigen klimatischen Bedingungen profitieren sollten. Daher besitzt die Wärmebelastung am Tage hier eine höhere Priorität als die Nachtsituation.

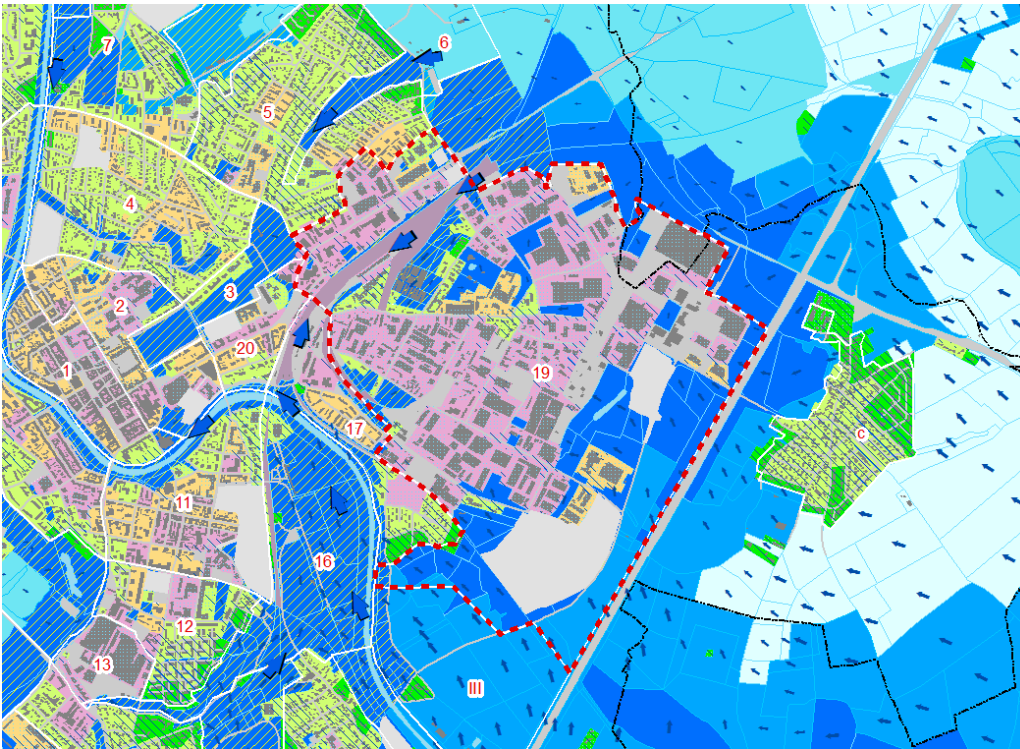
Die Begrünung der Südfassaden sowie deren Verschattung mit Baumreihen können den Wärmeeintrag in den Gebäudeinnenraum reduzieren. Über die Substratauflage wirkt eine Dachbegrünung isolierend und verringert das Aufheizen eines Gebäudes, während es im Winter zur Senkung des Heizbedarfes beitragen kann. Darüber hinaus erfolgt eine Retention von Niederschlagswasser, wodurch die Kanalisation vor allem bei Starkregenereignissen entlastet wird.

Darüber hinaus kann über die Verwendung von hellen Oberflächen auf ebenerdig versiegelten Flächen oder Fassaden die Reflexion der Sonnenstrahlung (Albedo) erhöht werden, so dass diese stärker zurückstrahlen und damit insgesamt weniger Wärmeenergie aufnehmen.





## Bereich 19: Gewerbegebiet Ost und Karlsruher Straße



### Beschreibung:

Der Bereich 19 nimmt einen großen Teil der östlichen Kernstadt ein und erstreckt sich von der Bundesstraße 36 im Nordosten bis zur BAB 5 im Osten. Es umfasst vor allem eine ausgedehnte Gewerbefläche mit ausgeprägter Hallenbebauung, nur vereinzelt ist auch angrenzende Wohnnutzung anzutreffen. Zudem gibt es angrenzende Wohnbereiche (Bereich 17). Nördlich der Raumentaler Straße nehmen die Grünanteile zu, darüber hinaus sind entlang der BAB 5 Wald und landwirtschaftlich genutzte Flächen vorhanden.

### Klimatische Situation:

Entsprechend der heterogenen Nutzungsstruktur zeigt sich ein räumlich differenziertes Bild der bioklimatischen Situation. Die bioklimatische Situation in den Gewerbeflächen ist vorwiegend durch eine Überwärmung geprägt und daher vorwiegend als bioklimatisch ungünstig einzuordnen. Ihnen steht die kleinräumige Wohnbebauung gegenüber, welche häufig an Grün- und Freiflächen angrenzt und mit dem Einwirken von Kalt-/Frischluft meist günstige Bedingungen aufweist.

Die modellierte Temperatur im Bereich 19 (Höhe: 2 m, Zeitpunkt: 4 Uhr) beträgt im Mittel 18,0°C.

### Planungshinweise:

Für den gewerblich genutzten Flächenteil lässt sich über eine Begrünung der Südfassaden sowie deren Verschattung mit Baumreihen der Wärmeeintrag in den Gebäudeinnenraum reduzieren. Über die Substratauflage wirkt eine Dachbegrünung isolierend und verringert das Aufheizen eines Gebäudes, während es im Winter zur Senkung des Heizbedarfes beitragen kann. Darüber hinaus erfolgt eine Retention von Niederschlagswasser, wodurch die Kanalisation vor allem bei Starkregenereignissen entlastet wird. Darüber hinaus kann über die Verwendung von hellen Oberflächen auf ebenerdig versiegelte Flächen oder Fassaden die Reflexion der Sonnenstrahlung (Albedo) erhöht werden, so dass diese stärker zurückstrahlen und damit insgesamt weniger Wärmeenergie aufnehmen.



## Bereich 20: Bahnhofstraße



### Beschreibung:

Der Bereich 20 wird vom Schlosspark im Nordwesten sowie der Bahntrasse im Osten eingerahmt und ist vorwiegend durch eine Block- und Blockrandbebauung geprägt. Die stark befahrene Bahnhofstraße durchquert das Areal. Zur Raentaler Straße/Murg hin lockert sich die dichte Bebauung etwas auf.

### Klimatische Situation:

Aufgrund der Lage in der Kernstadt und der verdichteten Siedlungsstruktur entlang der Bahnhofstraße tritt hier eine weniger günstig bis ungünstige bioklimatische Situation auf. Im Norden und Süden des Areals ist mit einem höheren Grünanteil die Situation günstiger ausgeprägt.

Die modellierte Temperatur im Bereich 20 (Höhe: 2 m, Zeitpunkt: 4 Uhr) beträgt im Mittel 18,7°C.

### Planungshinweise:

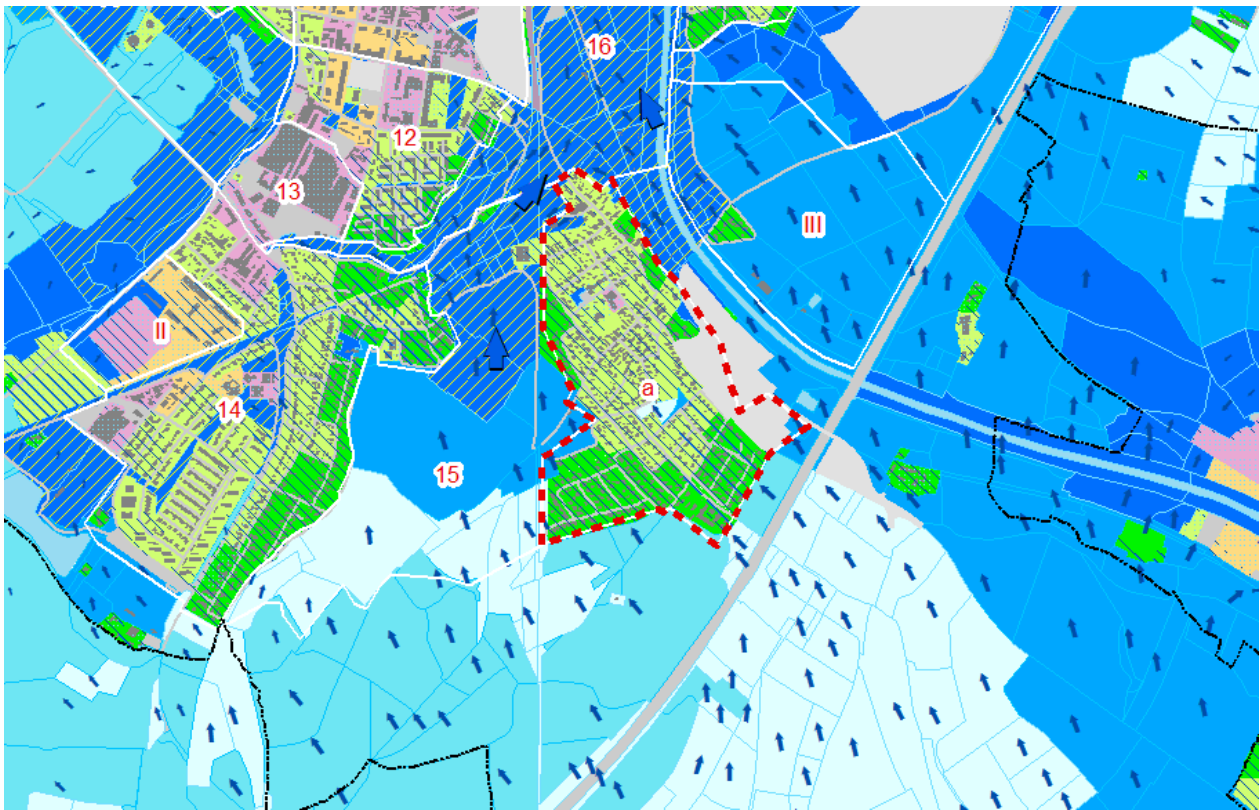
Um die überwiegend günstige bioklimatische Situation in den weniger dicht bebauten Flächenanteilen zu erhalten, sollte hier von einer weiteren Verdichtung abgesehen werden.

In der übrigen Siedlungsfläche sollten Maßnahmen zur Verbesserung des „Binnenklima“ durchgeführt werden. Hierzu zählt zum einen die Erhöhung des Grünvolumens (Dach- und Fassadenbegrünung, Straßenbegleitgrün, Entsiegelungen etwa mit Rasensteinen). Zudem weist die Bahnhofstraße gegenwärtig einen Mangel an Verschattung auf, so dass eine weitere Begrünung des Straßenraums angestrebt werden sollte.





