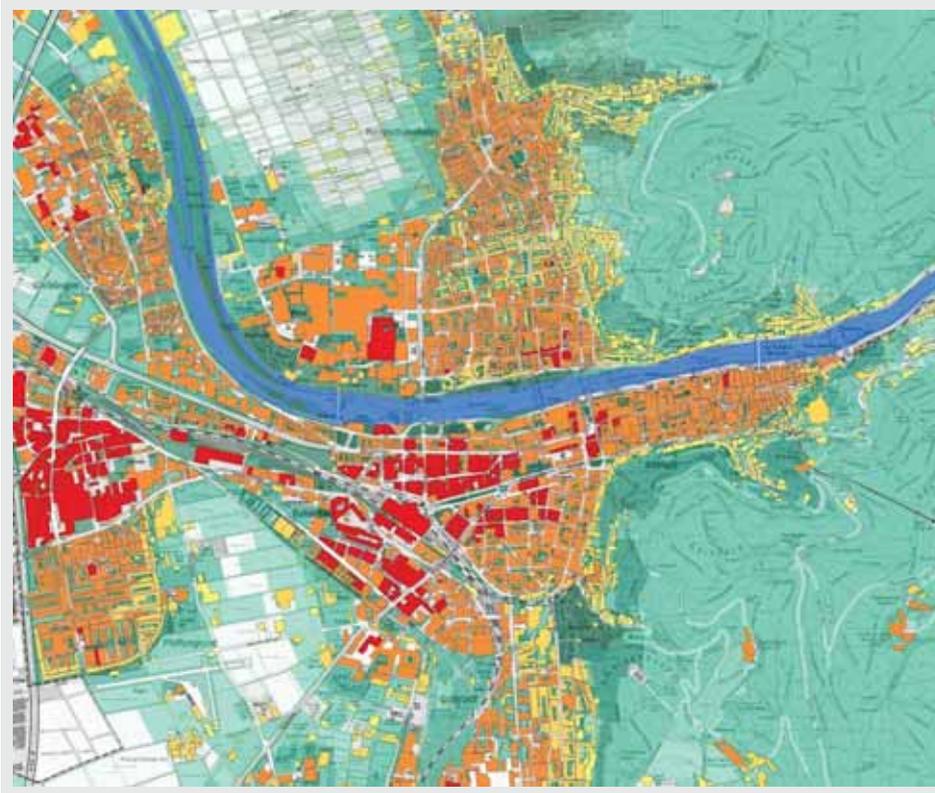


# Stadtklimagutachten für die Stadt Heidelberg

## Fortschreibung des Gutachtens von 1995



Auftraggeber:



Amt für Umweltschutz, Gewerbeaufsicht und Energie  
Prinz-Carl, Kornmarkt 1  
69117 Heidelberg



**GEO-NET Umweltconsulting GmbH**

Große Pfahlstraße 5a  
30161 Hannover

Tel. (0511) 3887200  
FAX (0511) 3887201

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



**ÖKOPLANA**

**ÖKOPLANA**

Seckenheimer Hauptstraße 98  
68239 Mannheim

Tel.: 0621 - 474626  
Fax: 0621 - 475277

[www.oekoplana.de](http://www.oekoplana.de)

In Zusammenarbeit mit:

Prof. Dr. G. Groß

Anerkannt beratender Meteorologe (DMG),  
Öffentlich bestellter Gutachter für Immissionsfragen und  
Kleinklima der IHK Hannover-Hildesheim

Hannover, Juni 2015





## Inhaltsverzeichnis

Seite:

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>IV</b>
<b>1 Einleitung und Projektziele .....</b>	<b>5</b>
<b>2 Geographische Lage, Flächennutzung und die allgemeine klimatische Situation in Heidelberg ....</b>	<b>9</b>
<b>3 Methodik und Datengrundlage zur Erstellung einer Klimatopkarte .....</b>	<b>15</b>
3.1 Datengrundlage.....	15
3.2 Konzept zur Ableitung der Klimatope.....	15
<b>4 Ergebnis der Klimatopausweisung .....</b>	<b>20</b>
<b>5 Methodik und Datengrundlagen für die Erstellung einer Klimaanalysekarte .....</b>	<b>22</b>
5.1 Eingangsdaten .....	22
5.1.1 Geländehöhe .....	22
5.1.2 Nutzungsstruktur.....	23
5.2 Methodik der Modellrechnung.....	26
5.2.1 Das mesoskalige Klimamodell FITNAH.....	26
5.2.2 Meteorologische Rahmenbedingungen für die Modellberechnung Kaltlufthaushalt .....	29
5.3 Methodik der Bewertung der klimaökologischen Nutzungsstrukturen.....	30
5.3.1 Grün- und Freiflächen .....	32
5.3.2 Bioklima in den Siedlungsflächen .....	33
5.3.3 Kaltluftleitbahnen .....	34
<b>6 Ergebnisse der Modellrechnung .....</b>	<b>35</b>
6.1 Das bodennahe Lufttemperaturfeld .....	35
6.2 Kaltluftproduktionsrate und Kaltluftentstehungsgebiete.....	39
6.3 Das nächtliche Strömungsfeld .....	40
6.4 Kaltluftvolumenstrom.....	44
<b>7 Klimaanalysekarte.....</b>	<b>48</b>
7.1 Grün- und Freiflächen .....	48
7.2 Siedlungsräume .....	51
7.3 Luftaustausch.....	55
<b>8 Planungshinweiskarte Stadtklima .....</b>	<b>57</b>
8.1 Grün- und Freiflächen .....	58
8.1.1 Methodik der Bewertung von Grün- und Freiflächen.....	58



8.1.2	Allgemeines zur siedlungsklimatischen Rolle von Stadtgrün .....	60
8.1.3	Bewertung der Grün- und Freiflächen im Stadtgebiet .....	61
8.2	Siedlungsräume .....	65
8.2	Luftaustausch .....	67
8.3	Kleinräumige Maßnahmen zur Verbesserung der stadtklimatischen Situation .....	67
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>71</b>
	<b>Glossar .....</b>	<b>73</b>
	<b>Literatur .....</b>	<b>76</b>



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Trendverlauf (1875 - 2010) und Zukunftsszenario (2011 - 2100) der Anzahl der Sommer- und Hitzetage an der Wetterstation Mannheim .....	11
Abbildung 2.2: Trendverlauf (1875 - 2010) und Zukunftsszenario (2011 - 2100) der Anzahl der Frost- und Eistage an der Wetterstation Mannheim .....	12
Abbildung 3.1: Skizze des Verfahrensablaufs zur Ableitung der Klimatope .....	18
Abbildung 3.2: Schema zur Bestimmung der Klimatope in Heidelberg .....	19
Abbildung 4.1: Klimatopkarte Heidelberg .....	20
Abbildung 4.2: Detailausschnitt Klimatopkarte Heidelberg (Legende siehe Abbildung 4.1) .....	21
Abbildung 5.1: Eingangsdaten für die Modellrechnung .....	22
Abbildung 5.2: Höhen im Untersuchungsgebiet .....	23
Abbildung 5.3: Nutzungsstruktur im Untersuchungsgebiet .....	24
Abbildung 5.4: Unterschiedliche Rasterweiten (links: 500 m x 500 m; rechts: 125 m x 125 m) bei einem digitalen Geländehöhenmodell .....	27
Abbildung 5.5: Einfluss der Bebauungsdichte auf die Strömungsgeschwindigkeit .....	29
Abbildung 5.6: Einfluss der Vegetation auf die Durchströmbarkeit einer Rasterzelle .....	29
Abbildung 5.7: Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für verschiedene Landnutzungen .....	30
Abbildung 5.8: Schematische Darstellung des Bewertungsschemas für z-transformierte Parameter .....	32
Abbildung 5.9: Prinzipskizze einer Kaltluftleitbahn .....	34
Abbildung 6.1: Bodennahe Temperaturen in °C für den Zeitpunkt 4 Uhr morgens im Untersuchungsgebiet Heidelberg .....	37
Abbildung 6.2: Detail-Ausschnitt: Temperaturverteilung Heidelberg-Mitte .....	38
Abbildung 6.3: Kaltluftproduktionsrate im Untersuchungsgebiet Heidelberg .....	40
Abbildung 6.4: Prinzipskizze Flurwinde .....	41
Abbildung 6.5: Modelliertes Strömungsfeld in Heidelberg (2 m über Grund) .....	43
Abbildung 6.6: Windgeschwindigkeiten und Strömungsfeld im Vertiefungsraum Heidelberg-Mitte .....	44
Abbildung 6.7: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom .....	45
Abbildung 6.8: Kaltluftvolumenstrom zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens im Untersuchungsgebiet Heidelberg .....	46
Abbildung 6.9: Kaltluftvolumenstrom zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens in Heidelberg-Mitte .....	47
Abbildung 7.1: Ausschnitt Klimaanalysekarte .....	51
Abbildung 7.2: Bioklimatische Situation der Siedlungsflächen im Stadtgebiet von Heidelberg .....	52
Abbildung 7.3: Ausschnitt Klimaanalysekarte Heidelberg-Mitte, Legende siehe Abbildung 7.1 .....	53
Abbildung 7.4: Bioklimatische Situation innerhalb der Bebauungstypen im Stadtgebiet von Heidelberg .....	54



Abbildung 7.5: Ausschnitt Klimaanalysekarte Heidelberg Süd: Leitbahnen.....	55
Abbildung 8.1: Vereinfachtes Verknüpfungsmodell zur Ermittlung der bioklimatischen Bedeutung der Grün- und Freiflächen .....	59
Abbildung 8.2: Bilanz der Grün- und Freiflächen und ihrer bioklimatischen Bedeutung im Stadtgebiet von Heidelberg.....	62
Abbildung 8.3: Legende der Planungshinweiskarte und Kartenausschnitt: Heidelberg zentrales Stadtgebiet.....	64
Abb.: 8.4: Teilflächen für klimaökologische Planaussagen (s. Anhang B).....	70

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 2.1:</b> Langjährige Monats- und Jahresmittel- und -summenwerte der Lufttemperatur (°C), des Niederschlags (mm), der Feuchte und der Sonnenscheindauer (h) sowie typischer Schwellentage an der DWD-Klimastation Heidelberg im Zeitraum 1981-2010. ....	10
<b>Tabelle 2.2:</b> Klimamessstationen des Projekts Stadtklima 1995.....	14
<b>Tabelle 3.1:</b> Eingangsdaten zur Ableitung von Klimatopen.....	15
<b>Tabelle 3.2:</b> Nutzungskategorien als Grundlage für die Einordnung der Klimatope sowie für die Klimamodellierung.....	16
<b>Tabelle 5.1:</b> Nutzungskategorien der Klimamodellierung mit Kennwerten zur Strukturhöhe und zum Versiegelungsgrad .....	25
<b>Tabelle 5.2:</b> Bewertung der Kaltluftlieferung in der Klimaanalysekarte .....	32
<b>Tabelle 5.3:</b> Klassifizierung der bioklimatischen Situation in der Klimaanalysekarte und dafür typische Siedlungsstrukturen .....	33
<b>Tabelle 7.1:</b> Qualitative Einordnung der Kaltluftlieferung von Grün- und Freiflächen im Untersuchungsgebiet und im Stadtgebiet Heidelberg .....	49
<b>Tabelle 7.2:</b> Bioklimatische Situation in den Siedlungsräumen von Heidelberg: Mittleres Temperaturniveau in 2 m Höhe und nächtliche Durchlüftungssituation. ....	54
<b>Tabelle 7.2:</b> Leitbahnen und Kaltluftabflussbereiche in Heidelberg .....	56
<b>Tabelle 8.1:</b> Bilanz der Grün- und Freiflächen im Stadtgebiet von Heidelberg.....	61
<b>Tabelle 8.2:</b> Allgemeine stadtklimatische Hinweise für Planungsentscheidungen zu Grün- und Freiflächen .....	63
<b>Tabelle 8.3:</b> Allgemeine stadtklimatische Hinweise für Planungsentscheidungen zu Siedlungsräumen.....	66
<b>Tabelle 8.4:</b> Kleinräumige Maßnahmen zur Verringerung der Wärmebelastung .....	69



## 1 Einleitung und Projektziele

Die heterogene Relief- und Flächennutzungsstruktur im Stadtgebiet von Heidelberg führt zu kleinräumig stark variierenden stadtklimatischen Verhältnissen.

Wie bereits vorliegende flächendeckende und teilräumliche Klimauntersuchungen (u.a. ÖKOPLANA 1991, 1992; GEOGRAPHISCHES INSTITUT DER UNIV. HEIDELBERG / ÖKOPLANA 1995) in Heidelberg dokumentieren (s. Anhang A), wird das Windfeld der Stadt und somit die bioklimatische/lufthygienische Situation durch regionale und lokale Luftzirkulationen wie z.B. Hang- und Talabwinde, flurwindartige Luftaustauschbewegungen zwischen Freiräumen (klimaökologische Ausgleichsräume) und Bebauung (klimaökologische Wirkungsräume) wesentlich mitbestimmt.

Diese als klimaökologische Positiveffekte zu bewertenden Erscheinungen treten vorwiegend bei windschwachen Strahlungswetterlagen auf, die im Rheingraben häufig zu bioklimatischer/lufthygienischer Belastung führen. Da diese Regional- / Lokalströmungen in großen Teilbereichen des Stadtgebietes zu einer auffallenden Dämpfung stadtklimatischer Negativeffekte beitragen, gehören Kenntnisse der ortsspezifischen klimaökologischen Funktionszusammenhänge zwischen Flächennutzung und Entstehung sowie Auswirkung klimatischer Gunstwirkungen zur Grundlage der Bauleit- und Landschaftsplanung. Das Vorliegen flächenbezogener Fachinformationen ist somit ein wichtiges Hilfsmittel zur sachgerechten Beurteilung des Schutzzuges Klima/Luft und zur Ableitung entsprechender Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen. Dieser Leitgedanke gilt der Sicherung, Entwicklung und Wiederherstellung klima- und immissionsökologisch wichtiger Oberflächenstrukturen. Ziel ist der Erhalt und die Verbesserung günstiger bioklimatischer und lufthygienischer Bedingungen.

Besonders der heiße Sommer 2003 hat die negativen Seiten des Stadtklimas in zahlreichen Städten Europas durch hohe und lang andauernde thermische Belastungen, die kaum durch die natürliche nächtliche Abkühlung gemindert werden konnten, deutlich vor Augen geführt. In Europa starben rund 70.000 Personen an den Folgen der Hitzewelle. Der weit überwiegende Teil davon war älter als 65 Jahre (Anteil der über 65-jährigen in Heidelberg ca. 17% - Stand 2012<sup>1</sup>).

Vor dem Hintergrund des demografischen Wandels in deutschen Städten ist davon auszugehen, dass das hitzebedingte Gesundheitsrisiko in den kommenden Jahrzehnten weiter steigen wird (DEUTSCHER STÄDTETAG 2006, S. 1).

Auch wenn es sich bei einer Hitzeperiode wie sie 2003 auftrat bislang um ein für die mittleren Breiten eher seltenes klimatologisches Ereignis handelte, können im Zuge des erwarteten globalen Klimawandels auch in Heidelberg die bioklimatische Belastung weiter zunehmen. Entsprechend den Prognosen des am POTSDAM INSTITUT FÜR KLIMAFOLGEN-FORSCHUNG ([www.klimafolgen.online.de](http://www.klimafolgen.online.de)) entwickelten regionalen Klimamodells „STAR“ ist in Heidelberg im Zeitraum 2040 - 2050 gegenüber der Zeitspanne 2000 – 2010 mit ca. 4 zusätzlichen heißen Tagen ( $T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$ ) und ca. 12 zusätzlichen Sommertagen ( $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$ ) zu rechnen. Der Projektion liegt das Antriebsszenario RCP8.5 (mittlere Temperaturzunahme) zugrunde, das hohe zukünftige Treibhausgasemissionen berücksichtigt.

Am 30.07.2011 wurde das „Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes bei der Entwicklung in den Städten und Gemeinden“ (BauGB-Klimaschutznovelle) in Kraft gesetzt. § 1 Abs. 5 BauGB Satz 2 wurde wie folgt neu gefasst:

*Sie (= Bauleitpläne) sollen dazu beitragen, eine menschenwürdige Umwelt zu sichern, die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen und zu entwickeln sowie den Klimaschutz und die Klimaanpassung, insbeson-*

<sup>1</sup> **Datenquelle:** [www.heidelberg.de](http://www.heidelberg.de)



dere auch in der Stadtentwicklung, zu fördern sowie die städtebauliche Gestalt und das Orts- und Landschaftsbild baukulturell zu erhalten und zu entwickeln.