## Bereich a: Niederbühl



### Beschreibung:

Der Stadtteil Niederbühl (Bereich a) liegt im Süden der Stadt zwischen der Murg, der Bahntrasse und der Autobahn. Im Süden grenzt der Bereich an eine große Waldfläche. Niederbühl ist gleichmäßig mit Einfamilienhäusern bebaut und verfügt über viele kleinere Grünflächen.

### Klimatische Situation:

Fast im gesamten Bereich a liegt eine günstige bis sehr günstige bioklimatische Situation vor. Nur auf einer kleinen Fläche im Norden (Laurentius Kirche) ist durch einen größeren Versiegelungsgrad eine ungünstige Situation anzutreffen. Die vorwiegend günstige Situation ist einerseits auf den hohen Grünanteil und andererseits auf die überdurchschnittlich gute Durchlüftung zurückzuführen. Nahezu der gesamte Ortsteil wird in den Nachtstunden von Kalt-/Frischluft überströmt.

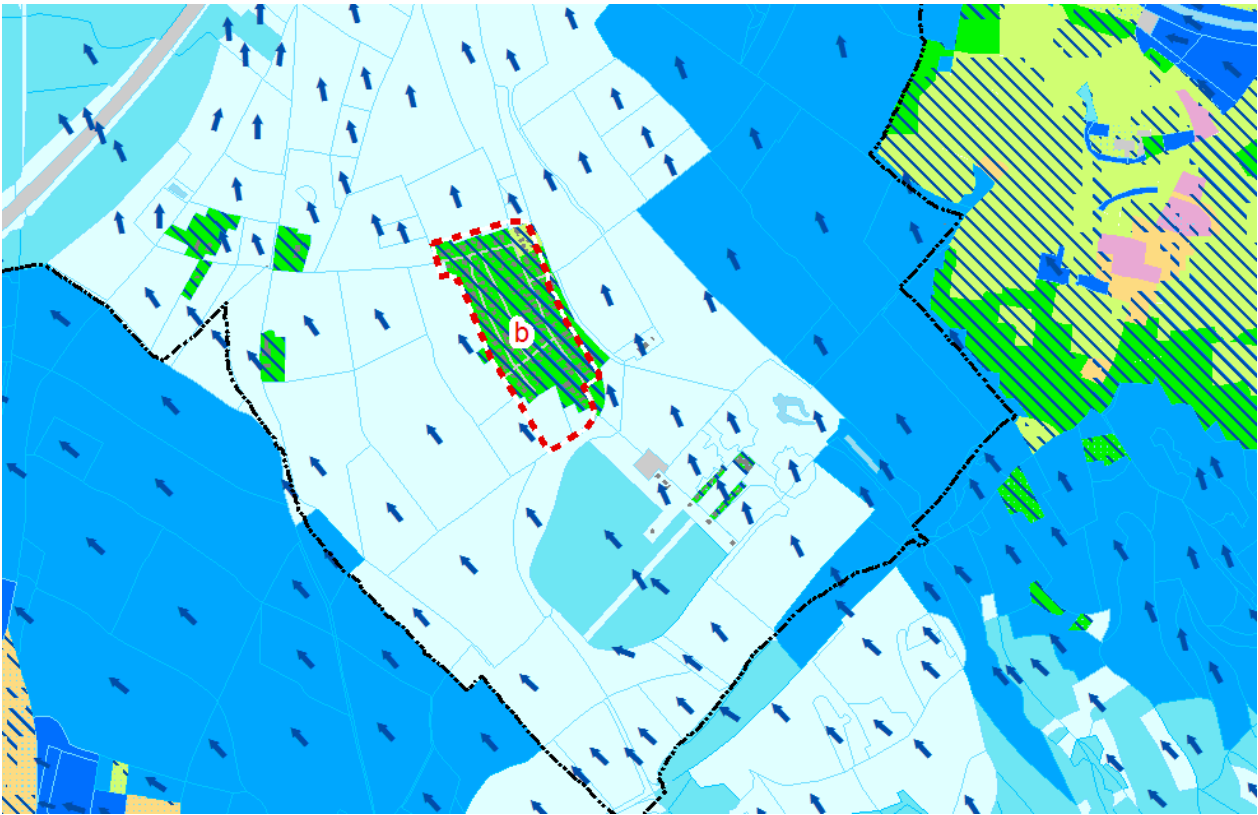
Die modellierte Temperatur im Bereich a (Höhe: 2 m, Zeitpunkt: 4 Uhr) beträgt im Mittel 17,4°C.

### Planungshinweise:

Aufgrund der guten bzw. sehr guten bioklimatischen Situation in diesem Gebiet besteht eine mittlere Empfindlichkeit gegenüber nutzungsintensivierenden Eingriffen. Um die überwiegend günstige Situation zu erhalten, sollten die Bauhöhen möglichst gering bleiben und bei Neubauten die Baukörperstellung im Hinblick auf Kaltluftströmungen berücksichtigt werden.



## Bereich b: Förch



### Beschreibung:

Förch (Bereich b) ist ein kleiner Ortsteil im Süden von Rastatt, der großflächig von landwirtschaftlich genutzter Fläche umgeben ist. Hier wurden entlang der Favorite- und Bastgartenstraße sich fast nur Einfamilienhäuser mit Hausgärten gebaut.

### Klimatische Situation:

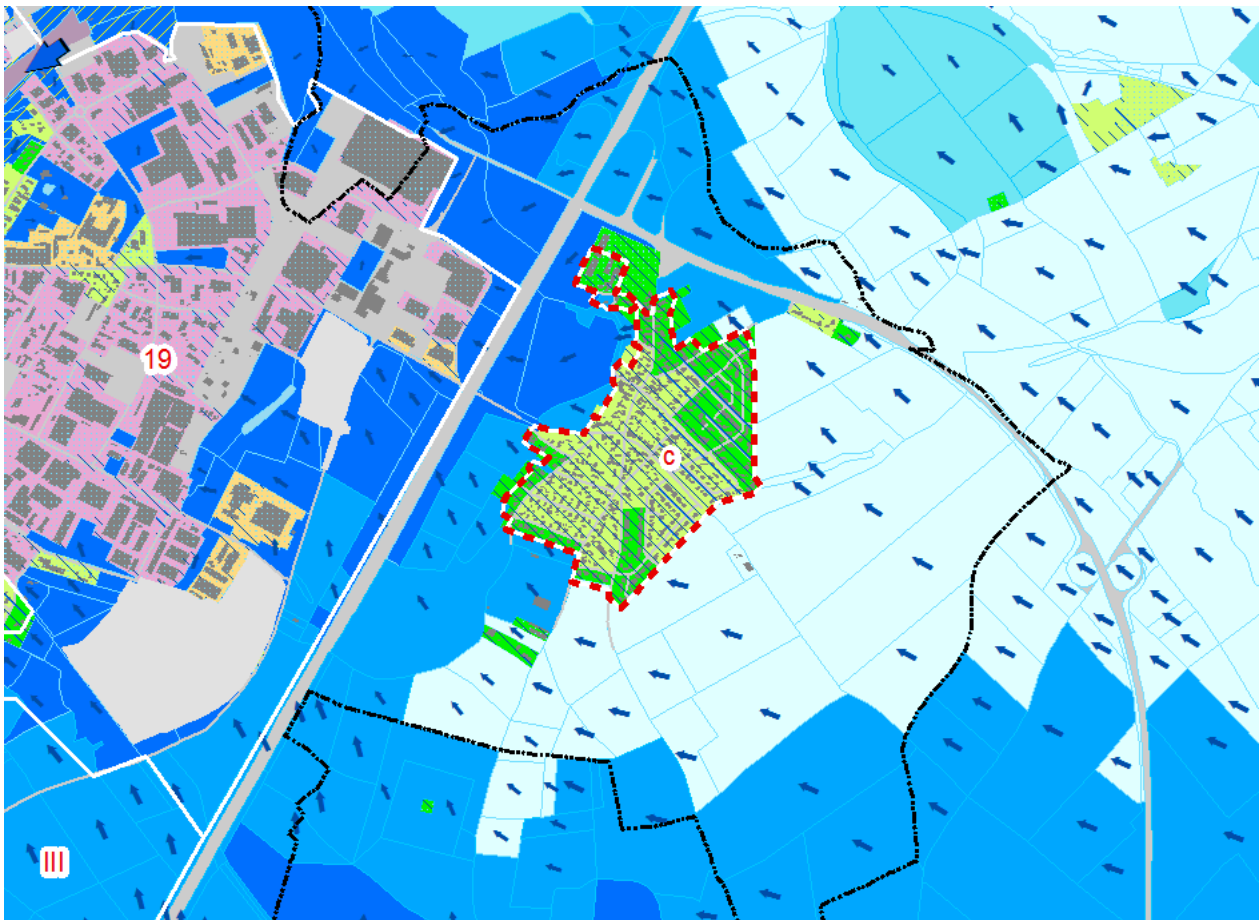
In ganz Förch ist die bioklimatische Situation als sehr günstig anzusehen. Der Siedlungsbereich ist durchzogen von Grün- und Gartenflächen und wird von einem intensiven Kaltluftvolumenstrom aus Süden sehr gut durchlüftet. Daher liegt die durchschnittliche modellierte Temperatur in Bereich b in 2m Höhe und um 4 Uhr nachts nur 16,6°C.

### Planungshinweise:

Die weitestgehend sehr gute bioklimatische Situation in diesem Gebiet erfordert keine zwingende Verbesserung der Lage. Um die überwiegend günstige Situation zu erhalten, sollte bei Neubauten die Baukörperstellung im Hinblick auf Kaltluftströmungen berücksichtigt werden.



## Bereich c: Rauental



### Beschreibung:

Der Stadtteil Rauental (Bereich c) befindet sich östlich der BAB 5. Das gesamte Siedlungsgebiet ist mit 2-3 geschossigen Einfamilienhäusern bebaut und weist einen hohen Grünanteil auf.