Dem § 1a BauGB wurde zudem folgender Abs. 5 zugefügt:

*Der Erfordernissen des Klimaschutzes soll sowohl durch Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegenwirken, als auch durch solche, die der Anpassung an den Klimawandel dienen, Rechnung getragen werden (= klimagerechte Stadtentwicklung). Der Grundsatz nach Satz 1 ist in der Abwägung nach § 1 Abs. 7 zu berücksichtigen.*

Auch das Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) weist dem Klimaschutz hohe Bedeutung zu. § 1 Abs. 3 (4) formuliert:

*Zur dauerhaften Sicherung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes sind insbesondere (...) Luft und Klima auch durch Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege zu schützen; dies gilt insbesondere für Flächen mit günstiger lufthygienischer oder klimatischer Wirkung wie Frisch- und Kaltluftentstehungsgebiete oder Luftaustauschbahnen;.....*

Im Zuge der Umweltvorsorge hat die Stadt Heidelberg daher beschlossen, die Projektgemeinschaft GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH und ÖKOPLANA in Kooperation mit PROF. DR. G. GROSS (UNIVERSITÄT HANNOVER) mit der Fortschreibung des Stadtklimagutachtens von 1995 zu beauftragen.

Zentrales Element ist dabei die flächendeckende modellgestützte, detaillierte Analyse der klima- und immisionsökologischen Funktionen im Stadtgebiet von Heidelberg und deren planungsrelevante Bewertung. Hierbei werden die seit 1995 neu hinzugekommenen Baustrukturen berücksichtigt (z.B. Bahnstadt, Kirchheim-Im Bieth, Wieblingen-Süd, Rohrbach – ehem. Furukawa-Gelände, bauliche Verdichtung des Universitätsgeländes im Neuenheimer Feld). Als Eingangsdaten gehen die bereits vorhandenen umfangreichen Daten aus dem Stadtklimagutachten 1995 mit ein. Dadurch wird erreicht, dass das Schutzgut Klima / Luft im Rahmen einer vorsorgeorientierten Stadt- und Umweltplanung adäquat in planerische Abwägungsprozesse eingebunden werden kann.

Im Vordergrund stehen 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 innerstädtische Grünflächen zum Abbau der Belastungen beitragen. Die Modellrechnungen werden im Zuge der weiteren Gutachtenerstellung noch durch vertiefende Messungen in ausgesuchten Teilgebieten von Heidelberg ergänzt.

Die mit den Messungen und der Anwendung des Klimamodells FITNAH<sup>2</sup> (Flow over Irregular Terrain with Natural and Anthropogenic Heat Sources) gewonnenen Ergebnisse der Klimaanalyse ermöglichen eine aktualisierte flächendeckende Bestandsaufnahme der klimatischen Situation im Stadtgebiet von Heidelberg.

Es wird darüber hinaus möglich, die unterschiedlichen Teilflächen der Stadt Heidelberg nach ihren klimatischen Funktionen, d.h. ihrer Wirkungen auf benachbarte Räume, abzugrenzen.

Dieses Vorgehen unterscheidet sich damit von der 1995 vorgenommenen statischen Betrachtung auf der Basis von Klimatopen, in welchen ein den unterschiedlichen Nutzungen entsprechendes einheitliches Mikro-

<sup>2</sup> **FITNAH** = Flow over Irregular Terrain with Natural and Anthropogenic Heat Sources. FITNAH als dreidimensionales nichthydrostatisches Modell erlaubt eine detaillierte Beschreibung der räumlichen und zeitlichen Verteilung der verschiedenen meteorologischen Parameter wie Wind und Temperatur. FITNAH wurde als das "Deutsche Regionale Klimamodell" ausgewählt und übertrifft die in der VDI-RL 3783 festgelegten Anforderungen. Es liefert auch die Möglichkeit, Bewertungsmaßstäbe, für die ansonsten eigene Modellanwendungen notwendig wären, zu berechnen (z.B. PMV). Außerdem beinhaltet es einen Baustein Schadstoffausbreitung, der hier zur Ermittlung der Immissionsfelder Verwendung findet.



klima unabhängig von der Lage des Klimatops angenommen wird (VDI 1997). Die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung eingesetzte Methode bietet gegenüber den Auswertungen im Stadtklimagutachten 1995 zudem den Vorteil, dass das Luftaustauschgeschehen und die Verhältnisse der bodennahen Atmosphäre auf einer einheitlichen Bewertungsbasis flächendeckend abgebildet werden. Um einen Vergleich der statischen Herangehensweise und der modellgestützten Untersuchung ziehen zu können, wurde auf Grundlage der heutigen Vorgehensweise (VDI-RL 3787 Bl. 1 (VDI 2014)) zunächst eine aktuelle Klimatopkarte auf Basis der vorhandenen Nutzungsstrukturen erstellt. Das Vorgehen und das Ergebnis werden in Kapitel 3 und 4 erläutert.

Des Weiteren ermöglicht nur die numerische Simulation eine Prognose zukünftiger Entwicklungen.

Das Ergebnis ist ein GIS-Projekt mit einer aktuellen, komplexen und hochauflösenden Karte der klima- und immissionsökologischen Funktionen (Klimaanalysekarte).

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*. Die Vorteile des modellgestützten Ansatzes ergeben sich aus der Bereitstellung flächendeckender Quantitäten verschiedener Parameter zum Kaltfluthaushalt, wobei auch der dynamische Aspekt im Klimahaushalt ausreichend berücksichtigt wird.

Darüber hinaus werden in einem weiteren Schritt die Empfindlichkeiten dieser Funktionen gegenüber strukturellen Veränderungen bewertet und in Form einer digitalen *Planungshinweiskarte* dargestellt. Die Umsetzung in raumspezifische klima- und immissionsökologische Qualitätsziele mündet in der Forderung nach Handlungsempfehlungen. Mit der konkreten Zuordnung *planungsrelevanter Aussagen* zu den wichtigen, das klimaökologische Prozessgeschehen steuernden Strukturelementen, wie z.B. Kaltluftentstehungsflächen, Luftleitbahnen und Komforträume, können diese einerseits in ihrem Bestand gesichert und vor negativen Einflüssen geschützt werden. Andererseits werden Belastungsräume mit einem Mangel an Durchlüftung und/oder lufthygienischer Belastung identifiziert.

Zentrales Projektziel ist somit die Bereitstellung einer aktuellen, komplexen und räumlich hochauflösenden digitalen Karte der klima- und immissionsökologischen Funktionen (kurz: Klimaanalysekarte) für das Gebiet der Stadt Heidelberg.

Das methodische Vorgehen (Modelle, Verfahren, Bewertungsansätze) erlaubt dabei fundierte Aussagen für die Maßstabsebene bis 1:10.000 und kann zum Beispiel als Fachplan „Klima“ dem FNP-Plan zugeordnet werden. Eine erste, abschätzende Beurteilung der Auswirkungen von Planungsmaßnahmen ist auch auf B-Plan-Ebene gegeben.

Im Rahmen der Fortschreibung des Stadtklimagutachtens 1995 werden zur Umsetzung dieses Ziels folgende Inhalte erarbeitet:

- Beschreibung der klimatisch-lufthygienischen Rahmenbedingungen im Stadtgebiet zu verschiedenen klimaökologischen Parametern.

- Gliederung des Untersuchungsraums in Ausgleichsräume und Wirkungsräume sowie die dazwischen vermittelnden Strukturen (= Leitbahnen).
- Erfassung der humanbioklimatischen Situation (Indikator: PMV-Wert bzw. gefühlte Temperatur) und der Durchlüftungsverhältnisse (als Steuerungsfaktor für die lufthygienische Situation).
- Ermittlung der lokalen, eigenbürtigen Luftaustauschsysteme (Kaltluftabflüsse, thermisch bedingte Austauschströmungen) und Berechnung der Kaltluftproduktivität der Freiflächen. Bewertung der klima- und immissionsökologischen Leistungsfähigkeit von potenziellen Ausgleichsräumen für die Frisch-/Kaltluftversorgung der Stadt.
- Beurteilung der Barrierewirkung von Strömungshindernissen (z. B. Wälle, Dämme, Siedlungsränder) für den bodennahen Luftaustausch.

Unter Verwendung eines Geographischen Informationssystems werden diese Informationsebenen erzeugt und zur Karte der klima- und immissionsökologischen Funktionen für das Stadtgebiet – Klimaanalysekarte - aggregiert. Auf Grundlage dieser detaillierten klima- und immissionsökologischen Analyse der Ist-Situation können planungsrelevante Aussagen auf Stadtebene (sowie für einzelne Planungsmaßnahmen) abgeleitet werden, die dann wiederum Eingang in das Landschaftsprogramm finden können. Ihren Ausdruck finden diese Hinweise in der Planungskarte Klima/Luft.

Die wichtigsten Inhalte dieser Karte sind:

- Die klimatisch-lufthygienischen Belastungsräume („Konfliktbereiche“) werden ausgewiesen und hinsichtlich des Handlungsbedarfs eingeordnet. Es entsteht eine maßnahmenorientierte Prioritätenliste.
- Definition von Qualitätszielen Klima/Luft (klima- und immissionsökologische Soll-Struktur).
- Ableitung von Planungshinweisen bzw. konkreten Maßnahmen(-paketen) zur Erhaltung bzw. Verbesserung der klima- und immissionsökologischen Situation in der Stadt.
- Es werden die klimatisch-lufthygienisch wirksamen Grün- und Freiflächen dargestellt und nach ihrem Ausgleichspotential klassifiziert. Es entsteht ein Katalog der freizuhaltenden und/oder unter dem Gesichtspunkt Klima/Luft zu entwickelnden Freiflächen, die als „stadtklimatische Schutzbereiche“ zu definieren sind.

Die inhaltliche Bearbeitung des Projekts erfolgt unter dem Einsatz eines Geographischen Informationssystems (ESRI-Produktfamilie: ArcGIS). Alle Informationsebenen liegen nach Projektabschluss flächendeckend digital vor. Die einzelnen Informationsebenen sowie die Komplexebenen „Klimaanalysekarte“ und „Planungskarte Klima/Luft“ sind so aufbereitet, dass sie in den digitalen Datenbestand der Stadt integriert werden können.



## 2 Geographische Lage, Flächennutzung und die allgemeine klimatische Situation in Heidelberg

Die Stadt Heidelberg erfüllt als Universitätsstadt in der Metropolregion Rhein-Neckar die Funktion eines Oberzentrums, das u.a. durch eine Vielzahl überregional bedeutsamer Industrie- und Gewerbebetriebe sowie die renommierte Universität gekennzeichnet ist.

Die geographische Lage der Stadt wird von den naturräumlichen Einheiten Odenwald, Bergstraße, und Neckar-Rhein-Ebene gekennzeichnet. Der östliche Teil der Gemarkung wird vom Odenwald eingenommen, dessen höchste Erhebungen auf Heidelberger Gemarkung der Weiße Stein (548 m ü. NN) im Norden und der Königstuhl (568 m ü NN) im Süden darstellen. Die aus dem Heiligenberg (445 m ü NN) im Norden und dem Geisberg (376 m ü NN) im Süden bestehende westliche Randscholle bildet den Übergang zur Bergstraße. Die Bergstraßenlandschaft erstreckt sich als schmaler, 1 bis 2 km breiter Streifen zwischen Odenwald und Oberrheinebene in Nord-Süd-Richtung. Durch den sich nach Westen öffnenden Taltrichter des Neckars wird sie in einen nördlichen und einen südlichen Abschnitt aufgeteilt. Der westliche Teil der Stadt liegt in der Neckar-Rhein-Ebene. Sie stellt einen Schwemmkegel des Neckars dar, der aufgrund von fruchtbaren Flusslehm- und Schwemmlößböden durch landwirtschaftliche Nutzung gekennzeichnet ist (LESER 1984, S. 21). Insgesamt liegen die Höhenunterschiede in Heidelberg zwischen 97 m ü NN (Schwabenheimer Schleuse) und 568 m ü NN (Königstuhl).

Die Bodenfläche von Heidelberg beträgt nach Angaben der Stadt Heidelberg insgesamt 10.883 ha, wovon im Jahr 2012 ca. 30% den Siedlungs- und Verkehrsflächen zuzuordnen waren. Die Landwirtschaftsfläche nimmt einen Flächenanteil von ca. 26% ein. Der Anteil der Waldfläche beläuft sich auf ca. 41%.

Laut einer Statistik der Stadt Heidelberg leben auf der Markungsfläche von Heidelberg 141.309 (Stand 2012)<sup>3</sup> Wohnberechtigte, wobei die Anteile an über 65-jährigen, die häufig besonders sensibel auf bioklimatische/lufthygienische Belastungen reagieren, ca. 17% betragen.

Das Stadtgebiet von Heidelberg befindet sich im klimaökologischen Belastungsgebiet „Ballungsraum Rhein-Neckar“. Der Klimaklassifikation nach KÖPPEN und GEIGER folgend gehört der Raum dem warmgemäßigten, vollhumid-maritimen Klimazonentyps Cfb an.

Damit verbunden ist das ganzjährige Überwiegen von Meeresluftmassen, die mit Südwest-, West- und Nordwestwinden nach Mitteleuropa gelangen.

Bezogen auf die Periode 1981 – 2010 beträgt die Jahresmitteltemperatur an der DWD-Station Heidelberg 11,4°C. Die mittleren Julitemperaturen betragen 20,6°C bei einer durchschnittlichen Tagesschwankung zwischen 15,6°C (mittleres Minimum) und 25,7°C (mittleres Maximum). Im Januar beläuft sich die mittlere Lufttemperatur auf 2,4°C bei einer durchschnittlichen Tagesschwankung zwischen –0,1°C (mittleres Minimum) und 4,8°C (mittleres Maximum) – siehe Tabelle 2.1).

Die thermischen Unterschiede der Jahreszeiten spiegeln sich auch in der Verteilung der Schwellentage (heiße Tage, Sommertage, Frost- und Eistage) wieder. Heiße Tage, d.h. Tagesmaxima von mindestens 30,0°C, werden in der Regel nur im Zeitraum von Mai (0,6 Tage) bis September (0,5) mit einem Maxima im Juli (6,4 Tage) beobachtet - mittlere Jahressumme 15,3 Tage. Sommertage, d.h. Tage mit einem Temperaturmaximum von mindestens 25,0°C treten im Zeitraum April (1,3 Tage) bis Oktober (0,3 Tage) mit einem Maximum in den Monaten Juli und August (16,8 bzw. 16,3 Tage, mittlere Jahressumme 58,0 Tage) auf. Im Hochsommer wird somit die 25°C-Schwelle im Mittel an jedem zweiten Tag und die 30°C-Schwelle im Mittel an ungefähr jedem 5. Tag überschritten. Derartige Situationen sind in der Regel an periodenhaft auftretende Strahlungswetterlagen gebunden.

<sup>3</sup> **Datenquelle:** [www.heidelberg.de](http://www.heidelberg.de)



Die Anzahl der Frosttage beträgt im Mittel 49,7 Tage. Die größte Frostwahrscheinlichkeit stellt sich dabei von Dezember bis Februar (ca. 12 - 14 Tage) ein.

Dauerfrostsituationen, d.h. Eistage (Tagesmaxima  $< 0.0^{\circ}\text{C}$ ), zeigen sich mit etwas größerer Häufigkeit nur im Zeitraum Dezember bis Februar (im Monatsmittel ca. 2 bis 5 Tage) und werden sonst nur noch im November (0,7 Tage) und März (0,1 Tage) gelegentlich verzeichnet. Die mittlere Gesamtjahressumme beträgt 11,6 Tage.

Die Sonnenscheindauer erreicht in der Jahressumme durchschnittlich 1.645 Stunden (Tabelle 1). Höchste Sonnenscheindauern werden in den Monaten Mai bis August ( $> 200$  h) registriert, während die Spätherbst- und Wintermonate (November bis Januar) mit Summen bis 50 h als sonnenscheinarm gelten.

Die Jahressumme des Niederschlags liegt in Heidelberg bei ca. 732 mm. Die Verteilung der Niederschlagssummen ist insgesamt relativ homogen, wobei jedoch höhere Regenmengen vor allem in den Monaten Mai bis Juli und geringere Mengen im Zeitraum von Januar bis April verzeichnet werden. Die Niederschläge in den Sommermonaten resultieren dabei vor allem aus Schauern und Gewittern als Folge konvektiver Wolkenbildung durch die hohe Einstrahlungsintensität.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur $^{\circ}\text{C}$ Tagesmittel	2.4	3.5	7.4	11.2	15.5	18.3	20.6	20.1	16.0	11.5	6.4	3.4	11.4
Temperatur $^{\circ}\text{C}$ mittl. Tagesmax.	4.8	6.5	11.3	15.9	20.4	23.3	25.7	25.4	20.8	15.3	9.1	5.6	15.3
Temperatur $^{\circ}\text{C}$ mittl. Tagesmin.	-0.1	0.6	3.7	6.4	10.6	13.4	15.6	15.2	11.7	8.1	3.8	1.1	7.5
Temperatur $^{\circ}\text{C}$ absol. Tagesmax.	16.2	20.0	25.4	28.0	32.7	37.4	37.1	38.8	32.2	28.5	20.2	18.5	38.8
Temperatur $^{\circ}\text{C}$ absol. Tagesmin.	-17.5	-12.4	-12.0	-5.0	1.0	3.5	7.7	6.1	2.0	-3.2	-7.6	-15.0	-17.5
Niederschlagssumme mm	48	48	55	49	77	70	76	63	59	64	62	63	732
Dampfdruck hPa	6.0	6.0	7.1	8.3	10.2	13.7	15.2	15.1	12.9	10.7	7.9	6.5	10.0
Feuchte %	79	74	69	64	64	65	64	65	71	77	80	80	71
Mittl. Anzahl der Sommertage	0.0	0.0	0.0	1.3	6.4	11.7	16.8	16.3	5.2	0.3	0.0	0.0	58.0
Mittl. Anzahl der Hizetage	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	2.9	6.4	4.9	0.5	0.0	0.0	0.0	15.3
Mittl. Anzahl der Frosttage	13.6	11.8	5.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	5.7	12.3	49.7
Mittl. Anzahl der Eistage	5.4	2.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	3.0	11.6
Mittl. Anz. der Schneedeckentage	7.6	4.7	1.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	3.7	18.2
Mittl. Sonnenschein- dauer h	46	78	118	173	206	215	233	219	157	101	50	35	1631

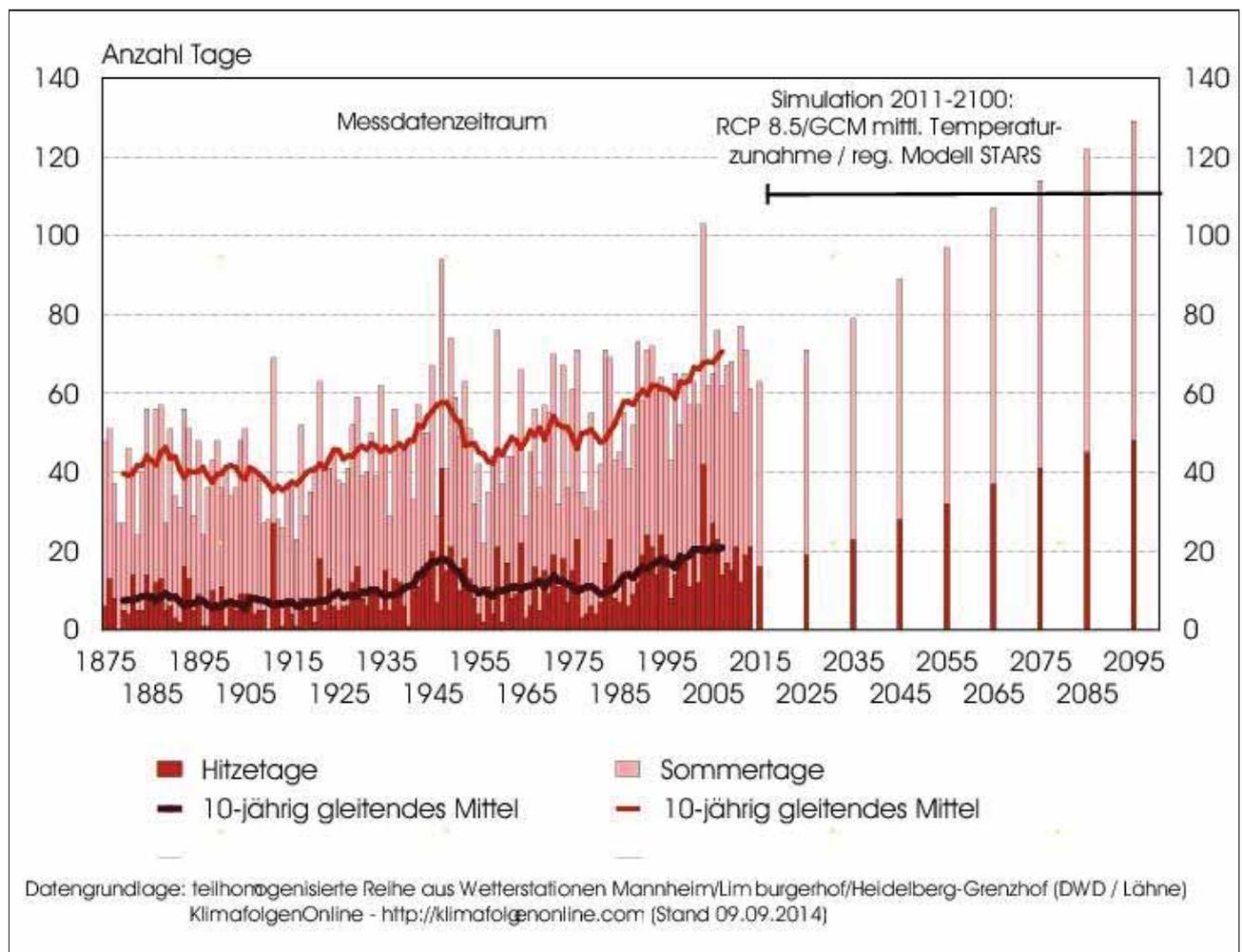
**Tabelle 2.1:** Langjährige Monats- und Jahresmittel- und -summenwerte der Lufttemperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ), des Niederschlags (mm), der Feuchte und der Sonnenscheindauer (h) sowie typischer Schwellentage an der DWD-Klimastation Heidelberg im Zeitraum 1981-2010.



Der Raum Heidelberg zeichnet sich insgesamt durch eine

- hohe Wärmebelastung im Sommerhalbjahr (ca. 31% der Tage im Zeitraum April bis September erreichen Tageshöchsttemperaturen von über 25°C. Ungefähr 8% der Tage im Sommer können als „heiß“ bezeichnet werden → Tageshöchsttemperaturen von über 30°C),
- allgemein niedrige mittlere Windgeschwindigkeiten mit hoher Anzahl schwachwindiger Wetterlagen und eine
- große Inversionshäufigkeit aus.

Wie in Kapitel 1 bereits angeführt, deuten Simulationen des zukünftigen Klimatrends in Mitteleuropa darauf hin, dass die sommerliche Wärmebelastung (→ Häufung sommerlicher Hitzeperioden) im Zuge des globalen Klimawandels im Raum Heidelberg auffallend zunehmen und parallel die winterliche Frosthäufigkeit abnehmen wird. Entsprechende Hinweise lassen sich den Ergebnissen der am POTSDAM INSTITUT FÜR KLIMAFOLGENFORSCHUNG entwickelten regionalen Modellkette STARS entnehmen. Basis für STARS sind die künftigen Klimaszenarien. Die Simulationen umfassen den Zeitraum 2010 – 2100 ([www.klimafolgenonline.com](http://www.klimafolgenonline.com)).



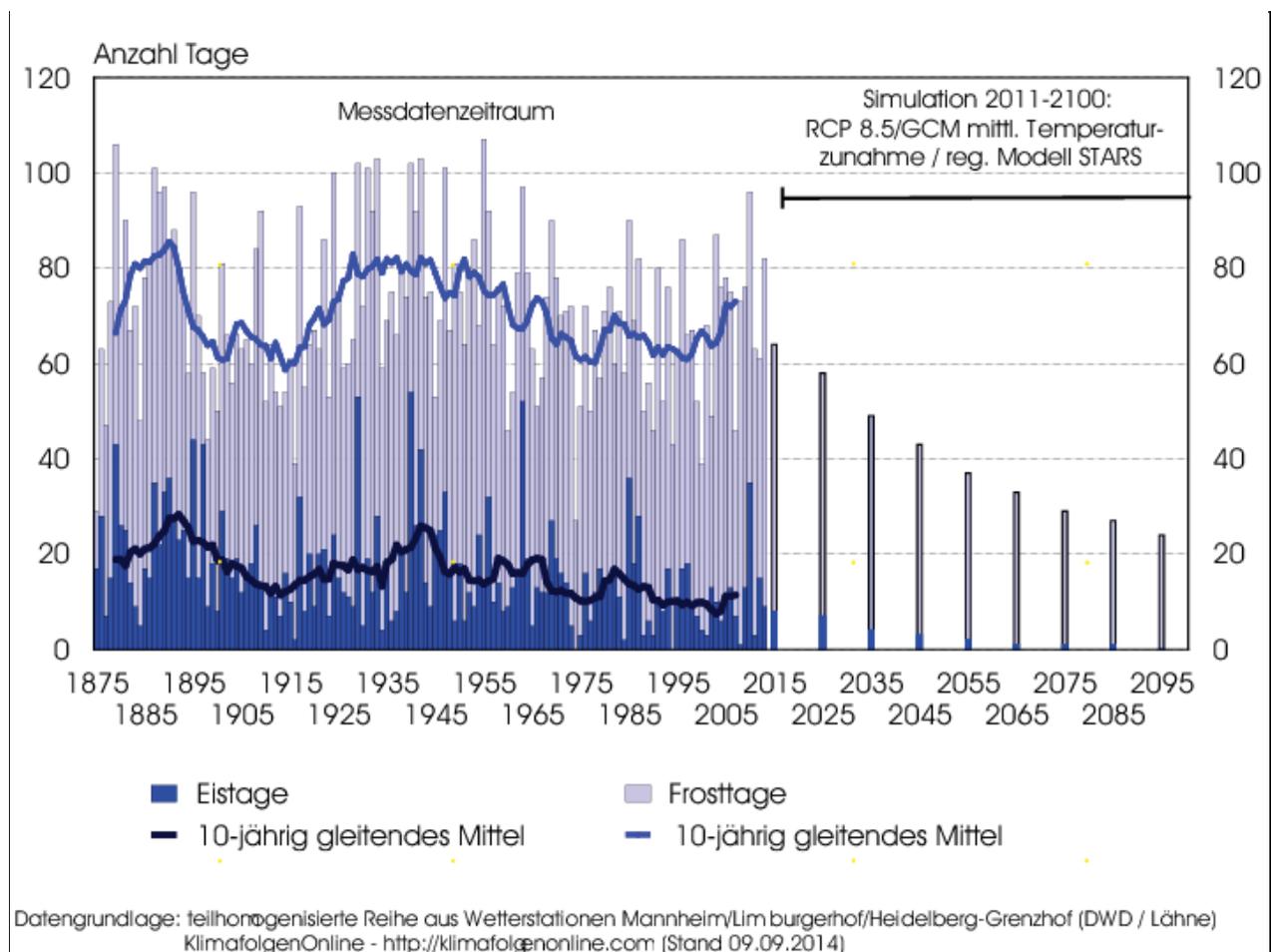
**Abbildung 2.1:** Trendverlauf (1875 - 2010) und Zukunftsszenario (2011 - 2100) der Anzahl der Sommer- und Hitzetage an der Wetterstation Mannheim

Bezogen auf den Freilandstandort der DWD-Wetterstation Mannheim liegen für die lufttemperaturabhängigen Kenntage *Sommertag*, *heißer Tag*, *Frosttag* und *Eistag* aufbereitete Ergebnisse aus STARS für die Projektionszeiträume 2011 – 2100 sowie rückblickenden Trendverläufe aus den langjährigen Messdaten im Zeitraum 1875 – 2010 vor (LÄHNE 2014). Sie lassen sich mit geringen Einschränkungen auf den Freilandbereich in Heidelberg übertragen.

Hinsichtlich der Anzahl der Sommertage und der heißen Tage (Abbildung 2.1) zeigt der vergangene langfristige Trendverlauf zunächst bis Anfang des 20. Jahrhunderts ein relativ gleichbleibendes Niveau (im Mittel ca. 40 Sommer- bzw. ca. 8 heiße Tage) und ab den 1920er Jahren unter Schwankungen (mit Peak in den späten 1940er Jahren) eine sich seit den 1980er Jahren beschleunigende Häufigkeitszunahme. Im letzten betrachteten Dezennium (2004 - 2013) wurden im Mittel jährlich bereits ca. 70 Sommertage und ca. 21 heiße Tage registriert.

Einschränkend gilt an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass die Messreihe von Inhomogenitäten sowohl durch Änderungen der Messtechnik (Fensterhütte – Englische Hütte – AMDA) wie auch der Stationsstandorte geprägt ist<sup>4</sup>.

Durch Nutzung von zur Verfügung stehenden Parallelreihen konnten die resultierenden Inhomogenitäten teilweise minimiert werden.



**Abbildung 2.2:** Trendverlauf (1875 - 2010) und Zukunftsszenario (2011 - 2100) der Anzahl der Frost- und Eistage an der Wetterstation Mannheim

In Fortsetzung des jüngeren Trendverlaufs nehmen die Simulationen bis 2100 eine weitere signifikante Zunahme der Sommertage und heißen Tage an, wobei die Abschätzungen für die nähere Zukunft zunächst noch einen relativ konservativen Verlauf simulieren (2021 – 2030 im Mittel jährlich 19 heiße Tage und 70 Sommertage). Im Dezennium 2041 – 2050 gehen die Projektionen bereits von einer mittleren jährlichen

<sup>4</sup> Insbesondere die bis Anfang des 20. Jahrhunderts übliche Standardaufstellung „Fensterhütte“ an der Nordseite der Stationsgebäude bedingt an Strahlungstagen signifikant niedrigere Tagesmaxima sowie signifikant höhere Tagesminima und dementsprechend geringe Häufigkeiten der klimatischen Kenntage.



Häufigkeit von ca. 84 - 94 Sommertagen und ca. 24 - 29 heißen Tagen aus. Dies entspricht der Wärmebelastungssituation im heißesten Sommer des 20. Jahrhunderts (1947).

Im Vergleich zum Häufigkeitsverlauf der Sommer- und heißen Tage zeigt der Verlauf der Frost- und Eistage (Abbildung 2.2) einen weniger signifikanten Trend, wobei dies zumindest teilweise durch die bereits beschriebenen Inhomogenitäten bedingt ist. So wurde in der Phase der Häufung milder Winter zu Beginn des 20. Jahrhunderts insbesondere eine ähnlich niedrige Anzahl von Frosttagen wie seit den 1970er Jahren beobachtet. Aktuell (letzte Dekade) ist eine temporäre Zunahme, die innerhalb der natürlichen, nicht anthropogenen klimatischen Schwankungsbreite liegt, zu verzeichnen.

Gegenüber der Frosthäufigkeit zeigt die Anzahl der Eistage langfristig einen etwas signifikanteren Abnahmetrend. Diese scheinbare Diskrepanz dürfte in der Beobachtung gebunden sein, dass die diskutierten Inhomogenitäten sich weniger prägnant auf das Auftreten von Eistageereignissen niederschlagen<sup>5</sup>. Der Trendverlauf der Eistage dürfte somit ein realistischeres Bild zeichnen. So waren Ende des 19. Jahrhunderts im Mittel jährlich noch 20 bis 25 Eistage zu erwarten. Dagegen lag deren Anzahl in den letzten beiden Dekaden im Mittel jährlich nur noch bei ca. 10.

Für die nähere Zukunft zeigen die Simulationen eine deutliche Abnahme sowohl der Frost- wie auch der Dauerfrosthäufigkeit. In Dezennium 2021 – 2030 werden im Mittel bereits weniger als 60 Frost- und weniger als 10 Eistage erwartet. Diese Häufigkeiten unterschreiten demnach bereits die niedrigsten Dekadenmittelwerte in der Messperiode 1875 – 2013. Im Zeitraum 2041 – 2050 werden nur noch ca. 23 - 36 Frost- und ca. 2 - 5 Eistage je Winterhalbjahr erwartet. Diese Ereignishäufigkeit entspricht im Trend dem mittleren Geschehen der 10 mildesten Winter des 20. Jahrhunderts.

### Stationsstandorte – Projekt Stadtklima 1995

Stationsstandort (Abkürzung)	Höhenlage	Höhe des Windgebers	Höhe des Temperatur- und Feuchtegebers	Standortbeschreibung	GK Koordinaten
Archäologie (ARCH)	110 m ü. NN	20 m ü.G.	-	Altstadt, Dachfläche	3478624/5475092
Bahnhof (BAHN)	113 m ü. NN	10 m ü.G.	2 m ü.G.	Gewerbegebiet südwestl. Weststadt, Verkehrsinsel	3476569/5473804
Bauhof (BAUH)	107 m ü. NN	10 m ü.G.	2 m ü.G.	Gewerbegebiet nördl. Kirchheim, Parkplatz	3476569/5472463
Bergfriedhof (BERG)	113 m ü. NN	10 m ü.G.	2 m ü.G.	Südstadt, Hangfuß des Gaisbergs, Straßenrand	3477540/5473393
Bierhelderhof (BIER)	280 m ü.G.	10 m ü.G.	2 m ü.G.	Freiland, landwirtschaftliche Nutzfläche	3478617/5472424
Boxberg (BOXB)	200 m ü.G.	10 m ü.G.	2 m ü.G.	Boxberg, Hangzone, Straßenrand	3478504/5470367
Freiburger Str. (FREI)	108 m ü. NN	10 m ü.G.	2 m ü.G.	Rohrbach-Hasenleiser, Straßenrand	3477095/5470812
Geografisches Institut (GEOG)	110 m ü. NN	10 m ü.G.	2 m ü.G.	Neuenheimer Feld, Straßenrand	3476008/5475913
Häusserstraße (HAUS)	112 m ü.G.	10 m ü.G.	2 m ü.G.	Weststadt, Baulücke	3477613/5474226
Handschuhsheim-Zentrum (HAZE)	115 m ü.G.	10 m ü.G.	2 m ü.G.	Handschuhsheim-Tiefburg, Parkplatz	3477316/5476824

<sup>5</sup> Eistage sind als Funktion der Tagesmaxima zu betrachten. Im Gegensatz zu den Minima werden sie weniger stark von Bebauungseinflüssen bzw. standortspezifischen Messbedingungen modifiziert. Außerdem treten Eistage vorrangig an Nichtstrahlungstagen auf, die wiederum ein homogeneres Temperaturfeld zeigen.