### Klimatische Situation:

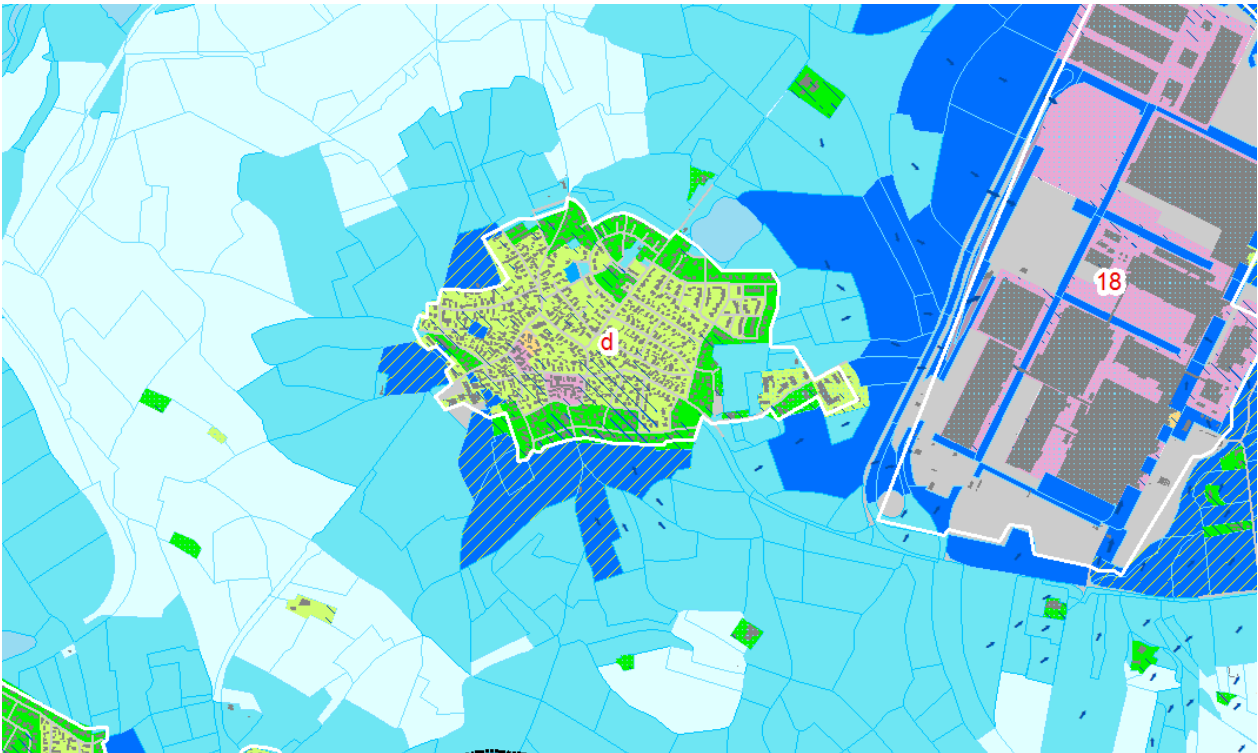
Entsprechend seiner wenig verdichteten Bebauungsstruktur weist Bereich c eine günstige bis sehr günstige bioklimatische Situation auf, da der Stadtteil durch die vielen Grünflächen und lockere Bebauung in den Nachtstunden gut durchlüftet wird. Die modellierte Temperatur im Bereich c (Höhe: 2 m, Zeitpunkt: 4 Uhr) beträgt im Mittel 17,3°C.

### Planungshinweise:

Aufgrund der guten bzw. sehr guten bioklimatische Situation in diesem Gebiet besteht eine mittlere Empfindlichkeit gegenüber nutzungsintensivierenden Eingriffen. Um die überwiegend günstige Situation zu erhalten, sollten die Bauhöhen möglichst gering bleiben und bei Neubauten die Baukörperstellung im Hinblick auf Kaltluftströmungen berücksichtigt werden.



## Bereich d: Ottersdorf



### Beschreibung:

Ottersdorf (Bereich d) liegt im Westen von Rastatt und ist ebenfalls relativ homogen mit Einfamilienhäusern (zwei- bis dreigeschossig) bebaut. Es ist umgeben von Ackerflächen, im Osten befindet sich ein kleines Gewerbegebiet.

### Klimatische Situation:

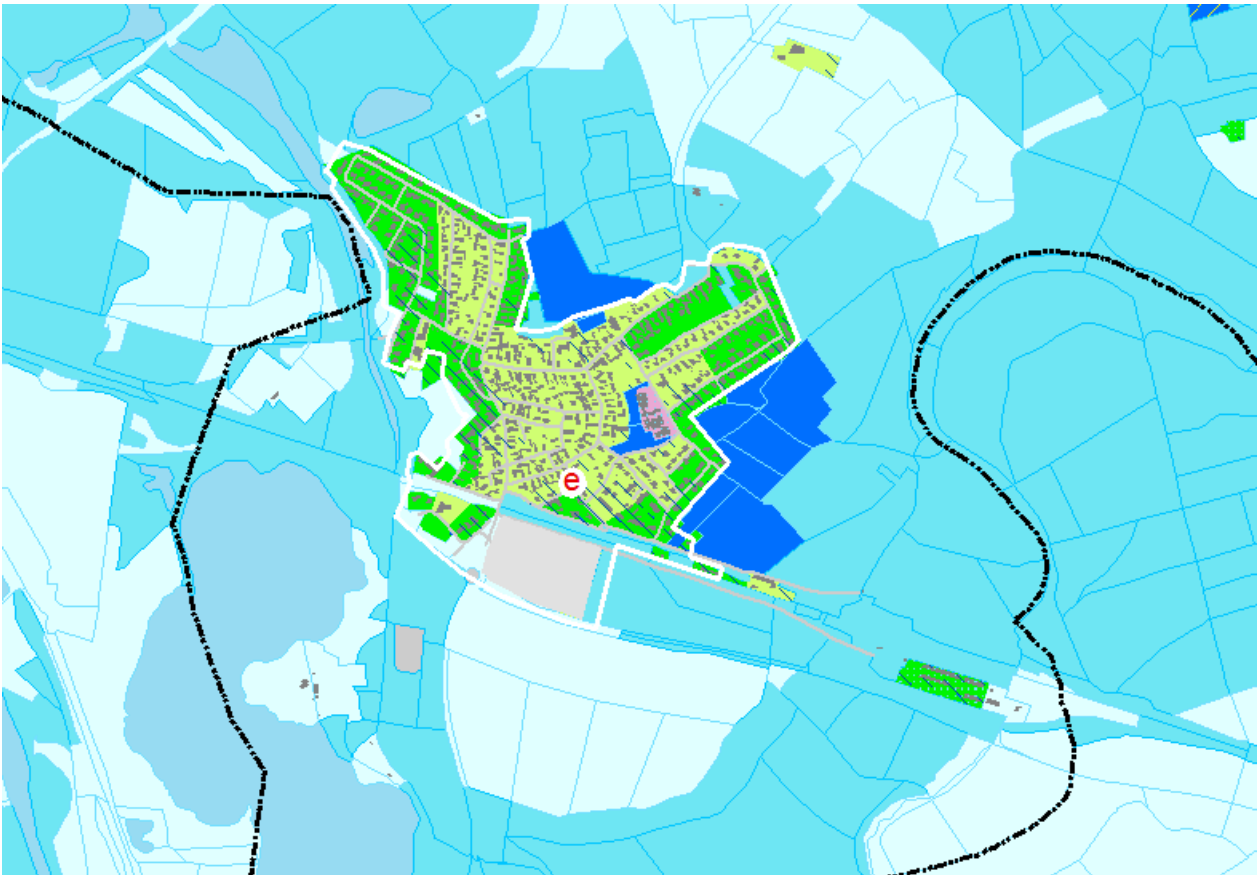
Im größten Teil von Ottersdorf liegt eine günstige bis sehr günstige bioklimatische Situation vor. Nur im Ortskern entlang der Friedrichstraße sind durch einen größeren Versiegelungsgrad und eine bauliche Verdichtung weniger günstige bis ungünstige Bedingungen anzutreffen. Ein flächenhaftes Einwirken von Kalt-/Frischlufte ist vorwiegend im südlichen Ortsteil zu beobachten.

Die modellierte Temperatur im Bereich d (Höhe: 2 m, Zeitpunkt: 4 Uhr) beträgt im Mittel 17,4°C.

### Planungshinweise:

Aufgrund der vorwiegend günstigen bioklimatischen Bedingungen besteht eine mittlere Empfindlichkeit gegenüber nutzungsintensivierenden Eingriffen. Daher sollten die Bauhöhen möglichst gering bleiben und bei Neubauten die Baukörperstellung im Hinblick auf Kaltluftströmungen berücksichtigt werden. Im Bereich des stärker überwärmten Ortskerns sollte das Potenzial für Entsiegelung bzw. Dach- und Fassadenbegrünung geprüft werden.



**Bereich e: Wintersdorf****Beschreibung:**

Wintersdorf (Bereich e) befindet sich westlich des Rastatter Rieds und ist vorwiegend von landwirtschaftlich genutzter Fläche umgeben. Es dominiert eine Reihen- und Einzelhausbebauung mit, wobei der Ortskern eine höhere bauliche Dichte aufweist. Im Süden befindet sich eine Gewerbefläche von geringer Größe.

**Klimatische Situation:**

Die bioklimatische Situation ist vorwiegend als günstig bis sehr günstig einzuordnen, eine Überwärmung ist nur lokal festzustellen. Ein Einwirken von Kalt-/Frischlufte ist im westlichen und südlichen Randbereich zu beobachten.

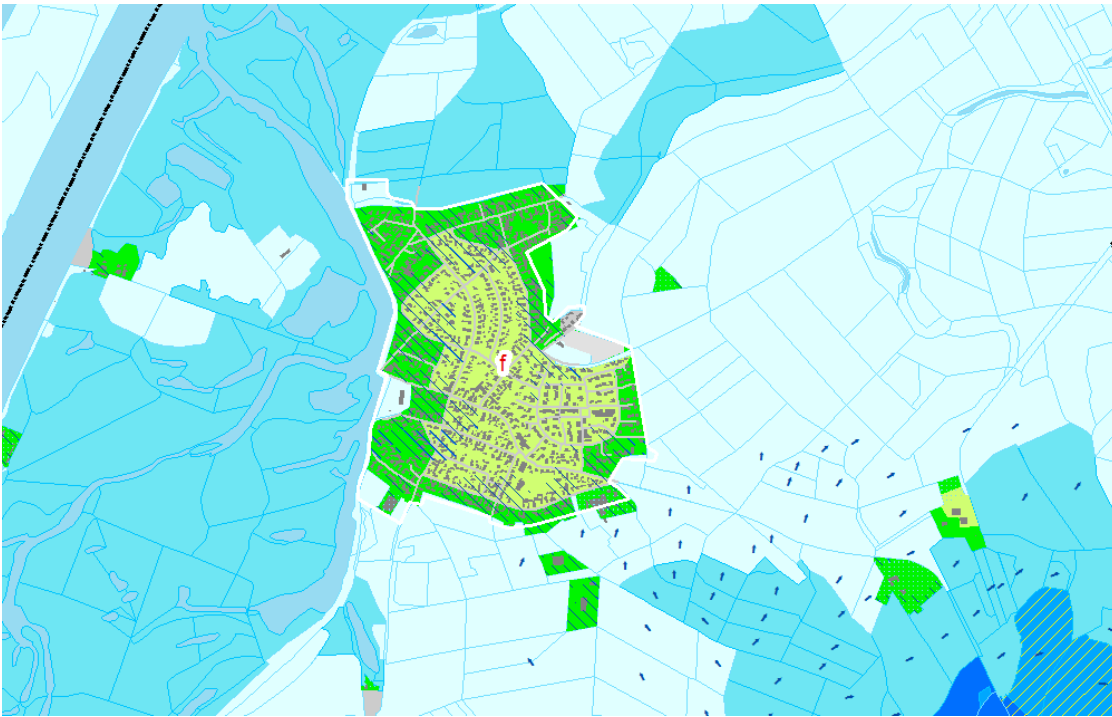
Die modellierte Temperatur im Bereich e (Höhe: 2 m, Zeitpunkt: 4 Uhr) beträgt im Mittel 17,2°C.