Stationsstandort (Abkürzung)	Höhenlage	Höhe des Windgebers	Höhe des Temperatur- und Feuchtegebers	Standortbeschreibung	GK Koordinaten
Kirchheim-Cuzaring (KICU)	108 m ü.NN	10 m ü.G.	2 m ü.G.	Westrand Kirchheim, Straßenrand	3475108/5471583
Kirchheim-Pumpwerk (KIPU)	107 m ü.NN	10 m ü.G.	2 m ü.G.	Freiland südl. Kirchheim, Grünfläche	3475898/5470285
Kirchheim-Zentrum (KIZE)	110 m ü.NN	10 m ü.G.	2 m ü.G.	Kirchheim-Ortszentrum, Straßenrand	3476149/5471625
Königstuhl (KOEN)	557 m ü.NN	20 m ü.G.	2 m ü.G.	Königstuhl, Dachfläche (Wind), bzw. Grünfläche	3480020/5473304
Mühlital (MUEH)	155 m ü.NN	10 m ü.G.	2 m ü.G.	Handschuhsheim-Mühlital, Grünfläche	3477980/5477177
Ordnungsamt-Dach (ORDA)	109 m ü.NN	14 m ü.G.	12 m ü.G.	Bergheim, Dachfläche	3476993/5474714
Ordnungsamt-Neckar (ORNE)	109 m ü.NN	10 m ü.G.	2 m ü.G.	Bergheim, Neckarufer	3477028/5474825
Pfaffengrund-Gewerbe (PFGE)	108 m ü.NN	10 m ü.G.	2 m ü.G.	Pfaffengrund Gewerbegebiet, Parkplatz	3474249/5474331
Pfaffengrund-Ost (PFOS)	110 m ü.NN	10 m ü.G.	2 m ü.G.	Pfaffengrund östliches Freiland, landwirtschaftl. Nutzfläche	3475469/5473995
Pfaffengrund-Zentrum (PFZE)	108 m ü.NN	10 m ü.G.	2 m ü.G.	Pfaffengrund Ortszentrum, Straßenrand	3474097/5473535
Rohrbach-Süd (RO-SU)	108 m ü.NN	10 m ü.G.	2 m ü.G.	Gewerbegebiet Rohrbach-Süd, Parkplatz	3476617/5469827
Rohrbach-Zentrum (ROZE)	113 m ü.NN	10 m ü.G.	2 m ü.G.	Rohrbach Ortszentrum, Straßenrand	3477603/5471882
Schröderstraße-Dach (SCDA)	113 m ü.NN	20 m ü.G.	16 m ü.G.	Neuenheim-Zentrum, Dachfläche	3477690/547389
Wieblingen-OEG (WOEG)	109 m ü.NN	10 m ü.G.	2 m ü.G.	Wieblingen-Zentrum, Straßenrand	3474413/5476371
Wieblingen-Ost (WIOS)	109 m ü.NN	10 m ü.G.	2 m ü.G.	Wieblingen östliches Freiland, Garten	3474430/5475604
Wieblingen-West (WIWE)	106 m ü.NN	10 m ü.G.	2 m ü.G.	Wieblingen westliches Freiland, landwirtschaftl. Nutzfläche	3472983/5477588
Ziegelhausen-Neckar (ZINE)	115 m ü.NN	10 m ü.G.	2 m ü.G.	Ziegelhausen-Neckartal, Straßenrand	3482089/5475619
Ziegelhausen-Stiftweg (ZIST)	221 m ü.NN	10 m ü.G.	2 m ü.G.	Ziegelhausen Kuppenlage, Straßenrand	3481595/5476154

Tabelle 2.2: Klimamessstationen des Projekts Stadtklima 1995.



### 3 Methodik und Datengrundlage zur Erstellung einer Klimatopkarte

#### 3.1 Datengrundlage

Zur Ableitung der Klimatope wird auf folgende Daten zurückgegriffen:

Name	Verwendung	Quelle (vorliegend)
ALK-Daten	Basisdatensatz (Geometrie, Nutzung)	Stadt Heidelberg
Gebäude	Modifikation Bebauungsdichte	Stadt Heidelberg
Versiegelungsgrad	Modifikation Gesamtversiegelung	Stadt Heidelberg

**Tabelle 3.1:** Eingangsdaten zur Ableitung von Klimatopen

Als Basisgeometrie für das Untersuchungsgebiet der Stadt Heidelberg wird auf den detaillierten ALK-Datensatz zurück gegriffen.

Ein spezifisches Problem bei der Ableitung von klimaökologischen Zusammenhängen aus den zugrunde liegenden Nutzungsgeometrien beruht auf der ungenügenden Differenzierung der für klimaökologische Fragestellungen wesentlichen Einflussfaktoren Bebauungsdichte und Versiegelungsgrad. Um diese Parameter hinreichend berücksichtigen zu können, werden die in Tab. 3.1 genannten Daten zum Gebäudebestand und zur ebenerdigen Versiegelung mit den ALK-Flächenobjekten kombiniert.

#### 3.2 Konzept zur Ableitung der Klimatope

Auf Grundlage der in Tabelle 3.1 dargestellten Basisgeometrien wird in einem ersten Arbeitsschritt und im Hinblick auf die im Nachgang folgende Klimamodellierung eine Einteilung der Daten in 18 Klassen vorgenommen. Dieser 18-klassige Nutzungsschlüssel wird den speziellen Anforderungen der Modellanalyse gerecht und ermöglicht für die geplante Modellierung des Klimas eine problemlose Zuweisung des mittleren Versiegelungsgrades und der mittleren Strukturhöhe auf Basis der in den Eingangs- und Literaturdaten vorkommenden Nutzungsklassifizierungen (siehe auch Kapitel 5.1.2). Gleichzeitig bildet diese Einstufung nach der Nutzungsstruktur eine gute Grundlage zur Ausweisung von Klimatopen, da die Klassen nach den strukturellen Eigenschaften der Fläche gewählt werden, die auch für die Klimatope relevant sind.

Es erfolgt eine Überprüfung mit Hilfe der von der Stadt Heidelberg gelieferten Luftbilder. Dies ermöglicht es, Fehler zu korrigieren und beispielsweise neueste Bauvorhaben mit aufzunehmen. Gleichzeitig konnten einige der sehr kleinräumigen Geometrien zusammengefasst werden, um eine bessere Übersichtlichkeit zu gewährleisten. In Tabelle 3.2 ist eine Übersicht des Nutzungsschlüssels abgebildet.

Um die nun erstellte Klassifizierung auf die Klimatope zu prägen sind noch einige weitere Anpassungen nötig. Weil keine explizite Unterscheidung zwischen innerstädtischen und Freiland-Merkmalen existiert, müssen im Bereich „Vegetation“ beispielsweise vor allem lagebezogene Anpassungen vorgenommen werden. Die mehrdeutigen Objektarten wie beispielsweise „Gehölz“, müssen im folgenden Verfahren über die Ermittlung von Nachbarschaftsbeziehungen differenziert werden.



Klasse	Flächentyp	Beschreibung
1	Zentrum, Stadtteilzentrum	Kerngebietsnutzung, welche durch einen sehr hohen Bebauungs- und Versiegelungsgrad gekennzeichnet ist.
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.
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.
4	Zeilen- und Hochhausbebauung	Zu diesem Flächentyp zählen sowohl freistehende Punkthochhäuser als auch halboffene Blockrand-bebauung und Zeilenbebauung. Gemeinsames Merkmal ist ein relativ hoher Grün- und Freiflächenanteil, welcher sich durch die zwischen den Gebäudekörpern befindlichen Abstandsflächen ergibt.
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.
6	Straßenraum	Ebenerdig versiegelte Fläche des Straßenraums.
7	Gleisfläche	Schienenverkehrsfläche mit geringer Strukturhöhe.
8	Baulich geprägte Grün- und Freifläche	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.
9	Offene landwirtschaftliche Flächen	Beinhaltet vor allem landwirtschaftlich genutzte Wiesen und Weiden sowie ackerbaulich genutzte Flächen. Innerstädtisch handelt es sich meist um Rasenflächen mit geringem Gehölzanteil.
10	Gehölz	Diese Nutzungskategorie umfasst sowohl innerstädtische Parkareale und Gehölzflächen als auch Obstbauflächen, Baumschulen und Straßenbegleitgrün.
11	Laubwald	Waldflächen sowie waldartige Bestände im Siedlungsbereich.
12	Mischwald	
13	Nadelwald	
14	Gewässer	Still- und Fließgewässer.
15	Weingarten	Flächen des Weinbaus
16	Verdichtete Wohnbebauung	Stark verdichtete Wohnbebauung, historische Stadtkernbereiche
17	Schloss Heidelberg	Schlossgebäude
51	Gewächshäuser	Gewächshausflächen

**Tabelle 3.2:** Nutzungskategorien als Grundlage für die Einordnung der Klimatope sowie für die Klimamodellierung



Folgende Vorgehensweise wird gewählt:

1. Primäre Zuordnung der Nutzungsklassen über den vorgestellten Schlüssel an die Eingangsdaten aus ALK-Daten. Überprüfung und Anpassung der Daten anhand von Luftbildern.
2. Zuweisung der auf Grundlage des Nutzungsschlüssels eindeutigen Klimatope:
  - „Gewässerklima“ → Klasse 14
  - „Waldklima“ → Klassen 11, 12, 13
  - Straßen und Gleise → Klassen 6, 7
3. Lagebezogene Ausweisung von Flächen:
  - Ausweisung der Flächen der Klassen 8, 9, 10, 15, 51 innerhalb „Innenbereiche“ (Ausweisung von der Stadt Heidelberg zur Verfügung gestellt) als „Klima innerstädtischer Grünflächen“.
  - Ausweisung der Flächen der Klassen 8, 9, 10, 15, 51 außerhalb „Innenbereiche“ als „Freilandklima“.
  - Zuweisung der Flächen 4, 5, 17 außerhalb „Innenbereiche“ als „Vorstadtklima“. Zuweisung der Flächen 3 außerhalb „Innenbereiche“ als „Industrieklima – offenes Gebiet“. (Die Klassen 2 und 1 wurden hier nicht vergeben.)
4. Berechnung des überbauten Flächenanteils ( $VS_{\text{Bau}}$ ) sowie des gesamtversiegelten Flächenanteils ( $VS_{\text{Ges}}$ ) der einzelnen Flächen aus der Nutzungsklassifizierung und Kennzeichnung folgender Eigenschaften innerhalb „Innenbereiche“:
 

• Nutzungsklasse 5	+	$VS_{\text{Bau}} \leq 0,2$	=	„Vorstadtklima“
• Nutzungsklasse 5	+	$VS_{\text{Bau}} > 0,2$	=	„Stadttrandklima“
• Nutzungsklasse 4	+	$VS_{\text{Bau}} \leq 0,4$	=	„Stadttrandklima“
• Nutzungsklasse 4	+	$VS_{\text{Bau}} > 0,4$	=	„Stadtklima“
• Nutzungsklasse 2	+	$VS_{\text{Bau}} \leq 0,6$	=	„Stadtklima“
• Nutzungsklasse 2	+	$VS_{\text{Bau}} > 0,6$	=	„Innenstadtklima“
• Nutzungsklasse 16	+	$VS_{\text{Bau}} \leq 0,6$	=	„Stadtklima“
• Nutzungsklasse 16	+	$VS_{\text{Bau}} > 0,6$	=	„Innenstadtklima“
• Nutzungsklasse 1			=	„Innenstadtklima“
• Nutzungsklasse 3	+	$VS_{\text{Ges}} \leq 0,7$	=	„Industrieklima – offenes Gebiet“
• Nutzungsklasse 3	+	$VS_{\text{Ges}} > 0,7$	=	„Industrieklima – dichtes Gebiet“

Die Abbildung 3.1 und Abbildung 3.2 zeigen schematisch das Vorgehen zur Bestimmung der Klimatope.

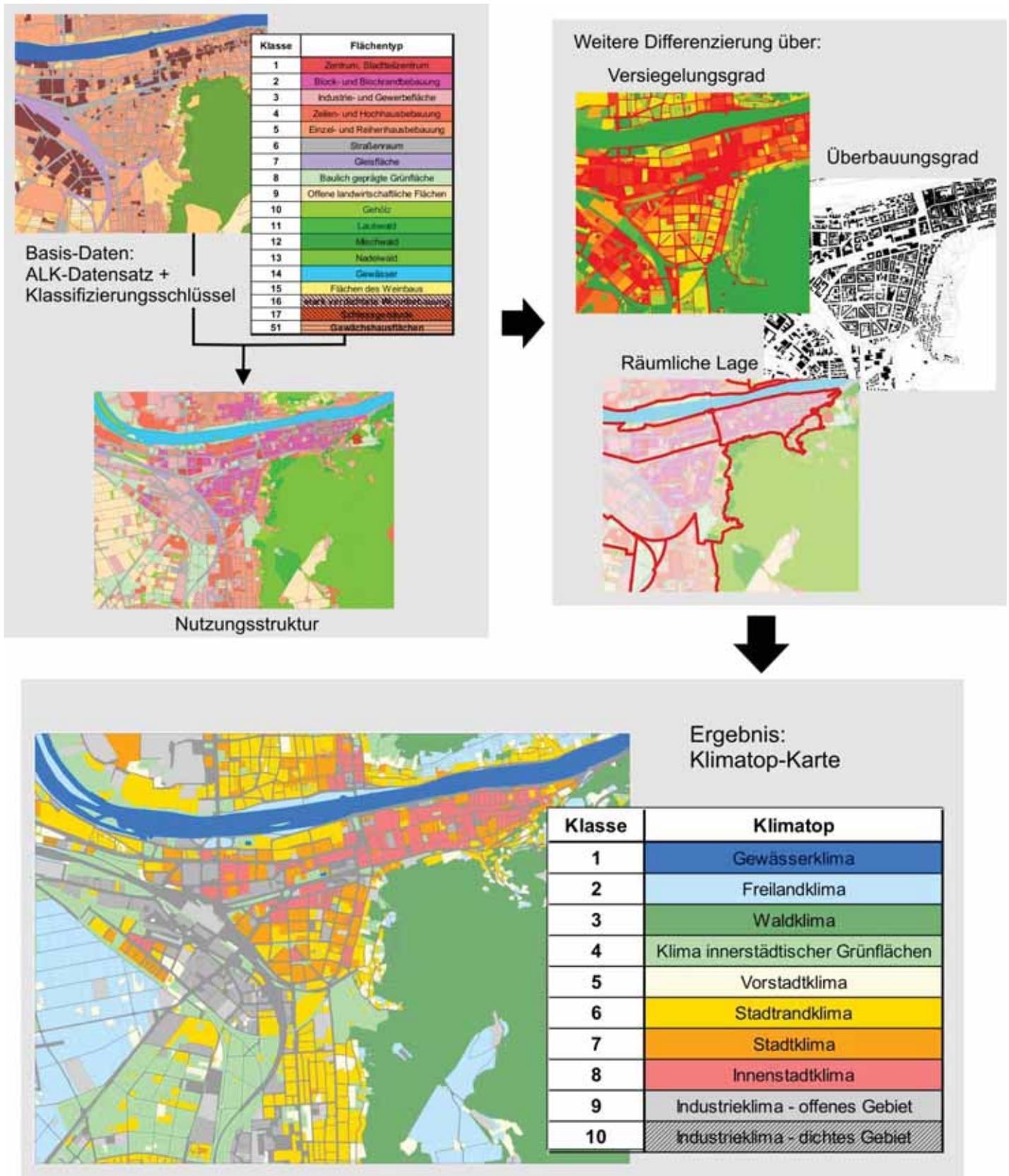


Abbildung 3.1: Skizze des Verfahrensablaufs zur Ableitung der Klimatope

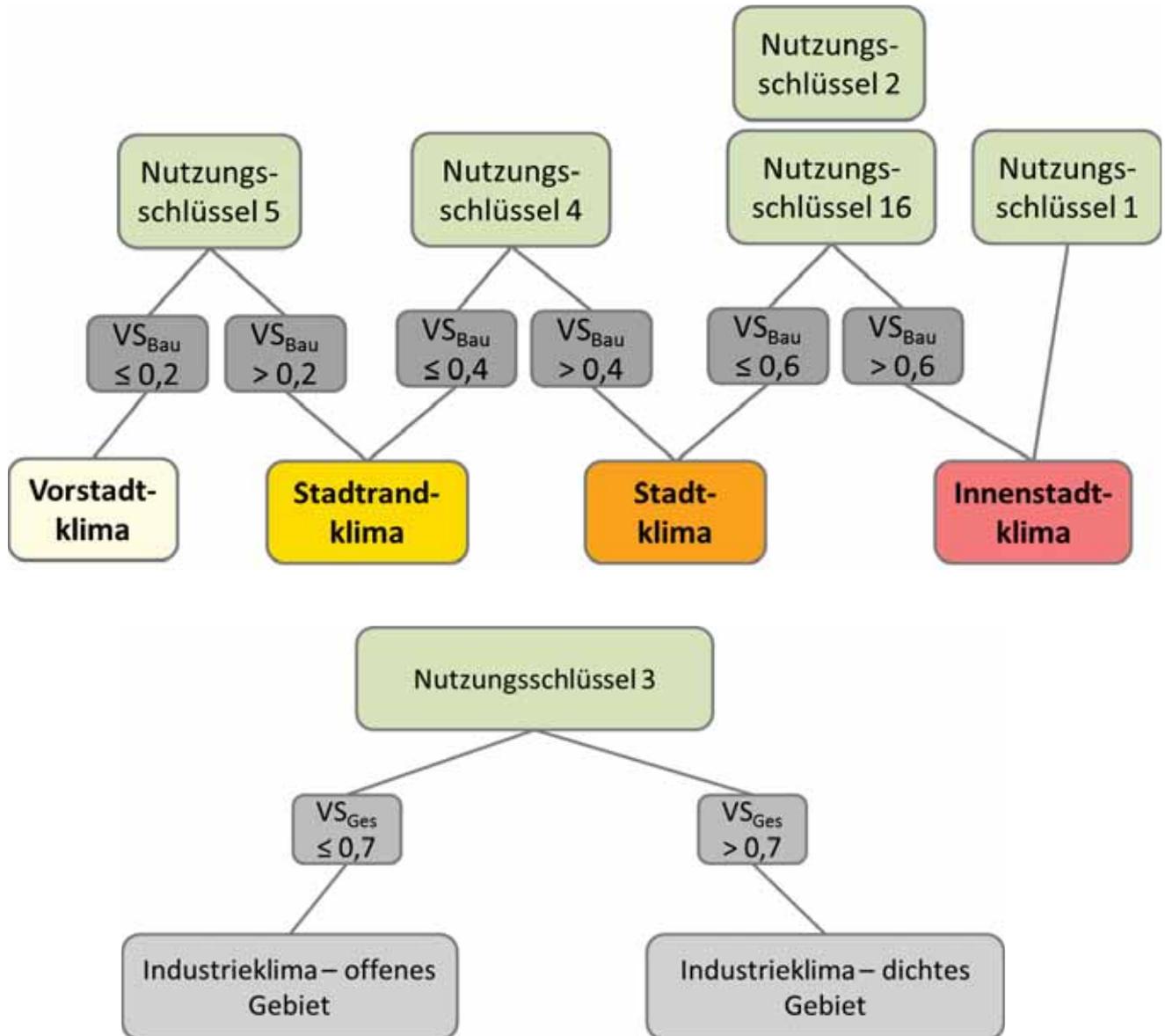
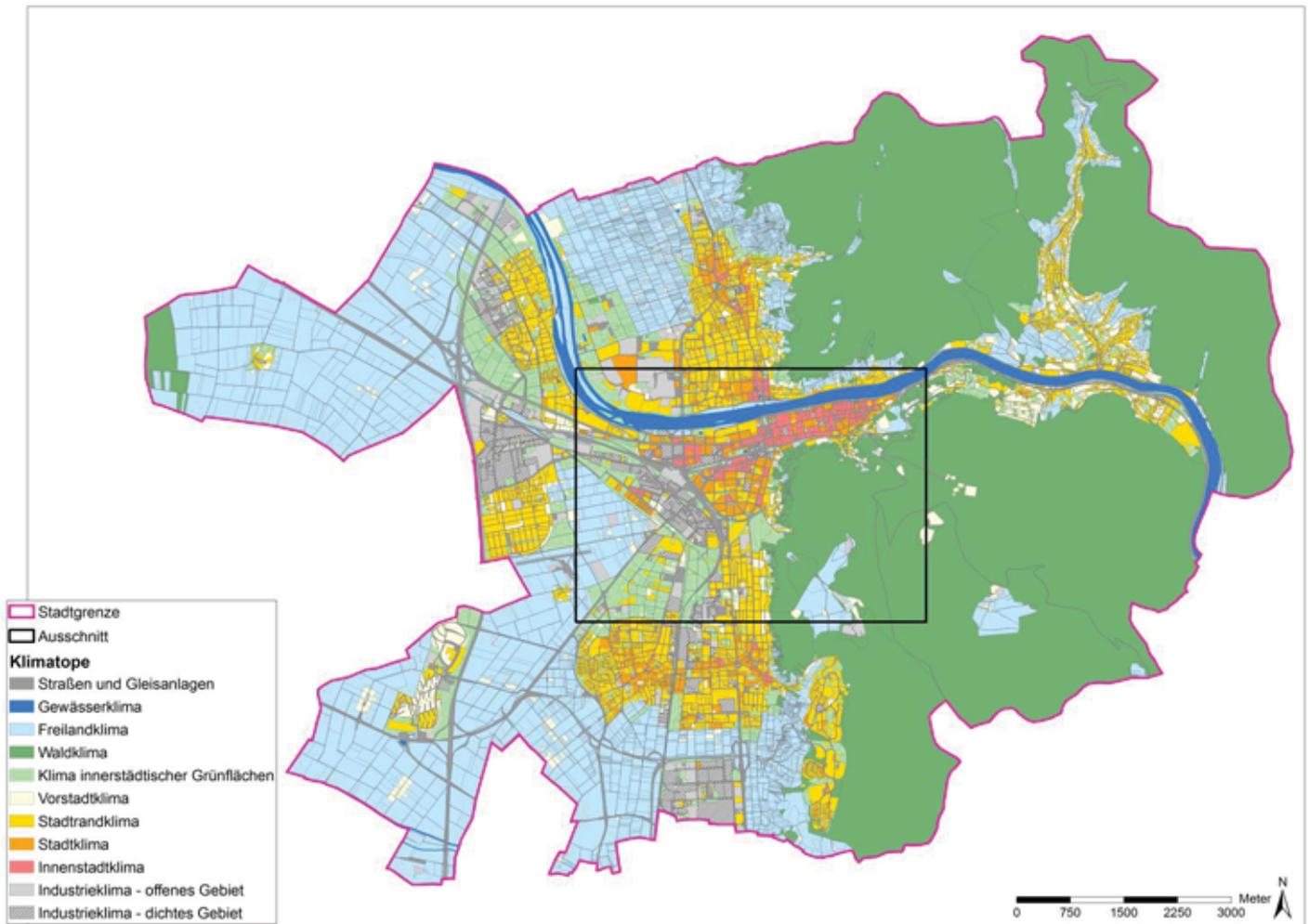


Abbildung 3.2: Schema zur Bestimmung der Klimatope in Heidelberg

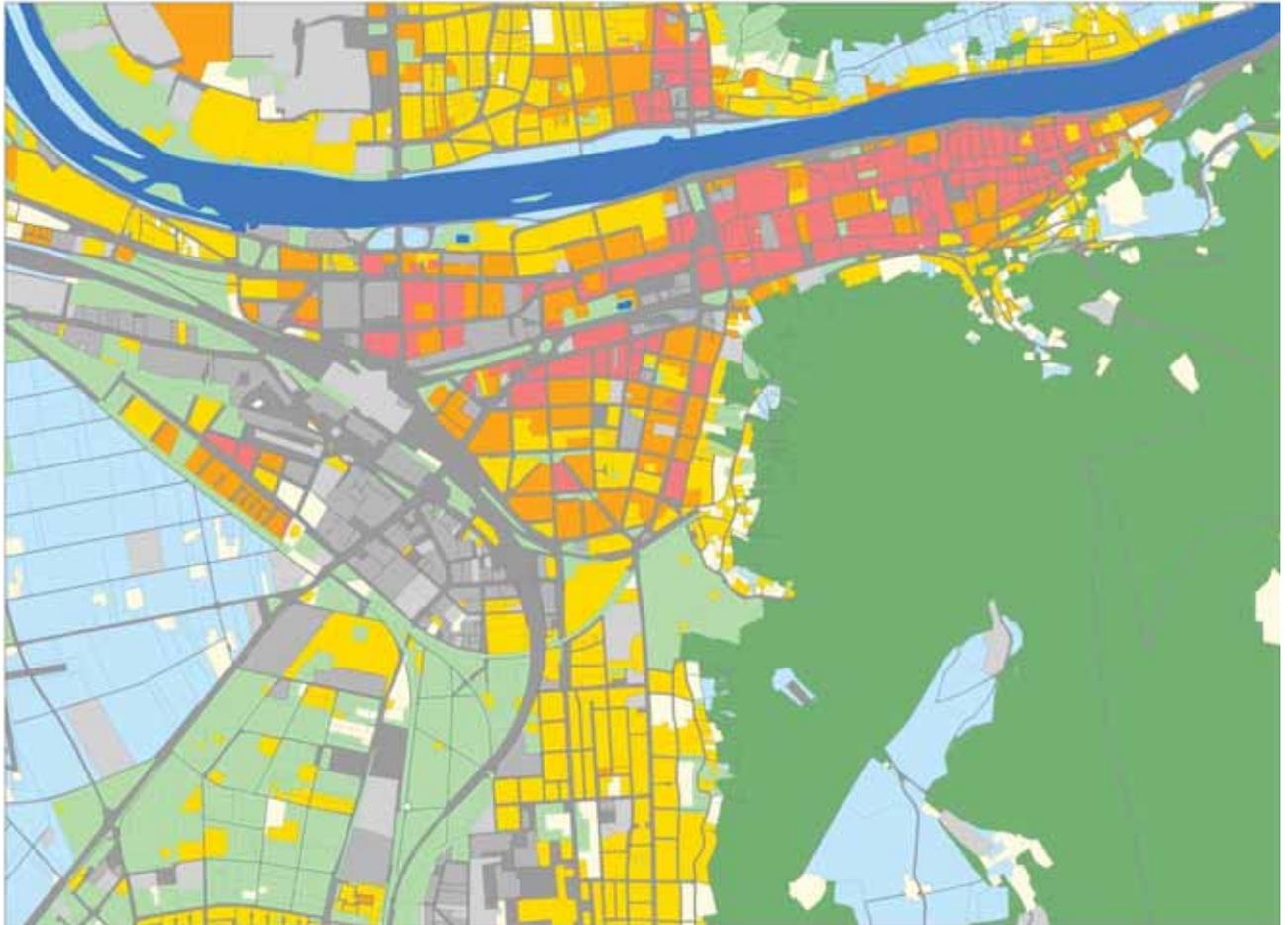
## 4 Ergebnis der Klimatopausweisung

Das Ergebnis der Klimatopausweisung ist in Abbildung 4.1 zu sehen.



**Abbildung 4.1:** Klimatopkarte Heidelberg

Entlang des Bergstraßenhangs im Bereich Rohrbach-Süd und Handschuhsheim wird die Trennung von Odenwald und Neckar-Rhein-Ebene anhand der Klimatope Waldklima und Freilandklima sehr deutlich. Diese beiden Flächentypen dominieren den Osten bzw. Westen des Stadtgebiets. Die weniger zentral gelegenen Stadtteile (zum Beispiel Weiblingen) sind geprägt von dörflichen Strukturen, aus denen ein Vorstadt- oder Stadttrandklima resultiert. Entlang der Bahnlinie finden sich größere und kleinere Industriegebiete wieder, die von unterschiedlich dichter Struktur sind. Die stärkere Verdichtung der zentral gelegenen Stadtteile spiegelt sich auch in den vergebenen Klimatopen wieder. Hier ist das Bild heterogener wie in Abbildung 4.2 dargestellt.



**Abbildung 4.2:** Detailausschnitt Klimatopkarte Heidelberg (Legende siehe Abbildung 4.1).

Das Klimatop „Innenstadtklima“ ist vor allem in der Altstadt, in der Westheim und Bergheim zu finden. Auch dem Stadtteil Neuenheim ist stellenweise ein Innenstadtklima zuzuordnen. Diese Bereiche Heidelbergs sind besonders stark verdichtet und weisen einen sehr geringen Grünanteil auf. Im nahegelegenen Umfeld der Innenstadt ist ein „Stadtklima“ anzutreffen. Hier ist der Grünanteil in den Blockinnenhöfen höher und die Bebauungsdichte ist geringer. Das Klimatop „Stadtrandklima“ ist am weitesten verbreitet in Heidelberg. In diesem Klimatop liegen Einzel- und Reihenhausbaugebiete, aber auch Villenviertel oder Areale mit Zeilenbebauung mit recht großen Grünflächen. Vor allem in den Randbereichen zu Wald- oder Freiflächen findet sich auch das Klimatop „Vorstadtklima“. Hier ist innerhalb der Bebauung der größte Grünanteil zu bilanzieren.

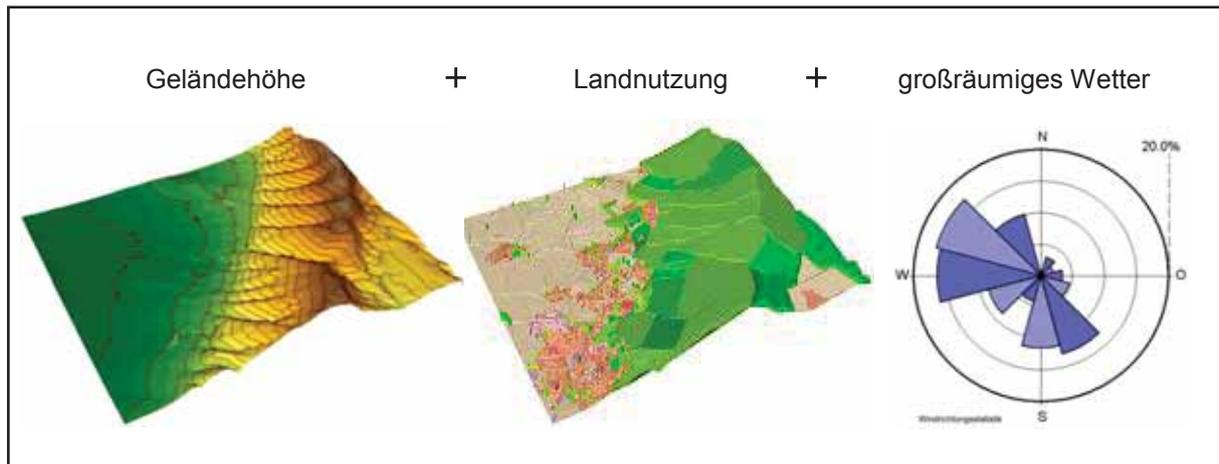
Die Ausweisung der Klimatope beruht ausschließlich auf der Bebauungsstruktur im Untersuchungsgebiet sowie der Lage der Flächen im Raum. Gerade in Heidelberg spielt das Strömungsgeschehen eine wichtige Rolle für die Entstehung des Stadtklimas. Die besondere Lage am Rande des Odenwalds, die durch die Bergstraßenlandschaft charakterisiert wird, bedingt eine starke Ausprägung lokaler Winde. Dieses Phänomen kann durch die ebenfalls durchgeführte Modellierung abgebildet werden. Im Folgenden werden das Vorgehen und die Ergebnisse der Modellierung detailliert beschrieben.



## 5 Methodik und Datengrundlagen für die Erstellung einer Klimaanalysekarte

### 5.1 Eingangsdaten

Bei numerischen Simulationen muss zur Festlegung und Bearbeitung einer Aufgabenstellung eine Reihe von Eingangsdaten zur Verfügung stehen (Abbildung 5.1). Diese müssen zum einen die Landschaft charakterisieren für welche die lokalklimatische Studie durchgeführt werden soll und zum anderen auch die größerskaligen meteorologischen Rahmenbedingungen wie Wetterlage oder Klimaszenario definieren.