**Planungshinweise:**

Aufgrund der vorwiegend günstigen bioklimatischen Bedingungen besteht eine mittlere Empfindlichkeit gegenüber nutzungsintensivierenden Eingriffen. Daher sollten die Bauhöhen möglichst gering bleiben und bei Neubauten die Baukörperstellung im Hinblick auf Kaltluftströmungen berücksichtigt werden.



## Bereich f: Plittersdorf



### Beschreibung:

Plittersdorf (Bereich f) befindet sich im nordwestlichen Stadtgebiet von Rastatt und ist durch eine homogene Bebauung mit Einfamilienhäusern geprägt. Der Ortsteil ist vollständig von Grünflächen umgeben.

### Klimatische Situation:

Im gesamten Bereich f liegt eine günstige bis sehr günstige bioklimatische Situation vor, was auf die lockere Bebauung mit Hausgärten zurückzuführen ist. Die Randbereiche von Plittersdorf werden gut durchlüftet, für die Ortsmitte ist hingegen kein Einwirken von Kalt-/Frischlufte festzustellen. Aufgrund der Siedlungstypologie sind aber auch hier günstige Bedingungen anzutreffen.

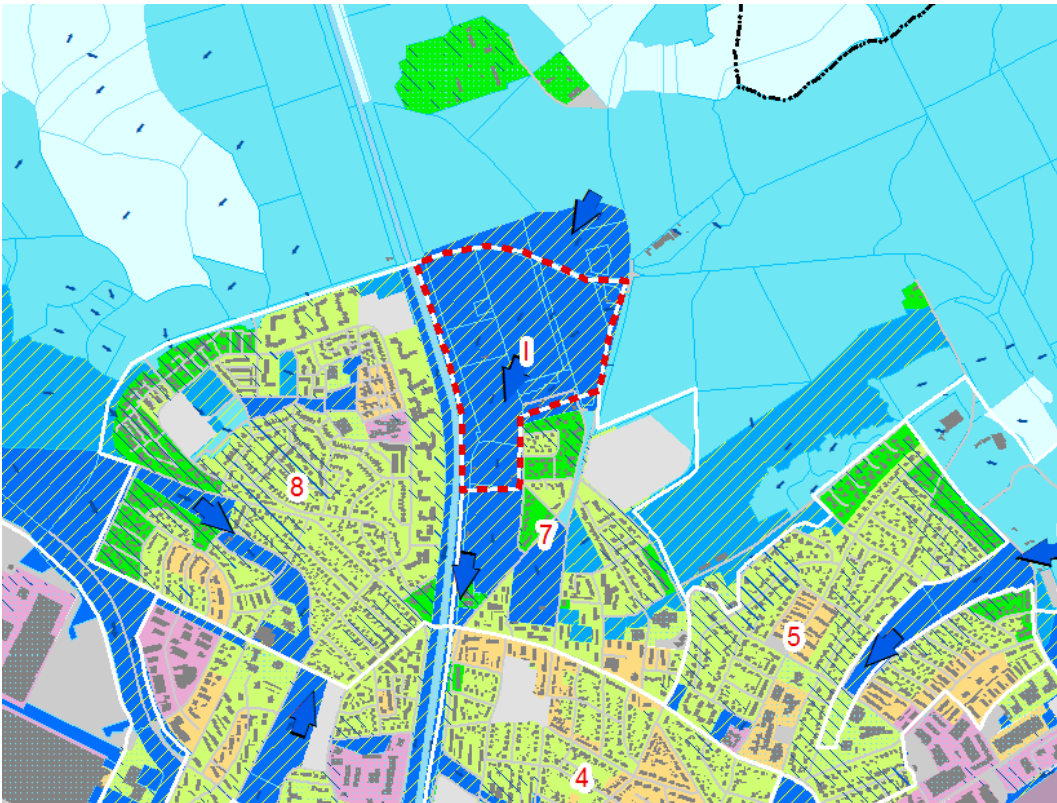
Die modellierte Temperatur im Bereich f (Höhe: 2 m, Zeitpunkt: 4 Uhr) beträgt im Mittel 17,3°C.

### Planungshinweise:

Aufgrund der vorwiegend günstigen bioklimatischen Bedingungen besteht eine mittlere Empfindlichkeit gegenüber nutzungsintensivierenden Eingriffen. Daher sollten die Bauhöhen möglichst gering bleiben und bei Neubauten die Baukörperstellung im Hinblick auf Kaltluftströmungen berücksichtigt werden.



## Vertiefungsgebiet: FNP-Fläche Bittler



### Beschreibung:

Bereich I liegt im Norden von Rastatt zwischen Murg und Zaystraße. Es handelt sich um eine landwirtschaftlich genutzte Freifläche mit Baumreihe und -gruppen. Mittelfristig ist für einen Teil dieses Areals eine Wohnbebauung vorgesehen (vgl. Kap. 9.1; S. 74).

### Klimatische Situation:

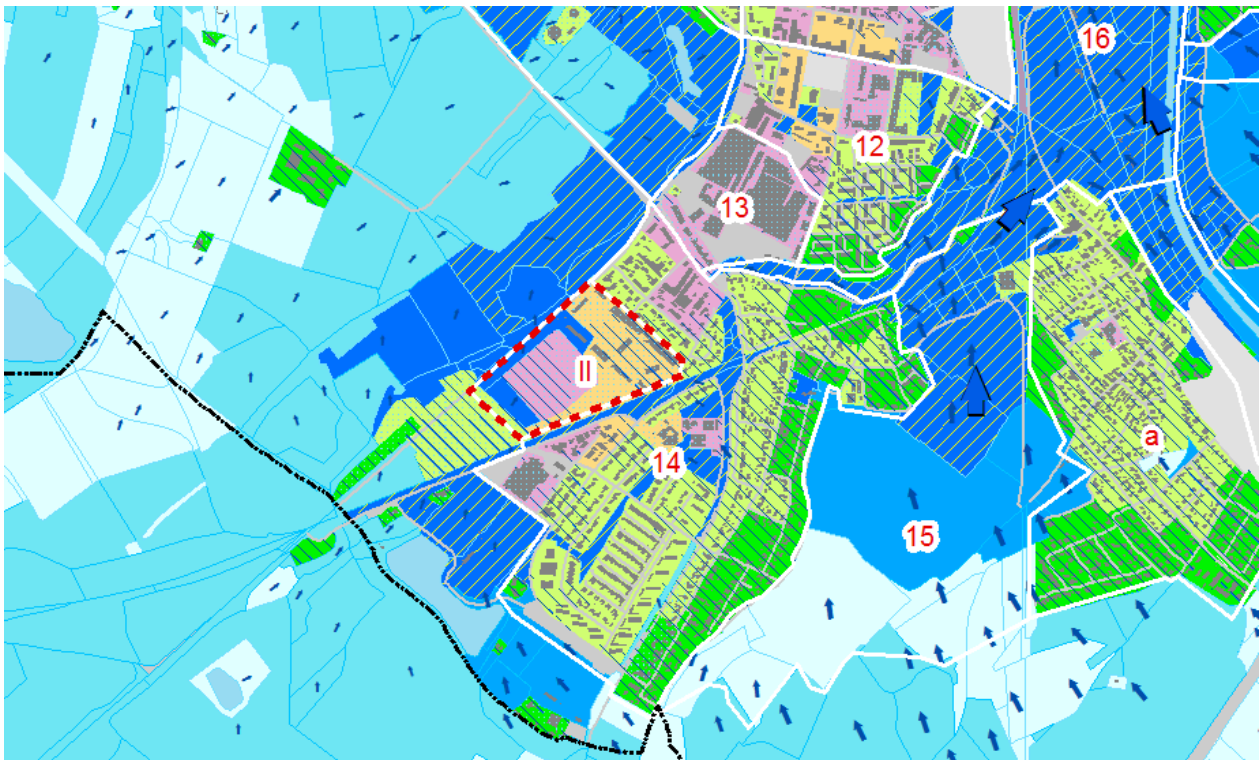
Der Bereich 1 führt die über dem Umland bzw. der Fläche selbst entstehende Kalt-/Frischlufte nach Süden in Richtung Kernstadt. Der sehr geringe Überbauungsgrad äußert sich in einem entsprechend niedrigen Temperaturmittelwert von 14,7°C (Höhe: 2 m, Zeitpunkt: 4 Uhr).

### Planungshinweise:

Die Fläche versorgt den Norden von Rastatt mit nächtlicher Kalt-/Frischlufte und weist eine Klimafunktion als Kaltluftleitbahn auf; dies resultiert in einer sehr hohen stadtklimatischen Bedeutung. Daher sollten in erster Linie bauliche Hindernisse vermieden werden, welche einen Kaltluftstau auslösen könnten (z.B. Riegelbebauung quer zur Strömungsrichtung). Die Vernetzung mit den Freiflächen des Umlandes sollte gewährleistet bleiben.



## Vertiefungsgebiet: Südlicher Stadteingang



### Beschreibung:

Der Bereich II im Süden der Stadt ist eine Konversionsfläche mit dem Potenzial, dort mittelfristig Wohnbebauung zu realisieren. Derzeit ist Bereich II eine in Teilbereichen stark versiegelte Brache mit wenigen zeilenartig ausgeprägten Gebäuden.