**Abbildung 5.1:** Eingangsdaten für die Modellrechnung

Alle Eingangsdaten müssen jeweils als repräsentativer Wert für eine Rasterzelle bereitgestellt bzw. definiert werden:

- Geländedaten (z.B. Geländehöhe, Neigung, Orientierung)
- Nutzungsdaten (Verteilung der Landnutzung)
  - Bei urbanen Räumen: z.B. Gebäudehöhe, Überbauungsgrad, anthropogene Abwärme, Albedo,.....
  - Bei Bewuchs: z.B. Bestandshöhe, Bestandsdichte, Blattflächenverteilung,...
- Wetter-/Klimadaten (z.B. großräumige Anströmungsrichtung und –geschwindigkeit, Luftmassencharakteristiken wie Temperatur und Feuchte).

Bei einer Gesamtgröße des Untersuchungsgebietes von ca. 230 km<sup>2</sup> geht die Abgrenzung des Untersuchungsraumes deutlich über das Stadtgebiet Heidelbergs hinaus und zielt darauf ab, auch die außerhalb der Stadtgrenzen liegenden Gelände- und Nutzungsstrukturen 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.

#### 5.1.1 Geländehöhe

Zur Bereitstellung der orographischen Eingangsparameter für die modellgestützte Klimaanalyse konnte auf ein digitales Geländehöhenmodell der Stadt Heidelberg mit einer Auflösung von 5 m zurückgegriffen werden. Darauf basierend wurde das für die Modellrechnung erforderliche Raster mit einer Auflösung von 25 m erzeugt. Abbildung 5.2 zeigt die Geländehöhen im Untersuchungsgebiet.

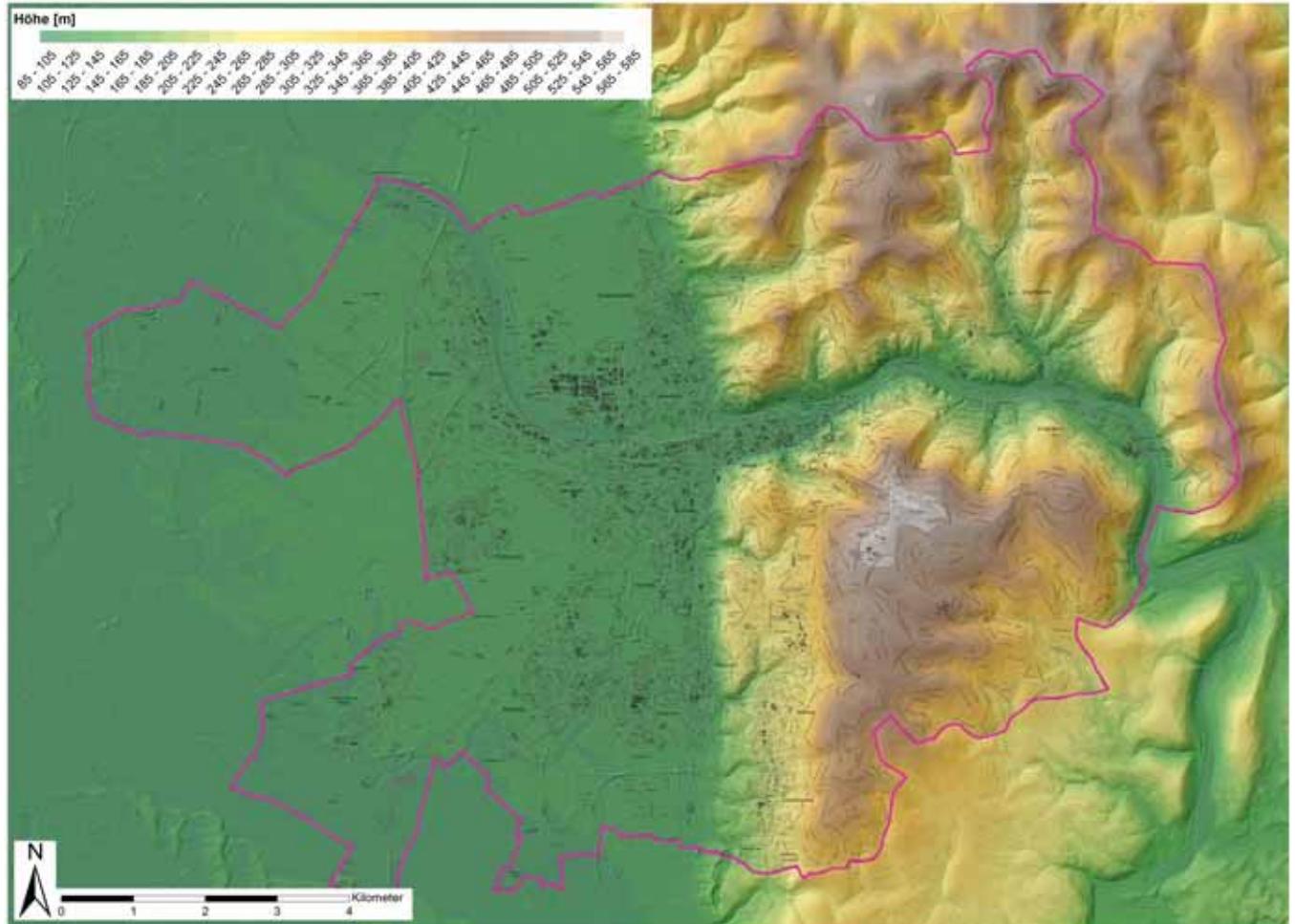


Abbildung 5.2: Höhen im Untersuchungsgebiet

Im Osten des Untersuchungsgebiets befindet sich der Odenwald mit einem recht markanten Relief. Im Westen dahingegen befindet sich die flache Neckar-Rhein-Ebene. Der Neckar durchfließt das Untersuchungsgebiet in etwa von Südosten nach Nordwesten. Der höchste Punkt im Untersuchungsgebiet ist der Königstuhl (568 m ü NN), während die niedrigsten Bereiche bei 90,5 m ü NN in der Ebene im Westen verortet sind. Damit ergibt sich für das Untersuchungsgebiet ein maximaler Höhenunterschied von 477,5 m.

### 5.1.2 Nutzungsstruktur

Die Aufbereitung der Nutzungsstrukturen erfolgte auf Grundlage der von der Stadt Heidelberg zur Verfügung gestellten Nutzungs-Daten. Sie wurden mit Hilfe von aktuellen Luftbildern geprüft und gegebenenfalls überarbeitet. Damit war es beispielsweise möglich, über die in den Ursprungsdaten hinaus enthaltenen Informationen zusätzliche Grünanteile innerhalb von Siedlungsbereichen zu erfassen und deren klimatische Wirkung zu berücksichtigen. Für das Umland standen CORINE Landnutzungsdaten zur Verfügung, die ebenfalls angepasst wurden (vgl.: EUROPEAN COMMISSION (1994)). Die Nutzungsstruktur ist in Abbildung 5.3 dargestellt.

Modellrechnungen verwenden rasterhafte Repräsentationen von Eingangsvariablen. Für die Bereitstellung der Modelleingangsdaten muss die Flächengeometrie daher auf Rasterzellen jeweils einheitlicher Nutzungsstruktur – hier mit einer Maschenweite von 25 m – übertragen werden. Da bei dieser Auflösung Einzelgebäude nicht explizit aufgelöst werden können, gehen sie entsprechend parametrisiert durch die Definition der Nutzungsklassen in die Modellierung ein. Sie werden daher je Rasterzelle über eine mittlere Rauigkeit und Hindernishöhe repräsentiert. Im Zuge des hierbei eingesetzten geostatistischen Verfahrens wurden kleinere



Nutzungseinheiten, die aufgrund der Maßstabsbeschränkung in der Flächengeometrie nicht enthalten sind (z.B. Straßenräume, Hausgärten, kleinere Baumgruppen) den einzelnen Rasterzellen mittels einem umfangreichem Abgleich mit Luftbildern zugeordnet.

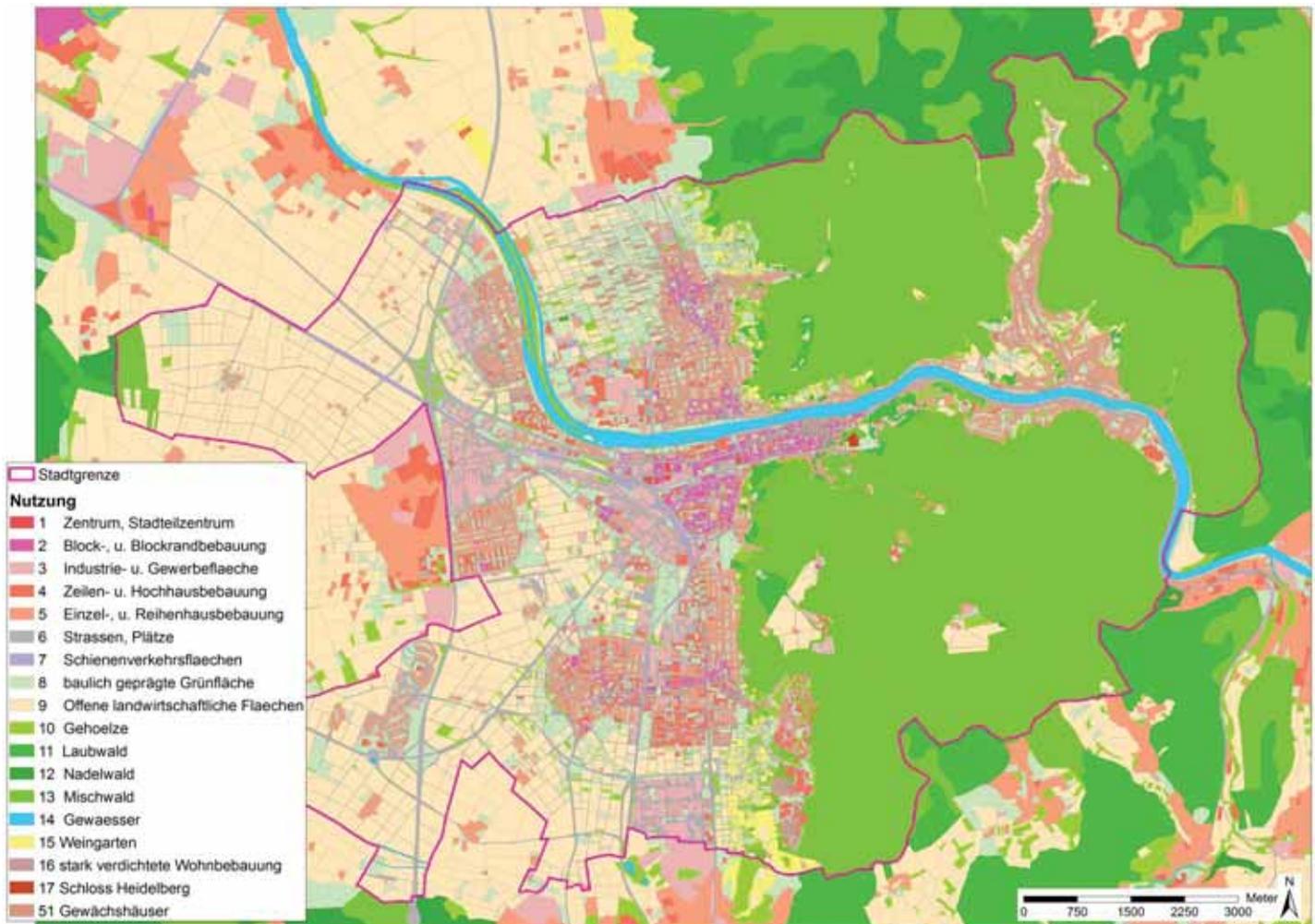


Abbildung 5.3: Nutzungsstruktur im Untersuchungsgebiet

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 nutzungsklassifizierte vorliegende Literaturdaten (u.a. MOSIMANN et al. 1999) genutzt worden, die auf Untersuchungsergebnissen aus mehreren deutschen Städten beruhen. Um den speziellen Anforderungen der Modellanalyse gerecht werden zu können, wurde bei der Aufbereitung der Nutzungsstrukturen ein vereinfachter, 18-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. Die verwendeten Nutzungskategorien mit dem jeweils zugeordneten Versiegelungsgrad und der zugeordneten mittleren Strukturhöhe zeigt die unten angefügte Tabelle 5.1.

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 Klimaanalysekarte beruht, ist eine einheitliche Rasterauflösung von 25 m x 25 m verwendet worden.

Klasse	Flächentyp	Beschreibung	Mittlerer Versiegelungsgrad (%)	Mittlere Strukturhöhe (m)
1	Zentrum, Stadtteilzentrum	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 Grün- und Freiflächenanteil, welcher sich durch die zwischen den Gebäudekörpern befindlichen Abstandsflächen ergibt.	55	15,0
5	Einzel- und Reihenhausbauung	Dieser Typ weist unter den Siedlungsräumen den geringsten Überbauungsgrad auf. Der Übergang zwischen dicht ausgeprägter Reihenhausbauung und einer Zeilenbebauung ist fließend.	41	5,0
6	Straßenraum	Ebenerdig versiegelte Fläche des Straßenraums.	95	0,2
7	Gleisfläche	Schienenverkehrsfläche mit geringer Strukturhöhe.	25	0,5
8	Baulich geprägte Grün- und Freifläche	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	Offene landwirtschaftliche Flächen	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	Laubwald	Waldflächen sowie waldartige Bestände im Siedlungsreich.	5	18,0
12	Mischwald			
13	Nadelwald			
14	Gewässer	Still- und Fließgewässer.	0	0
15	Weingarten	Flächen des Weinbaus	5	2,0
16	Verdichtete Wohnbebauung	Stark verdichtete Wohnbebauung, historische Stadtkernbereiche	87	10,0
17	Schloss Heidelberg	Schlossgebäude	60	15,0
51	Gewächshäuser	Gewächshausflächen	50	5,0

**Tabelle 5.1:** Nutzungskategorien der Klimamodellierung mit Kennwerten zur Strukturhöhe und zum Versiegelungsgrad

## 5.2 Methodik der Modellrechnung

### 5.2.1 Das mesoskalige Klimamodell 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 Metern bis hin zu einigen Kilometern und eine Zeitdauer von Minuten bis hin zu Stunden. Unter Verwendung des üblichen Einteilungsschemas meteorologischer Phänomene werden diese in die Mikro- und Mesoskala eingeordnet. Beispiele für solche Phänomene in der Mesoskala sind der Einfluss orographischer Hindernisse auf den Wind wie Kanalisierung und Umströmungseffekte, Land-See-Winde, Flurwinde und das Phänomen der urbanen Wärmeinsel oder, als mikroskaliges Phänomen, Düseneffekte in Straßen.

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 bezüglich der Wechselwirkungen einzelner Strömungssysteme untereinander. Ein Grund hierfür sind die relativ kleinen und kurzen Skalen der mesoskaligen Phänomene und deren unterschiedliche Erscheinungsbilder in komplexem Gelände, was es extrem schwierig macht, mit Hilfe 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 (1988) wurden gerade in Deutschland eine Reihe mesoskaliger Modelle konzipiert und realisiert. Durch die in den 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 stadt- und landschaftsplanerisch relevanten Landschaftsausschnitten zur Verfügung.

#### Grundlagen mesoskaliger Modelle

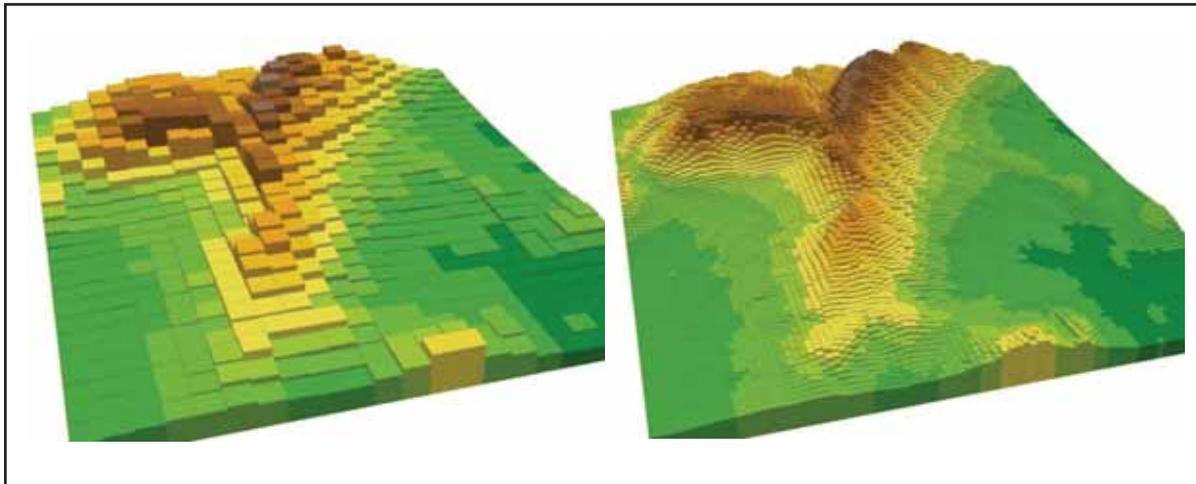
Die Verteilung der lokalklimatisch relevanten Größen wie Wind und Temperatur können mit Hilfe von Messungen ermittelt werden. Aufgrund der großen räumlichen und zeitlichen Variation der meteorologischen Felder im Bereich einer komplexen Umgebung sind Messungen allerdings immer nur punktuell repräsentativ und eine Übertragung in benachbarte Räume nur mit Einschränkungen möglich. Mesoskalige Modelle wie FITNAH bieten den Vorteil, dass sie physikalisch fundiert die räumlichen und/oder zeitlichen Lücken zwischen Messungen schließen können, weitere meteorologische Größen berechnen, die nicht gemessen wurden und Wind- und Temperaturfelder in ihrer 3-dimensionalen Struktur ermitteln. Die Modellrechnungen bieten darüber hinaus die Möglichkeit, Planungsvarianten und Ausgleichsmaßnahmen in ihrer Wirkung und Effizienz zu studieren und auf diese Art und Weise optimierte Lösungen zu finden.



## 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 Bewegungsgleichungen), 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. Abbildung 5.4).



**Abbildung 5.4:** Unterschiedliche Rasterweiten (links: 500 m x 500 m; rechts: 125 m x 125 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. Die für die Modellierung mit FITNAH hier verwendete horizontale Maschenweite  $\Delta x$  beträgt 25 m. Bei allen Modellrechnungen ist die vertikale Gitterweite nicht äquidistant und in Bodennähe sind die Rechenflächen besonders dicht angeordnet, um die starke Variation der meteorologischen Größen in der bodennahen atmosphärischen Grenzschicht 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 vertikale Abstand  $\Delta z$  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 mittlere 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 den Maßstabsbereich von 1:20 000 bis 1:100 000 ab. Dies korrespondiert mit der Planungsebene Flächennutzungsplan bzw. Regionalplan. 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 globa-

len 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 (Abbildung 5.5). Das Rastervolumen kann folglich nur noch zu einem geringen Anteil durchströmt werden, wobei die Porosität als gleichmäßig verteilt angenommen wird.

Eine Strömung ist nur noch in den offenen Poren möglich, was zu einer deutlichen Reduzierung der mittleren Geschwindigkeit führt. Die Temperatur wird durch die gebäudespezifischen Parameter wie Gebäudehöhe, Überbauungsgrad oder anthropogene Abwärme bestimmt und modifiziert damit das Temperaturfeld der bodennahen Atmosphäre bis in die mittlere Höhe der Bebauung (Grundlagen und Beschreibung: Groß, 1989).

Ein vorhandener Baumbestand kann über die Baumhöhe, die Bestandsdichte und die Baumart charakterisiert werden. Auch diese Bestandsstrukturen sind so klein, dass sie in der Mesoskala 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 (Abbildung 5.6). Bei FITNAH werden zusätzliche Terme in das Gleichungssystem eingeführt, die zum einen über einen Widerstandsterm die Modifizierung des Windfeldes gewährleisten und zum anderen den Strahlungshaushalt im Bereich eines Baumbestandes modifiziert (Grundlagen und Beschreibung: GROSS (1993)).

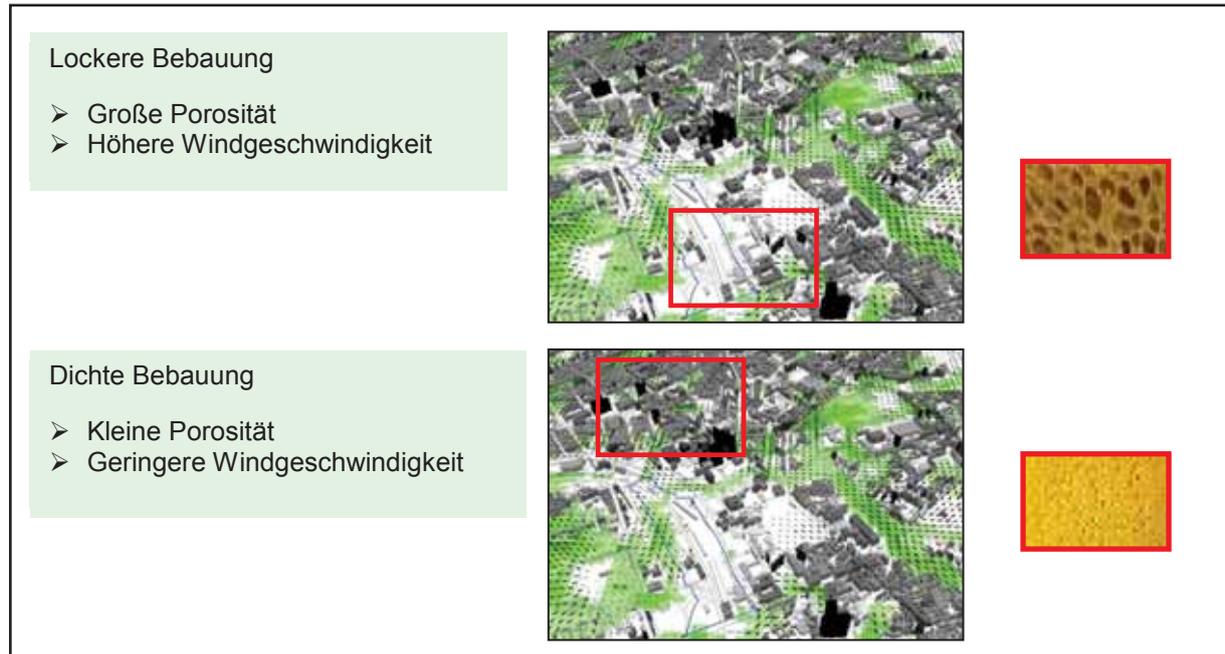


Abbildung 5.5: Einfluss der Bebauungsdichte auf die Strömungsgeschwindigkeit

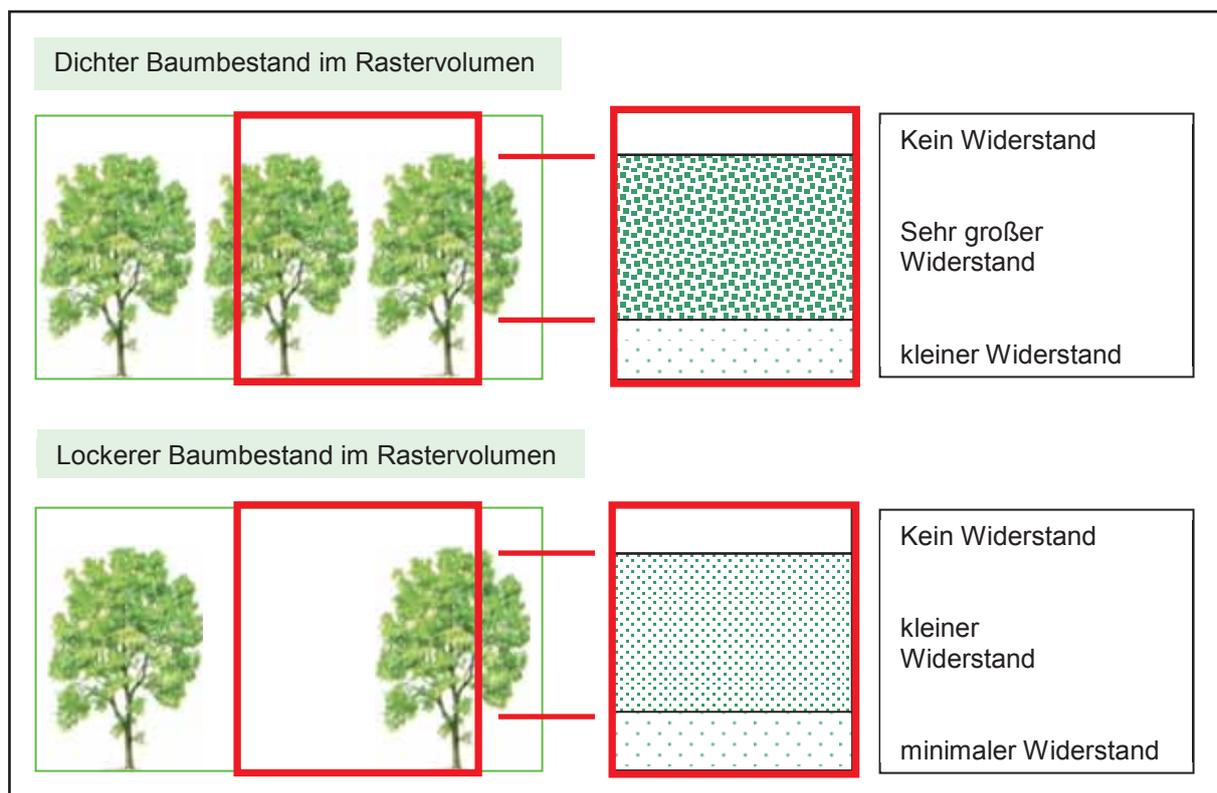


Abbildung 5.6: Einfluss der Vegetation auf die Durchströmbarkeit einer Rasterzelle

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

## 5.2.2 Meteorologische Rahmenbedingungen für die Modellberechnung Kaltlufthaushalt

Während autochthoner Wetterlagen können sich die lokalklimatischen Besonderheiten einer Landschaft besonders gut ausprägen. Eine solche Wetterlage wird durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr

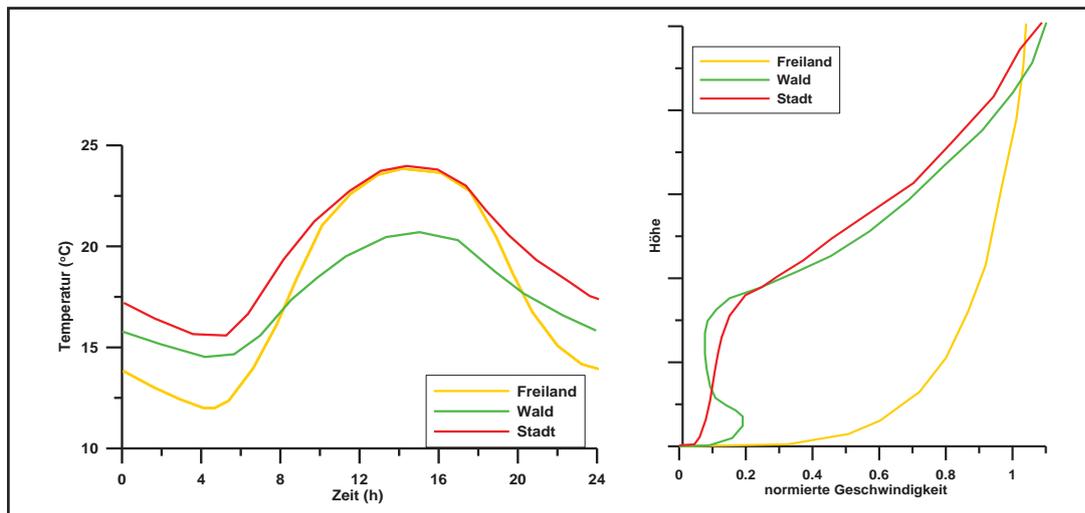


schwachen überlagernden Höhenwind gekennzeichnet. Bei den hier durchgeführten numerischen Simulationen werden die großräumigen meteorologischen Rahmenbedingungen wie folgt festgelegt:

- Bedeckungsgrad 0/8 (wolkenlos)
- kein überlagernder Höhenwind
- relative Feuchte der Luftmasse 50%

Die vergleichsweise geringen Windgeschwindigkeiten bei einer austauscharmen Wetterlage bedingen vor allem nachts einen herabgesetzten Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht. Treten diese Wetterlagen im Sommerhalbjahr auf, können sich bei gleichzeitiger hoher Ein- und Ausstrahlung somit lokal bioklimatische und lufthygienische Belastungsräume ausbilden. Charakteristisch für sommerliche Hochdruckwetterlagen ist die Entstehung eigenbürtiger Kaltluftströmungen während der Nachtstunden, die durch den Temperaturgradienten zwischen kühlen Grün- oder Freiflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetrieben werden.

In Abbildung 5.7 sind der simulierte tageszeitliche Verlauf (Tagesgang) der Lufttemperatur in Bodennähe sowie Vertikalprofile der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für die Landnutzungen Freiland, Stadt und Wald schematisch dargestellt.



**Abbildung 5.7:** Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für verschiedene Landnutzungen

Der Tagesgang der Lufttemperatur zeigt, dass sowohl Grün- oder 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 der beispielsweise mit Gras oder Getreide bestandenen Grün- oder Freifläche führt der Mangel an Verschattung zu einem hohen Temperaturniveau, während hier nachts die Abkühlung am stärksten ist. Waldflächen nehmen eine vermittelnde Stellung ein, da die nächtliche Auskühlung durch das Kronendach gedämpft wird. Bei der Windgeschwindigkeit wird der Einfluss von Bebauung und Vegetationsstrukturen im Vertikalprofil deutlich. Das für eine Fläche ohne größere Strömungshindernisse typische vertikale Windprofil kann sich erst oberhalb der mittleren Höhe der Nutzungsstruktur ausbilden.

### 5.3 Methodik der Bewertung der klimaökologischen Nutzungsstrukturen

Um Aussagen über die Funktionszusammenhänge treffen zu können, müssen unterschiedliche Flächeneinheiten von Grünarealen einerseits und bebauten Bereichen andererseits in ihren klimatischen Merkmalen untereinander abgrenzbar sein. Die Kaltluftlieferung von Grün- und Freiflächen kann durchaus sehr unter-

schiedlich ausgeprägt sein und innerhalb von Siedlungsflächen kann die bioklimatische Situation je nach Bebauungsstruktur und Lage im Raum stark variieren. Um diese Heterogenität in der **Klimaanalysekarte** darstellen zu können, werden den Flächen der verwendeten digitalen Nutzungsinformationen die relevanten Klimaparameter wie z.B. Windgeschwindigkeit oder Kaltluftvolumenstrom zugeordnet. Die den Flächen zugewiesenen Klimaparameter werden als Flächenmittelwerte aus den Ergebnissen der Klimamodellierung gebildet, die in einem 25 m Raster vorliegen.

Die qualitative Bewertung der einzelnen Klimaparameter erfolgt dann in Relation zum mittleren Wertenniveau der Klimaparameter im Untersuchungsgebiet. Dieses Vorgehen erfolgt in Anlehnung an die VDI Richtlinie 3785 Blatt 1 (VDI 2008b), in der vorgeschlagen wird, für eine Bewertung der Klimaparameter die Abweichungen der Einzelwerte von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsgebiet als Bewertungsmaßstab heranzuziehen. Daraus ergibt sich ein standardisiertes Verfahren mit dem Klimaanalysen verschiedener Städte untereinander vergleichbar werden:

Hierfür werden dimensionslose Abweichungen eines Wertes vom Gebietsmittel mit Hilfe der sogenannten „z-Transformation“ berechnet. Die Abweichung eines Einzelwertes vom Gebietsmittel dieses Wertes wird dabei mit der Standardabweichung des Datenkollektivs normiert:

$$z = ( Z - \mu ) / \text{Sigma} \quad , \text{ mit}$$

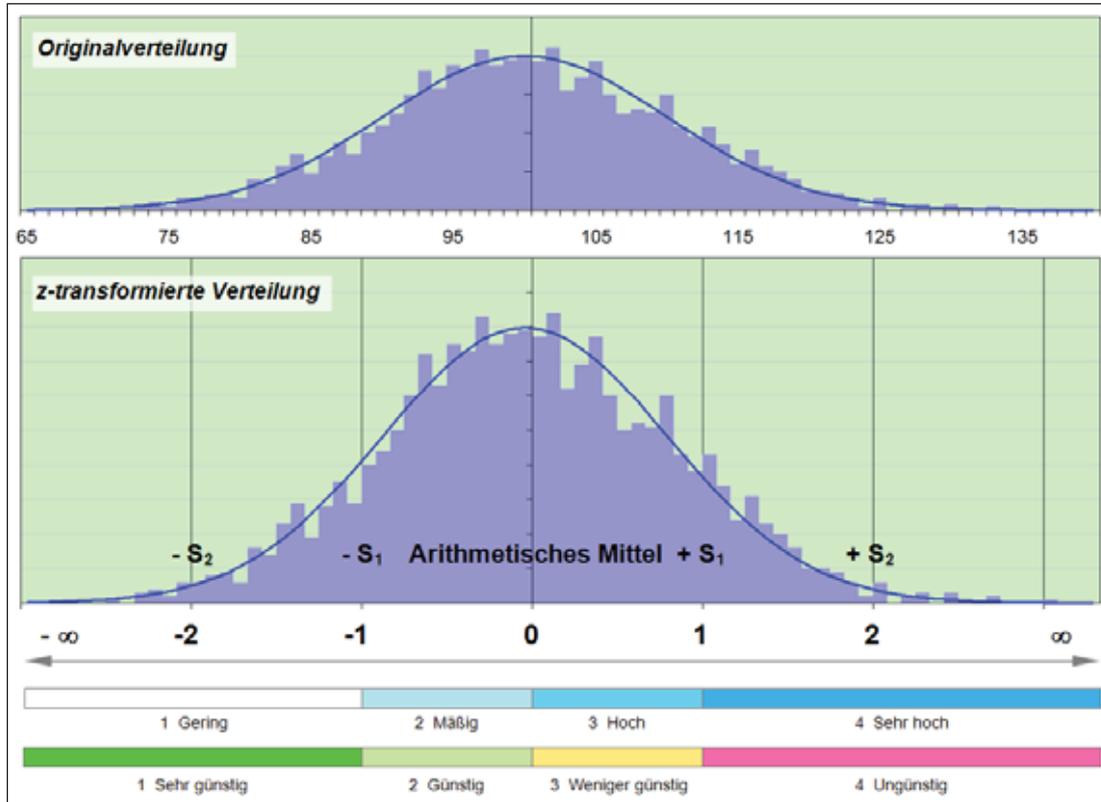
z: standardisierter Wert der Variablen Z ( z.B. Kaltluftvolumenstrom)

Z: Ausgangswert der Variablen (z.B.: Kaltluftvolumenstrom)

$\mu$ : arithmetisches Mittel der Variablen

Sigma: Standardabweichung

Eine Klassifizierung in Kategorien wie „Hoch“ und „Gering“ oder „Günstig“ und „Ungünstig“ erfolgt dann in standardisierter Form anhand der positiven oder negativen Abweichung der Variablen vom Gebietsmittel. Als Klassengrenze für eine weitere Unterteilung in beispielsweise „sehr hoch“–„hoch“ oder „günstig“–„sehr günstig“ wird eine Abweichung vom Gebietsmittel herangezogen, die über die Standardabweichung hinausgeht. Die Klassengrenzen der weiteren Unterteilung liegen damit bei z-transformierten Werten von 1 bzw. -1. Die folgende Abbildung verdeutlicht schematisch das Vorgehen bei der Bewertung der so normierten Daten.