### Klimatische Situation:

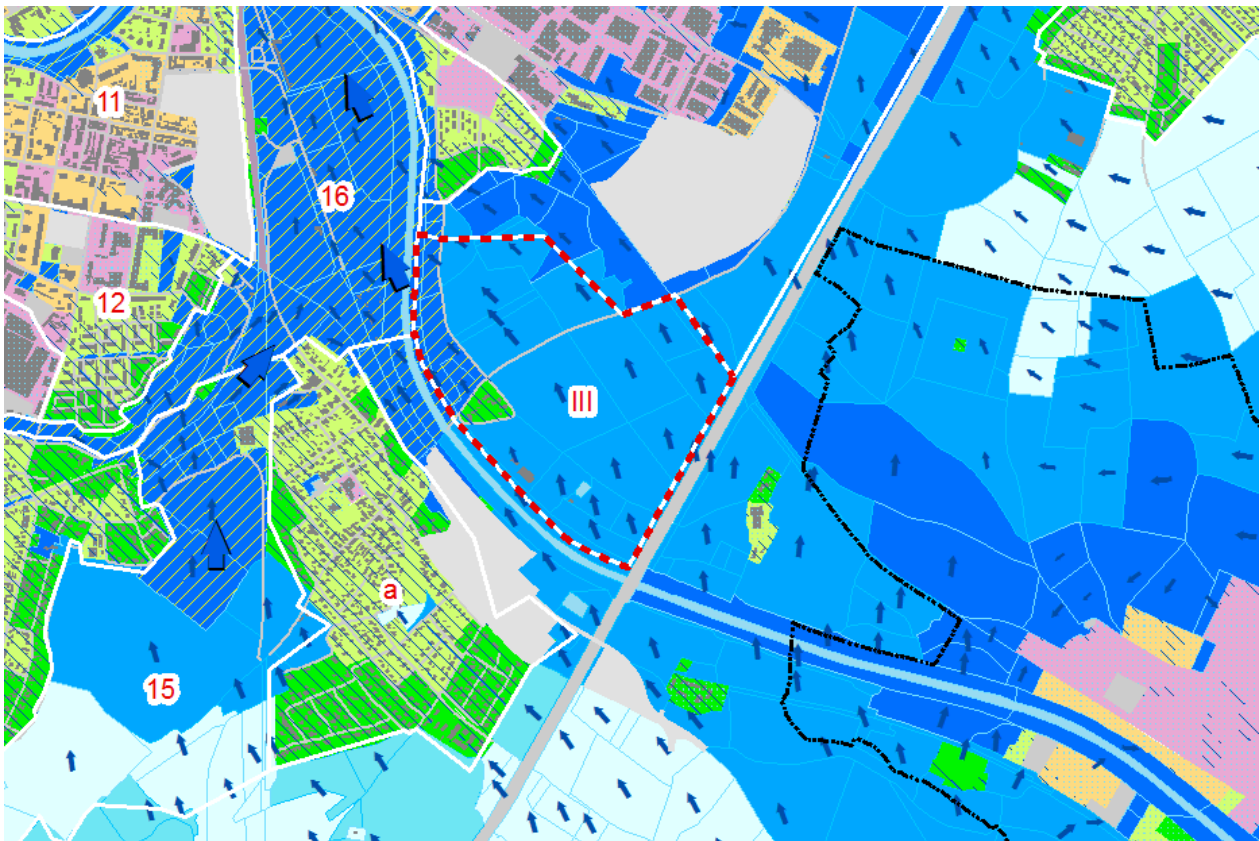
Auf dem Großteil der Fläche ist durch den hohen Versiegelungsgrad eine weniger günstig bis ungünstige bioklimatische Situation vorzufinden, was vor allem auf die starke Erwärmung am Tage zurückzuführen ist. Gleichzeitig ist auf einem Großteil der Fläche ein Einwirken nächtlicher Kalt-/Frischlufte zu beobachten. Die Versiegelungssituation spiegelt sich in einer mittleren Lufttemperatur von 18,4°C wider (Höhe: 2 m, Zeitpunkt: 4 Uhr).

### Planungshinweise:

Es ist zu erwarten, dass bei Realisierung einer Wohnbebauung die in der Osthälfte gegenwärtig starke Oberflächenversiegelung abnehmen wird. Dies ist aus klimatischer Sicht positiv zu sehen. Daher sollten die Bauhöhen möglichst gering bleiben und bei Neubauten die Baukörperstellung im Hinblick auf Kaltluftströmungen berücksichtigt werden.



### Vertiefungsgebiet III: Oberes Bauland



#### Beschreibung:

Beim Bereich III handelt es sich um eine Potenzialfläche für zukünftige Gewerbebebauung. Die Fläche befindet sich östlich der Kernstadt, im Dreieck zwischen der Murg, der Autobahn und den Bereich 19. Derzeit werden die Grünflächen in diesem Areal überwiegend landwirtschaftlich genutzt.

#### Klimatische Situation:

Bereich III ist ein Gebiet mit einer hohen bioklimatischen Bedeutung für die anliegenden Siedlungsgebiete. Die hier entstehende Kaltluft strömt über die Kaltluftleitbahn im Bereich 16 in Richtung Kernstadt.

Die modellierte Temperatur im Bereich III (Höhe: 2 m, Zeitpunkt: 4 Uhr) beträgt im Mittel 15,0°C.

#### Planungshinweise:

Als Bestandteil der siedlungsnahen Kalt-/Frischlufitentstehungsgebiete weist die Fläche eine hohe Empfindlichkeit gegenüber einer Nutzungsintensivierung aus. Zudem ist eine an die Murg angrenzende Teilfläche einer Kaltluftleitbahn zuzuordnen (siehe Schraffur). Bei einer zukünftigen Bebauung sollte darauf geachtet werden, dass der Luftaustausch mit der Kaltluftleitbahn (Bereich) 16 erhalten bleibt. Bei einer möglichen Bebauung sollten die Baukörper so ausgerichtet werden, dass die Hinderniswirkung minimiert wird. Dazu tragen auch Abstandsflächen bei, welche die Erschließung und den ruhenden Verkehr aufnehmen könnten.

## 9 Vertiefungsgebiete

Für eine zukunftsorientierte Stadtentwicklung ist es erforderlich, größere Nutzungsänderungen auch im stadtklimatischen Kontext zu sehen. Im Rahmen der durchgeführten Untersuchung wurden zwei Vertiefungsgebiete betrachtet und in ihrer klimatischen Wirkung beurteilt. Neben dem Gebiet „Bittler“ handelt es sich um den Neubau eines Hochregallagers im Gewerbegebiet Rastatt.

### 9.1 Vertiefungsgebiet „Bittler“ - Beurteilung der Planvarianten

Die Lage und Größe des geplanten Wohngebietes „Bittler“ wirft die Frage auf, in wieweit die Luftaustauschprozesse und die Durchlüftung der bestehenden Siedlungsflächen beeinträchtigt werden. Ziel soll sein, in den Nachtstunden eine ausreichende Kalt-/Frischlufthversorgung in den angrenzenden Quartieren aufrecht zu erhalten. Dieser Zusammenhang mündet im Wesentlichen in der Frage, in wieweit das geplante Wohngebiet auf eigenbürtige Kaltluftbewegungen in Rastatt einwirken werden und somit die bioklimatische Situation in angrenzenden Siedlungsräumen während sommerlicher Hitzeperioden beeinflussen. Der überplante Raum im Norden von Rastatt ist in der aktuellen Stadtklimaanalyse als



Abb. 21: Klimaanalysekarte im Umfeld des Plangebietes „Bittler“

Kaltluftleitbahn ausgewiesen worden, über die Kalt-/Frischlufth in den Nachtstunden in Richtung auf die Kernstadt zugeführt wird (Abb. 21). Dieses gegenwärtig unbebaute Areal trägt somit zur Durchlüftung des nördlichen Stadtgebietes Rastatt bei.

Für das Wohngebiet „Bittler“ liegen insgesamt fünf Planvarianten vor. Die Planvarianten 1 bis 4 zeichnen sich durch eine Mischung aus Einzel- und Doppelhäusern mit zwei Geschossen sowie Gebäuden mit drei Geschossen aus. Die Variante 5 sieht dagegen eine durchgängige Bebauung mit zweigeschossigen Häusern vor.

Aus stadtklimatischer Sicht ist der Variante 3 der Vorzug zu geben. Deren strukturelles Merkmal ist die Anordnung der dreigeschossigen Gebäude in einer Nord-Süd-Ausrichtung. Dies verringert den Einfluss auf nächtliche Kalt-/Frischlufthströmungen erheblich, da von diesen Gebäuden die größte Hinderniswirkung zu erwarten ist. In Abb. 22 ist dieser Bereich rot umrahmt. Zudem erleichtern die Abstandsflächen am Nordrand des Baufeldes das Eindringen von Kaltluft (blaue Pfeilsignatur). Als klimatisch ungünstig ist hingegen Variante 4 anzusehen, da die Anordnung der dreigeschossigen Baukörper am Nordrand des Baufeldes als „Riegel“ die Kaltluftströmung bedeutend abschwächen könnte. Die übrigen Varianten lassen sich hinsichtlich ihres Einflusses auf den nächtlichen Luftaustausch dazwischen einordnen.

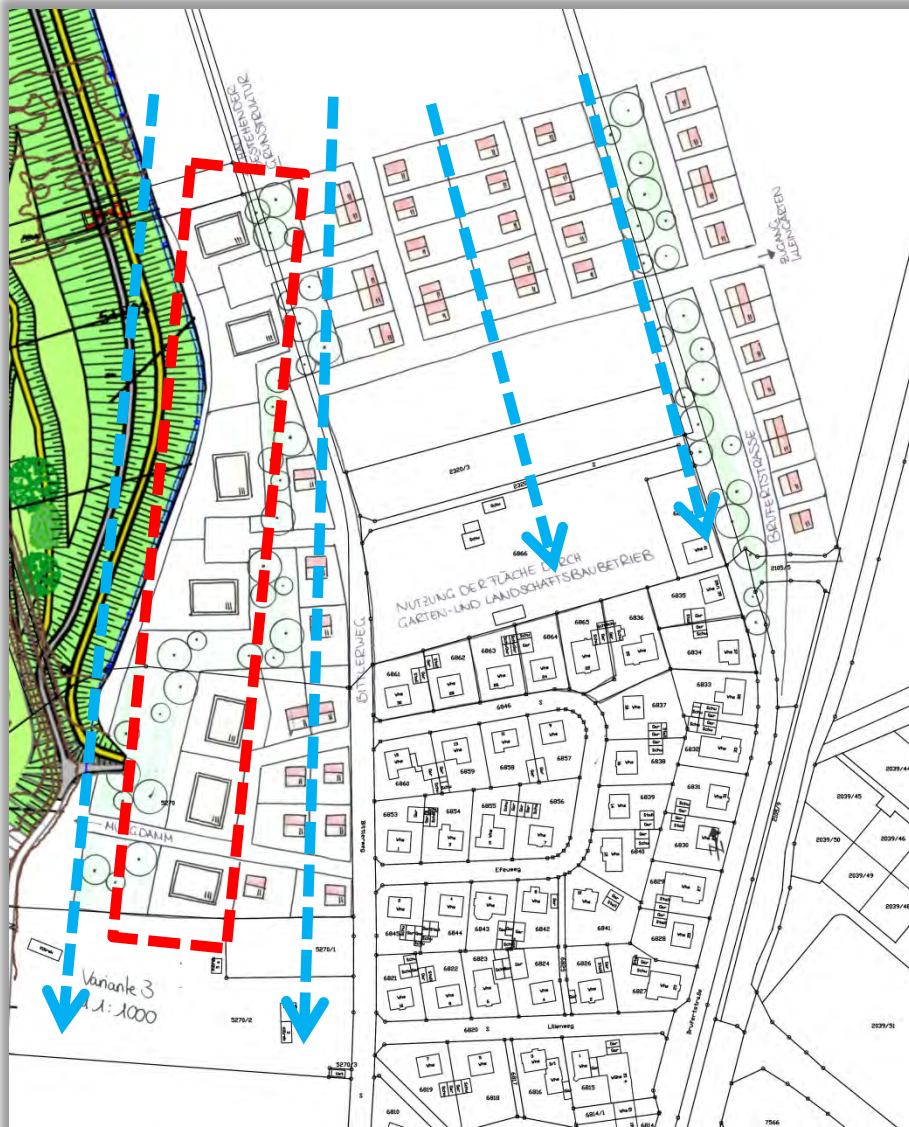


Abb. 22: Planvariante 3



## 9.2 Neubauvorhaben EDEKA Regionallager

### Allgemeines

Die Planungen sehen die Errichtung eines Edeka-Regionallagers auf einem bislang unbebauten Grundstück im Gewerbegebiet Rastatt vor. Das geplante Gebäude wird voraussichtlich eine Höhe von 28m, eine Länge von 300 m und eine Breite von 120 m aufweisen. (Abb. 23).



Abb. 23: Standort Edeka-Regionallager (Quelle Luftbild: Nachbarschaftsverband Karlsruhe)

Das überplante Areal befindet sich westlich der A 5 und grenzt im Norden an eine bestehende Gewerbefläche an. Im Folgenden sollen die möglichen Effekte auf das Stadtklima durch die Nutzungsänderung beurteilt werden. Die Grundlage dafür stellen die aktuellen Ergebnisse der im Jahr 2016 durchgeführten Klimaanalyse für das Gebiet der Stadt Rastatt dar.

### Lufttemperatur in der Nacht

Ein erholsamer Schlaf ist nur bei günstigen thermischen Bedingungen möglich, weshalb der Belastungssituation in den Nachtstunden eine besondere Bedeutung zukommt. Da die klimatischen Verhältnisse der Wohnungen in der Nacht im Wesentlichen nur durch den Luftwechsel modifiziert werden können, ist die Temperatur der Außenluft der entscheidende Faktor bei der Bewertung der thermophysiologicalen Belastung. Entsprechend spiegelt die Beurteilung des Bioklimas weniger die thermische Beanspruchung des Menschen im Freien wider, als vielmehr die positive Beeinflussbarkeit des nächtlichen Innenraumklimas. Die bodennahe Lufttemperatur zum Zeitpunkt 04 Uhr morgens zeigt Abb. 24.





Während über den größeren Grünflächen des Umlandes östlich von Rauental die niedrigsten Werte von ca. 14°C vorliegen (Blau), sind im Gewerbegebiet mit bis zu 20,5°C die höchsten Temperaturen zu beobachten. Im Umfeld der A 5 ist über den unbebauten Freiflächen ein Temperaturniveau von 15,0°C bis 16,5°C anzutreffen. Die durchgrünte und durch Einzel- und Reihenhäuser geprägte Bebauung von Rauental weist Werte von 16,0°C am Ortsrand bis 19,7°C kleinräumig in der Ortsmitte auf. Der nächtliche Wärmeinseleffekt ist nur schwach ausgeprägt, so dass hier bioklimatisch günstige Bedingungen in den Nachtstunden vorliegen. Insgesamt gesehen spiegeln sich Versiegelungsgrad und Bebauungsdichte der Siedlungsflächen deutlich im nächtlichen Temperaturfeld wider. Mit der Erweiterung des Gewerbeareals wird sich die „urbane Wärmeinsel“ vergrößern. Allerdings zeigt sich, dass außerhalb der Gewerbeflächen die Lufttemperatur am Siedlungsrand rasch wieder absinkt. Zudem wirkt der dann von Gebäuden umschlossene Grünraum im Umfeld des Woogsees thermisch ausgleichend auf die Zunahme des Bauvolumens. Aufgrund des Abstands von mehr als 250 m der geplanten Bebauung zur Wohnbebauung in Rauental ist nicht davon auszugehen, dass hier die bodennahe Lufttemperatur nennenswert beeinflusst wird.

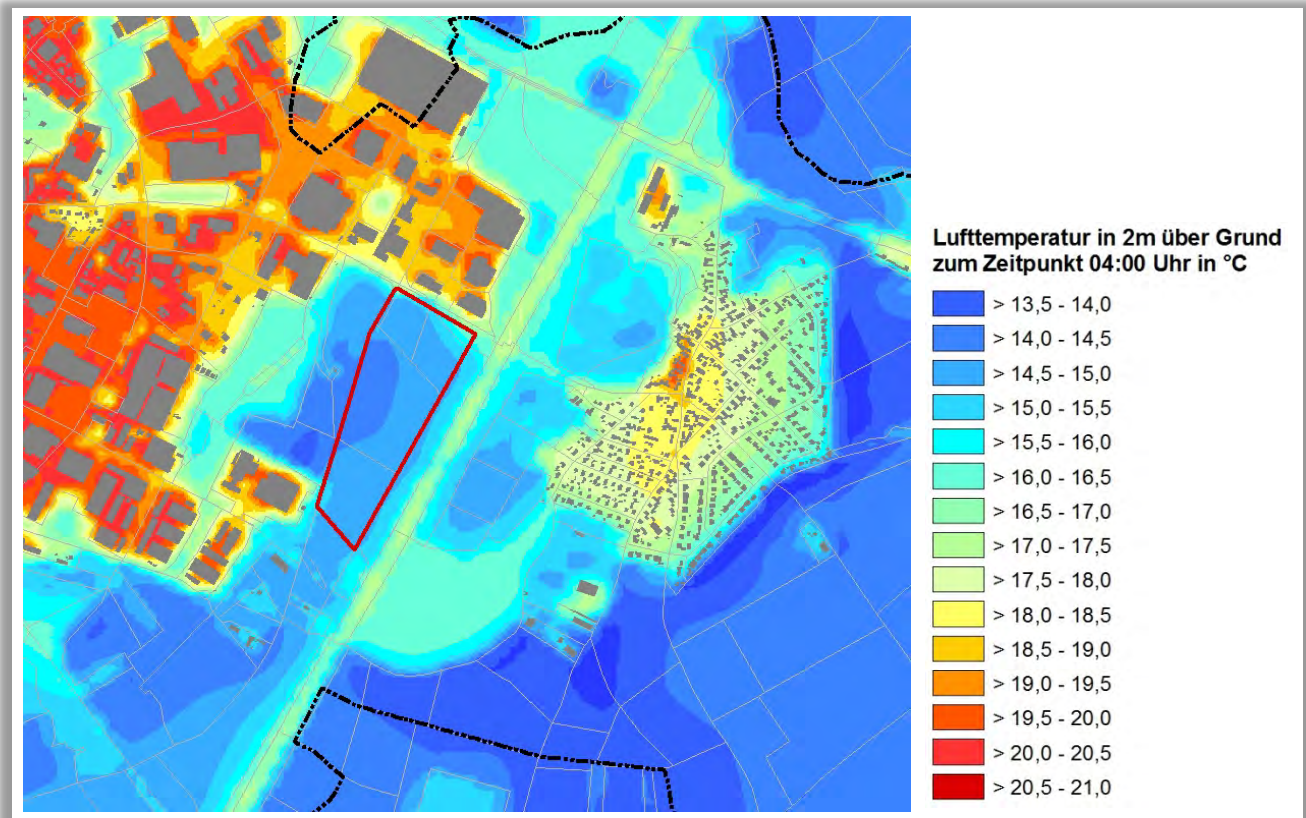


Abb. 24: Lufttemperatur in 2 m Höhe (°C) zum Zeitpunkt 04 Uhr morgens

### Kaltluftströmungsfeld

Den lokalen thermischen Windsystemen kommt eine besondere Bedeutung beim Abbau von Wärme- und Schadstoffbelastungen größerer Siedlungsräume zu. Die landnutzungstypischen Temperaturunterschiede beginnen sich schon kurz nach Sonnenuntergang herauszubilden und können die ganze Nacht über andauern. Dabei erweisen sich insbesondere Wiesen- und Ackerflächen als kaltluftproduktiv. Abhängig von den Oberflächeneigenschaften und Abkühlungsraten geht damit die rasche Entwicklung von



Kaltluftströmungen einher, die zunächst vertikal nur von geringer Mächtigkeit (5-10 m Schichthöhe) sind und sich zwischen der Vielzahl der unterschiedlich temperierten Flächen ausbilden. Diese kleinskaligen Windsysteme werden, je nach lokalen Bedingungen, im Laufe der Nacht von horizontal und vertikal etwas mächtigeren Flur- und Hangwinden (mehrere Dekameter Mächtigkeit) überdeckt, die zwischen den großen Freiflächen und überbauten Arealen entstehen.

Die Abb. 25 zeigt das für den Zeitpunkt 4:00 Uhr modellierte Strömungsfeld, das sich im Basisszenario während einer sommerlichen, austauscharmen Strahlungswetternacht autochthon herausgebildet hat. Die momentane Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit wird über die Pfeilrichtung und Pfeillänge in Form von Vektoren dargestellt. Abgebildet sind alle Rasterzellen, für die aufgrund einer modellierten Mindestwindgeschwindigkeit von  $\geq 0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  und unter Berücksichtigung der gebietstypischen Ausprägung eine potenzielle klimaökologische Wirksamkeit angenommen werden kann. Die Werte beziehen sich auf eine Analysehöhe von 2 m über Grund als Aufenthaltsbereich des Menschen, auf Dachniveau können diese auch darüber hinausgehen. Die auftretenden Strömungsgeschwindigkeiten betragen meist 0,5 bis  $0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Östlich von Rauental sind mit mehr als  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  die höchsten Werte anzutreffen. Möglicherweise wird die Kaltluftdynamik im östlichen Stadtgebiet von Rastatt noch von den Kaltluftabflüssen beeinflusst, welche, ausgehend von der Abdachung des Nordschwarzwalds, in das Rheintal einwirken.

Über Abstandsflächen und Straßen dringt die Kaltluft in das Gewerbegebiet hinein und trägt dort zum Abbau thermischer Belastungen bei. Im modellierten Windfeld zeichnet sich das Planareal mit seinen angrenzenden Grün- und Freiflächen als Luftaustauschbereich ab (Abb. 25).

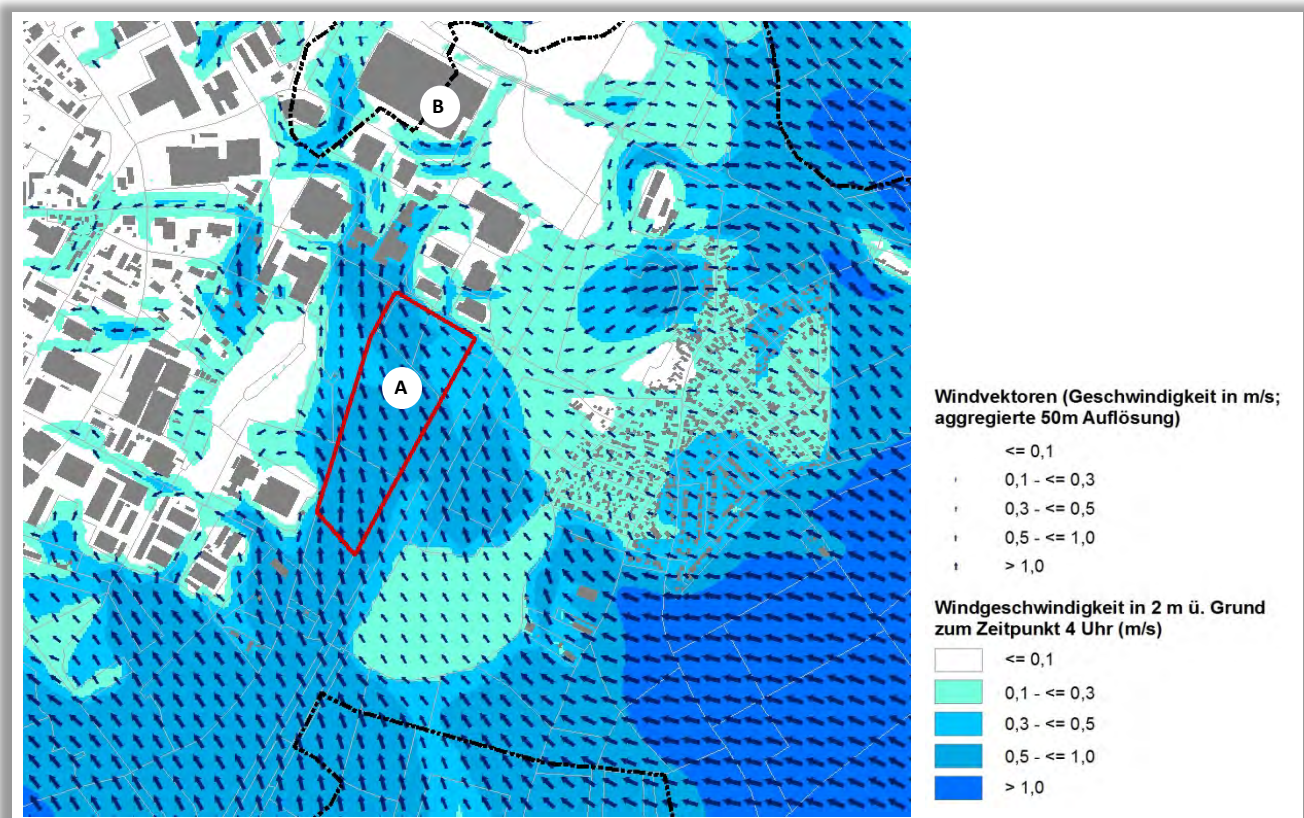


Abb. 25: Bodennahes Kaltluftströmungsfeld zum Zeitpunkt 04 Uhr morgens





Die Errichtung einer 300 m langen Halle würde daher den Zustrom von Kaltluft in das Gewerbegebiet aus südlicher Richtung beeinflussen (A). Allerdings bleibt die Durchlüftung des Bereiches nördlich der Rauentaler Straße über die östlich angrenzenden Grünflächen erhalten (B). Es ist zudem nicht davon auszugehen, dass die Durchlüftung in Rauental nennenswert beeinträchtigt wird.

### Schlussfolgerung

Wie die Planungshinweiskarte in Abb. 26 zeigt, weist die überplante Grünfläche durch die Zuordnung zu den überwärmten Gewerbeflächen zunächst eine sehr hohe bioklimatische Bedeutung auf. Es liegt allerdings kein Bezug zu bioklimatisch belasteten Wohngebieten vor. Wenngleich davon auszugehen ist, dass sich mit dem geplanten Hallenneubau eine Zunahme der bodennahen Lufttemperatur ergibt, werden die klimaökologischen Auswirkungen für die Bestandsflächen in Rauental aufgrund deren thermisch gering belasteten Umfeldes als vertretbar angesehen.

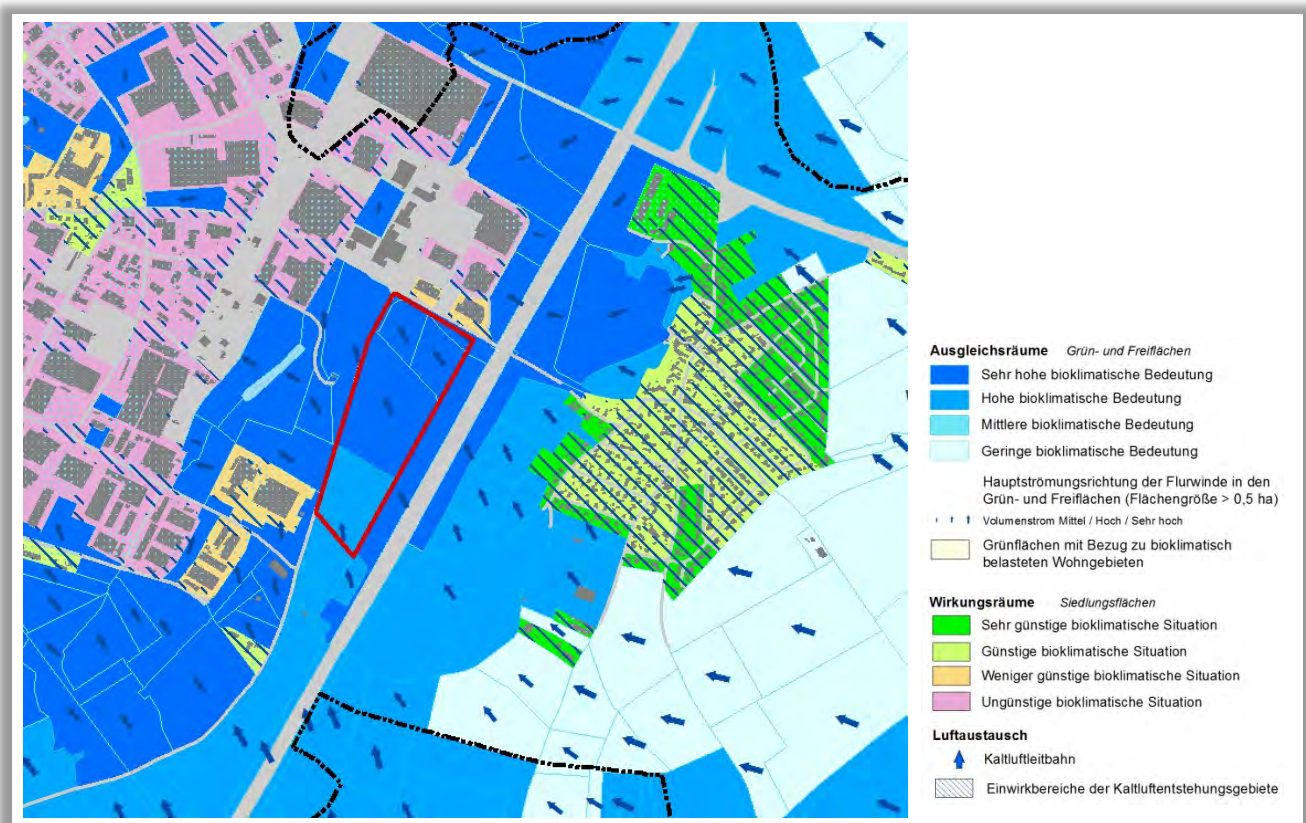


Abb. 26: Planungshinweiskarte im Umfeld der Planfläche

Eine Umsetzung der vorgesehenen Bebauung würde den nächtlichen Luftaustausch hier voraussichtlich nicht beeinflussen. Planungsbedingte Beeinträchtigungen von weiträumigeren Strömungssystemen in Richtung empfindlicher Nutzungen im übrigen Stadtgebiet sind nicht zu erwarten.



## 10 Literatur

- BBSR - Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (2012): Modellvorhaben des experimentellen Wohnungs- und Städtebaus (ExWoSt). Modellprojekt „Innenentwicklung versus Klimakomfort im Nachbarschaftsverband Karlsruhe (NVK)“. Endbericht 2012
- DWD DEUTSCHER WETTERDIENST (2016): Mittelwerte 30-jähriger Perioden. Internet: [www.dwd.de](http://www.dwd.de) (Zugriff: 09.12.2016)
- GROSS, G. (1989): Numerical simulation of the nocturnal flow systems in the Freiburg area for different topographies. Beitr. Phys. Atmosph. , H 62 , S. 57-72.
- GROSS, G. (1993): Numerical Simulation of canopy flows. Springer Verlag Heidelberg.
- GROSS, G. (2002): The exploration of boundary layer phenomena using a nonhydrostatic mesoscale model. Meteor. Z.schr. Vol. 11 Nr. 5., S. 701-710.
- KIESE, O. et al. (1992): Stadtklima Münster. Entwicklung und Begründung eines klimarelevanten Planungskonzeptes für das Stadtgebiet von Münster. Stadt Münster - Werkstattberichte zum Umweltschutz 1/1992
- MOSIMANN, Th., P. TRUTE & Th. FREY (1999): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, Heft 4/99, S. 202-275.
- NATIONAL GEOSPATIAL INTELLIGENCE AGENCY (2004): Digital Terrain Elevation Data.
- RÖCKLE, R. und C.-J. RICHTER (1995): Ermittlung des Strömungs- und Konzentrationsfeldes im Nahfeld typischer Gebäudekonfigurationen - Modellrechnungen. PEF-Bericht 136, Forschungszentrum Karlsruhe.
- RODI, W. (1980): Turbulence models and their application in hydraulics. IAHR Section on Fundamentals of Division II: Experimental and mathematical fluid dynamics, Delft.
- SCHÄDLER, G. et al. (1996): Vergleich und Bewertung derzeit verfügbarer mikroskaliger Strömungs- und Ausbreitungsmodelle. PEF Bericht 138, Forschungszentrum Karlsruhe.
- SCHERER, D. (2007): Viele kleine Parks verbessern Stadtklima. Mit Stadtplanung Klima optimieren. In: TASPO Report. Die Grüne Stadt. Oktober 2007
- ULRICH, W. (1987): Simulationen von thermisch induzierten Winden und Überströmungssituationen. Wiss. Mitt. Meteor. Inst. Univ. München Nr. 57.
- VDI Verein Deutscher Ingenieure (2008): Richtlinie VDI 3785, Blatt1, Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima, Düsseldorf.
- VDI Verein Deutscher Ingenieure (1997): Richtlinie VDI 3787 Blatt 1. Klima- und Lüfthygienekarten für Städte und Regionen. Düsseldorf.





## 11 Glossar

**Ausgleichsleistung:** Durch lokalen → Luftaustausch bzw. Lufttransport zwischen → Ausgleichs- und → Wirkungsraum wird eine positive Beeinflussung der bioklimatischen bzw. lufthygienischen Verhältnisse erzielt.

**Ausgleichsraum:** Grüengeprägte, relativ unbelastete Freifläche, die an einen Wirkungsraum angrenzt oder mit diesem über wenig raue Strukturen (→ Leitbahnen) verbunden ist. Durch die Bildung kühlerer und frischerer Luft sowie über funktionsfähige Austauschbeziehungen trägt dieser zur Verminderung oder zum Abbau der Belastungen im Wirkungsraum bei. Mit seinen günstigen klimatischen und lufthygienischen Eigenschaften bietet er eine besondere Aufenthaltsqualität für Menschen.

**Austauscharme Wetterlage:** → Strahlungswetterlage

**Autochthone Wetterlage:** → Strahlungswetterlage

**Autochthones Windfeld:** Kaltluftabflüsse und Flurwinde, welche sich als eigenbürtige, landschaftsgesteuerte Luftaustauschprozesse während einer windschwachen sommerlichen → Strahlungswetterlage ausbilden.

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

**Eindringtiefe:** Reichweite einer Kalt-/Frischlufstromung in den → Wirkungsraum hinein, ausgehend vom Bebauungsrand.

**Flurwind:** Thermisch bedingte schwache Ausgleichsströmung, die durch horizontale Temperatur- und Druckunterschiede zwischen vegetationsgeprägten Freiflächen im Umland und (dicht) bebauten Gebieten entsteht. Er strömt vor allem in den Abend- und Nachtstunden schubweise in das Zentrum der Überwärmung (meist Innenstadt oder Stadtteilzentrum) ein.

**Immissionsökologie:** Analysiert die Wechselwirkungen zwischen Luftbelastungen und „landschaftsbürtigen“ bodennahen atmosphärischen Prozessen (→ Klimaökologie) sowie ihre Steuerung durch allgemeine landschaftliche Strukturgrößen (Relief, Bebauung...). Zusätzlich werden die Auswirkungen der so modifizierten Immissionsfelder auf den Naturhaushalt untersucht.

**Kaltluftabfluss:** An wenig rauen Hängen und Tälern mit genügendem Gefälle (theoretisch ab etwa 0,5°) setzt sich die Kaltluft aufgrund der Schwerkraft, dem Gefälle folgend, in Bewegung. Der Abfluss erfolgt schubweise. Er setzt bereits vor Sonnenuntergang ein und kann die ganze Nacht andauern.

**Kaltluftvolumenstrom:** Unter dem Begriff Kaltluftvolumenstrom versteht man, vereinfacht ausgedrückt, das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite). Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit m<sup>3</sup>, die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise



eines Hanges oder einer Leitbahn fließt. Da die Modellergebnisse nicht die Durchströmung eines natürlichen Querschnitts widerspiegeln, sondern den Strömungsdurchgang der gleichbleibenden Rasterzellenbreite, ist der resultierende Parameter streng genommen nicht als Volumenstrom, sondern als rasterbasierte Volumenstrom-*dichte* aufzufassen. Dies kann man so veranschaulichen, indem man sich ein quer zur Luftströmung hängendes Netz vorstellt, das ausgehend von der Obergrenze der Kaltluftschicht<sup>3</sup> bis hinab auf die Erdoberfläche reicht. Bestimmt man nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft, erhält man den rasterbasierten Kaltluftvolumenstrom.

**Klimafunktionen:** Prozesse und Wirkungen in der Landschaft, die das örtliche Klima mitbestimmen und Belastungen von Organismen durch besondere Klimabedingungen erhöhen oder abbauen.

**Klimaökologie:** Analysiert den Einfluss von Klimatelementen und des Klimas auf das Landschaftsökosystem und seinen Haushalt. Untersucht wird weiterhin die Steuerung der bedeutsamen, bodennahen atmosphärischen Prozesse durch die allgemeinen landschaftlichen Strukturgrößen (Relief, Überbauung...).

**Komfortraum:** Vielfältig strukturierte, bewachsene Freiflächen in Nachbarschaft zum Wirkungsraum mit günstigen bioklimatischen und/oder lufthygienischen Bedingungen. Ihre wichtigsten Eigenschaften sind Immissionsarmut und Klimavielfalt, d.h. es besteht ein Mosaik aus unterschiedlichen Mikroklimaten.

**Leitbahnen:** Linear ausgerichtet, wenig raue Freiflächen, die den lokalen Luftaustausch fördern, insbesondere den Transport von Kalt-/Frischlufte aus dem Ausgleichsraum in den Wirkungsraum. Die Leitbahneigenschaften bestimmen, in welchem Umfang eine Ausgleichsleistung erbracht wird.

**Luftaustausch:** Transport von Luftmassen mit bestimmten Eigenschaften durch turbulente Diffusion. Es werden austauschschwache Situationen mit Windgeschwindigkeiten  $\leq 1,5$  m/s von austauschstarken mit Windgeschwindigkeiten  $\geq 5,5$  m/s unterschieden.

**PMV-Wert:** Grundlage für die Beurteilung der bioklimatischen Belastung in Siedlungsflächen. Er basiert auf der Wärmebilanzgleichung des menschlichen Körpers und gibt den Grad der Unbehaglichkeit bzw. Behaglichkeit als mittlere subjektive Beurteilung einer größeren Anzahl von Menschen wieder.

**Z-Transformation:** In der VDI-Richtlinie 3785 Blatt 1 (VDI 2008) beschriebenes Verfahren zur Z-Transformation. Dieses Vorgehen legt allgemein das lokale/regionale Wertenniveau einer Klimaanalyse zugrunde und bewertet die Abweichung eines Klimaparameters von den mittleren Verhältnissen in einem Untersuchungsraum.

**Rauigkeit:** Gibt die durch Bebauungs- und/oder Vegetationsstrukturen hervorgerufene Veränderungen des Windfeldes wieder. Als Maß der Rauigkeit fungiert der  $z_0$ -Wert, der in Meter angegeben wird.

**Reichweite:** → Eindringtiefe

**Strahlungswetterlage:** Wetterlage mit schwacher Windströmung und ungehinderten Ein- und Ausstrahlungsbedingungen. Die meteorologische Situation in Bodennähe wird bei dieser Wetterlage

---

<sup>3</sup> Die Schichtgrenze wird dort angesetzt, wo die horizontale Fließgeschwindigkeit geringer als  $0,1$  m·s<sup>-1</sup> wird



vornehmlich durch den Wärme- und Strahlungshaushalt und nur in geringem Maße durch die Luftmasse geprägt. Voraussetzung für ihre Ausbildung sind eine geringe Bewölkung von weniger als 3/8 und eine mittlere Geschwindigkeit des Windes von unter 1,5 m/s.

**Strömungsfeld:** Für die Analysezeitpunkte 22 Uhr abends bzw. 04 Uhr morgens simulierte flächendeckende Strömungsfeld der Kaltluftabflüsse und Flurwinde während einer windschwachen → Strahlungswetterlage.

**Ventilationsbahn:** Leitbahn, die während austauschstärkerer Wetterbedingungen den Gradientwind aufnimmt und zur Be- und Entlüftung des Wirkungsraumes beiträgt.

**Wärmebelastung:** Durch Behinderung der Wärmeabgabe des Körpers hervorgerufenes Unbehaglichkeitsempfinden. Wärmebelastung tritt hauptsächlich bei sommerlichen, strahlungsreichen Hochdruckwetterlagen mit hoher Temperatur, hoher Feuchte und geringer Luftbewegung auf (Schwüle).

**Wärmeinsel:** Derjenige städtische Lebensraum, der gegenüber der Umgebung vor allem abends und nachts eine höhere Lufttemperatur aufweist. Es bilden sich i.d.R. mehrkernige Wärmeinseln in einer Stadt aus. Die Jahresmitteltemperaturen sind in diesen Räumen um 0,5 bis 1,5 Kelvin gegenüber dem Umland erhöht.

**Wirkungsraum:** Bebauter (oder zur Bebauung vorgesehener), bioklimatisch und/oder lufthygienisch belasteter Raum (Belastungsraum), der an einen oder mehrere Ausgleichsräume angrenzt oder über wenig raue Strukturen angebunden ist. Durch lokale Luftaustauschprozesse erfolgt eine Zufuhr von Kalt-/Frischluf aus dem → Ausgleichsraum, die zur Verminderung oder zum Abbau der Belastungen beiträgt.