**Abbildung 5.8:** Schematische Darstellung des Bewertungsschemas für z-transformierte Parameter  
Ein Wert von 1 entspricht der Standardabweichung ( $S_1$ ) vom Gebietsmittel

Die Abweichungen vom Gebietsmittel werden für die Bewertung der Parameter Kaltluftvolumenstrom, Kaltluftproduktionsrate sowie bioklimatische Belastung betrachtet, die die wesentliche Grundlage für die Beurteilung der lokalklimatischen Situation liefern.

### 5.3.1 Grün- und Freiflächen

In der Klimaanalysekarte werden Grün- und Freiflächen unabhängig von ihrer räumlichen Lage lediglich hinsichtlich ihres Kaltluftliefervermögens charakterisiert. Als Bewertungskriterium für ihre lokalklimatische Bedeutung wird der Volumenstrom als Maß für den Zustrom von Kaltluft aus den benachbarten Rasterzellen herangezogen. Die folgende Tabelle zeigt das durchschnittliche Wertenniveau in den 4 Bewertungsklassen.

Bewertung	normierter Wert	Kaltluftvolumenstrom $\varnothing$ in $m^3/s$ (pro Meter)
<i>gering</i>	< -1	< 20
<i>mäßig</i>	-1 bis 0	20 - 60
<i>hoch</i>	> 0 bis 1	60 - 100
<i>sehr hoch</i>	> 1	> 100

**Tabelle 5.2:** Bewertung der Kaltluftlieferung in der Klimaanalysekarte

In der Klimaanalysekarte wird – im Gegensatz zur Planungshinweiskarte – die Kaltluftlieferung der Grün- und Freiflächen bewertet. Die räumliche Lage der Flächen zu bioklimatisch belastetem Siedlungsraum und damit auch ihre stadtklimatische Bedeutung wird in der Klimaanalysekarte nicht mit einbezogen.



### 5.3.2 Bioklima in den Siedlungsflächen

Zur Beurteilung des Bioklimas in den Siedlungsräumen, wie es in der Klimaanalysekarte der Fall ist, wird der Einfluss der verschiedenen meteorologischen Parameter auf das Wohlbefinden des Menschen betrachtet. Eine große Rolle spielen hierbei Strahlungstemperatur, Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit, da diese Parameter den Wärmehaushalt des Menschen direkt beeinflussen. Zur Beurteilung des thermischen Wirkungskomplexes wird in dieser Untersuchung der *Bewertungsindex PMV<sup>6</sup>* (Predicted Mean Vote; vgl. FANGER (1972)) als dimensionsloses Maß für die Wärmebelastung verwendet, der auf einer Auswertung dieser Parameter basiert. Der sogenannte „PMV-Wert“ basiert auf der Wärmebilanzgleichung des menschlichen Körpers und gibt den Grad der „Behaglichkeit“ als mittlere subjektive Einschätzung einer größeren Anzahl von Menschen in Wertestufen wieder. Mit steigendem PMV erhöht sich die bioklimatische Belastung aufgrund der als Diskomfort empfundenen thermischen Beanspruchung des Körpers.

Für die Berechnung des PMV-Wertes müssen als wichtigste meteorologische Eingangsgrößen Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Dampfdruck und Strahlungstemperatur am Aufenthaltsort bekannt sein. Diese meteorologischen Parameter variieren innerhalb städtischer Strukturen in weiten Grenzen. In Abhängigkeit von den stadtspezifischen Faktoren (z.B. Bebauungshöhe, Versiegelung, Durchgrünungsgrad) und der Charakterisierung der Wettersituation, kann die Ausprägung des nächtlichen PMV mit Hilfe des Modells FITNAH abgeschätzt und entsprechend der speziellen Anliegen der Untersuchung angepasst werden.

Der Wärmebelastung, wie sie in der Klimaanalysekarte dargestellt wird, liegt das Wertenniveau in der zweiten Nachthälfte um 4 Uhr zugrunde. Ein erholsamer Schlaf ist nur bei günstigen thermischen Bedingungen möglich, weshalb der Belastungssituation in den Nachtstunden eine besondere Bedeutung zukommt. Der berechnete PMV beschreibt zunächst die thermische Belastung des Menschen im Freien. Da die klimatischen Verhältnisse in den Wohnungen in der Nacht im Wesentlichen nur durch einen Luftwechsel modifiziert werden können, spielen Windgeschwindigkeit und Lufttemperatur der Außenluft auch eine entscheidende Rolle für eine positive Beeinflussung des nächtlichen Innenraumklimas.

Der berechnete PMV-Wert beschreibt die bioklimatischen Verhältnisse für eine typische Sommernacht mit geringem Luftaustausch und einer durch wolkenlosen Himmel gegebenen ungehinderten langwelligen Ausstrahlung. Dabei wirken lokal auftretende Kaltluftströmungen modifizierend auf die räumliche Ausprägung des PMV. Es handelt sich somit um eine Einzelsituation.

Bioklimatische Situation qualitative Einstufung	PMV Wert z-transformiert	charakteristische Bebauungstypen
<b>sehr günstig</b>	< -1	Dörflich geprägte Siedlungstypen
<b>günstig</b>	-1 bis 0	Einzel- und Reihenhausbauung
<b>weniger günstig</b>	0 bis 1	Block- und Blockrandbauung
<b>ungünstig</b>	> 1	Verdichteter Siedlungsraum

**Tabelle 5.3:** Klassifizierung der bioklimatischen Situation in der Klimaanalysekarte und dafür typische Siedlungsstrukturen

Die Klassifizierung der bioklimatischen Situation erfolgt in vier qualitativen Bewertungskategorien. Die Basis hierfür bilden, wie bereits beschrieben, die lokalen z-transformierten PMV-Werte und deren Abweichungen von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsraum (s. auch Abbildung 5.8, S. 30).

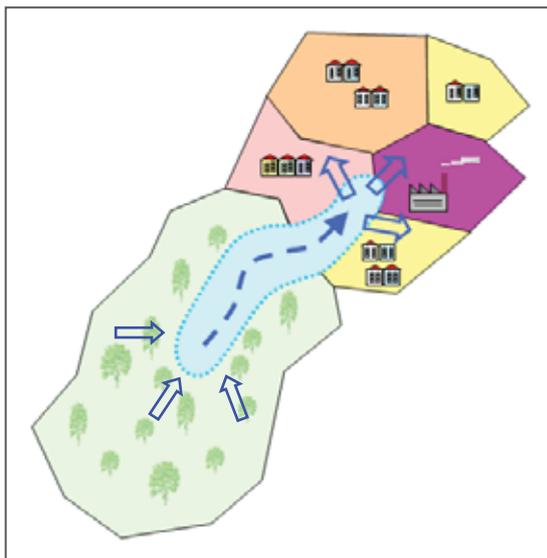
<sup>6</sup> Predicted Mean Vote (FANGER 1972), für eine ausführliche Beschreibung siehe VDI 3785 Blatt 1 (VDI 2008b)



Bei der Bewertungsklasse 4 "ungünstig" liegt eine für die Region überdurchschnittliche Wärmebelastung vor. Eine bioklimatische Belastung ist auch noch bei der Bewertungsklasse 3 „weniger günstig“ gegeben. Günstige Verhältnisse liegen hingegen bei den Klassen 2 und 1 vor und können aus bioklimatischer Sicht als positiv beurteilt werden. Die Bioklimatische Situation ist häufig mit charakteristischen Bebauungstypen verknüpft. In Tabelle 5.3 sind den jeweiligen Klassen diese charakteristischen Bebauungstypen zugeordnet.

### 5.3.3 Kaltluftleitbahnen

*Leitbahnen* verbinden Kaltluftentstehungsgebiete („Ausgleichsräume“) und Belastungsbereiche („Wirkungsräume“) miteinander und sind somit elementarer Bestandteil des Luftaustausches. Als geeignete



**Abbildung 5.9:** Prinzipskizze einer Kaltluftleitbahn

Oberflächenstrukturen, die ein Eindringen von Kaltluft in die Bebauung erleichtern, dienen innerhalb von Siedlungsräumen sowohl gering bebaute vegetationsgeprägte Freiflächen, Kleingärten und Friedhöfe als auch Gleisareale, breite Straßenräume und Flussläufe. Die Ausweisung der Leitbahnbereiche erfolgt manuell und orientiert sich am autochthonen Strömungsfeld der Modellsimulation. Die Leitbahnen werden sowohl in der Klimaanalysekarte als auch der Planungshinweiskarte dargestellt.

Kaltluftabflüsse treten über unbebauten Hangbereichen auf, sofern sie Neigungen von  $\geq 1^\circ$  aufweisen. Aufgrund der höheren Dichte von Kaltluft setzt sie sich, dem Gefälle folgend, hangabwärts in Bewegung. Durch diese Beschleunigung weisen Kaltluftabflüsse meist höhere Strömungsgeschwindigkeiten auf als Ausgleichsströmungen, die sich allein aufgrund des Temperatur- und Dichteunterschiedes zwischen kühlen Grün- oder Freiflächen und überwärmter Bebauung einstellen. Aus stadtklimatischer

Sicht sind daher Abflüsse als sehr wirksam zu bewerten. Das Strömungsgeschehen im Untersuchungsgebiet Heidelberg wird stark durch den im Osten liegenden Odenwald bestimmt. Kaltluftabflüsse treten aus den Hängen des Odenwalds in die Neckar-Rhein-Ebene auf. Durch die relativ großen Hangneigungen im Übergang vom Odenwald zur Bergstraße dominieren diese starken Kaltluftabflüsse das gesamte Stadtgebiet und sind insbesondere über dem rauigkeitsarmen Neckar ausgeprägt und bilden den sogenannten Neckartäler aus.

## 6 Ergebnisse der Modellrechnung

Im Folgenden werden die Modellergebnisse zu den meteorologischen Parametern Lufttemperatur in 2 m Höhe, Kaltluftproduktion, nächtliches Strömungsfeld sowie Kaltluftvolumenstrom erläutert. Als meteorologische Rahmenbedingung wurde eine windschwache hochsommerliche Hochdrucklage zugrunde gelegt, da sich stadtklimatische Effekte vor allem während solcher windschwacher Strahlungswetterlagen<sup>7</sup> im Sommer entwickeln. Auslöser dieser Prozesse sind die Temperaturunterschiede zwischen vergleichsweise warmen Siedlungsräumen und kühleren vegetationsgeprägten Grün- und Freiflächen. Diese Wetterlagen stellen in unseren Breiten die kritischsten Situationen für eine bioklimatische Belastung dar.

### 6.1 Das bodennahe Lufttemperaturfeld

Ausschlaggebend für die räumliche Temperaturverteilung während Strahlungswetterlagen sind vor allem die landnutzungsabhängigen thermischen Boden- und Oberflächeneigenschaften.

Für unversiegelte Flächen spielt dabei die Wärmeleitfähigkeit des Bodens eine große Rolle, die deutlich mit dem Bodentyp und der Bodenfeuchte variieren kann. Je größer beispielsweise die Wärmeleitfähigkeit des Bodens ist, umso tiefer kann Wärme in das entsprechende Material eindringen, dort gespeichert werden und ebenso von diesem wieder abgegeben werden. Ein vorhandener Bewuchs modifiziert die Erwärmungs- und Abkühlungsraten. Stark ausgeprägt zeigt sich dieser Effekt in Waldgebieten, in denen die Lufttemperatur innerhalb des Stammraumes einen gedämpften Tagesgang zeigt. Strahlungsumsätze erfolgen hier zum einen zwischen Atmosphäre und Kronendach aber ebenso innerhalb des Stammraumes zwischen Kronendach und Boden. Während im Stammraum tagsüber durch Verschattung und Verdunstung relativ niedrige Temperaturen bei vergleichsweise hoher Luftfeuchtigkeit vorherrschen, schirmt das Kronendach nachts die Ausstrahlung ab, so dass hier, im Vergleich zum Freiland, eher milde Temperaturen auftreten. Waldgebiete sind wichtige Frischluftproduktionsgebiete, wobei gerade stadtnahe Wälder auch am Tage Kaltluft zugunsten des direkt angrenzenden Siedlungsraumes erzeugen können.

Die bebauten Stadtgebiete zeigen ein sehr komplexes thermisches Verhalten. Gebäude liefern große Flächen, die sich unter der Sonneneinstrahlung tagsüber erwärmen. Abhängig von Bausubstanz und Gebäudedichte können unterschiedliche Wärmemengen gespeichert und nachts wieder abgegeben werden. Durch die hohe Versiegelung des Bodens sind kühlende Verdunstungsprozesse gegenüber Grün- oder Freiflächen deutlich reduziert. Zusätzlich wird Wärme aus anthropogenen Quellen freigesetzt. Da die Durchlüftung einer Stadt aufgrund der Bebauungsdichte zum Teil deutlich eingeschränkt ist, ist auch die turbulente Wärmeleitung reduziert. Als Folge dieser Prozesse treten innerhalb der Bebauung und vor allem im Vergleich zum Freiland deutliche Temperaturunterschiede auf. Das Ausmaß der Temperaturabweichung im Siedlungsgebiet ist abhängig von der Größe der Stadt und der Dichte der Bebauung.

Eine weitere Sonderstellung nehmen Gewässer ein. Die hohe Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit von Wasser sowie die in Gewässern stattfindenden Durchmischungsvorgänge sorgen dafür, dass die Amplitude der oberflächennahen Wassertemperatur deutlich geringer ist als die der bodennahen Lufttemperatur. Gerade im Hoch- und Spätsommer ist die Oberflächentemperatur des Wassers tagsüber niedriger, aber nachts höher als die bodennahe Lufttemperatur der Umgebung. Größere Gewässer haben damit im Sommer eine dämpfende Funktion auf den Tagesgang der Lufttemperatur ihrer Umgebung, da sie tagsüber kühlend wirken, während der Nachtstunden aber die Abkühlung verringern.

---

<sup>7</sup> s. Glossar



Während windschwacher Strahlungswetterlagen ist der Tagesgang der Lufttemperatur direkt an die Strahlungsbilanz des Standortes gekoppelt und zeigt eine ausgeprägte Absenkung der bodennahen Lufttemperatur während der Abend- und Nachtstunden. Die bodennahen Temperaturen erreichen etwa zum Sonnenaufgang ein Minimum. Zu diesem Zeitpunkt zeichnen sich deutliche Temperaturunterschiede zwischen den unterschiedlichen Nutzungsstrukturen ab. Die hier beschriebenen Auswertungen beziehen sich daher auf dieses Zeitfenster.

Die Ermittlung des bodennahen Temperaturfeldes ermöglicht es bereits, 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.

### Ergebnisse der Berechnungen:

Abbildung 6.1 zeigt das für den Zeitpunkt 4 Uhr morgens berechnete Temperaturfeld im Stadtgebiet der Stadt Heidelberg in 2 m über Grund. Im Untersuchungsgebiet weisen die bodennahen Temperaturen eine Spannweite von 9,2 °C bis 18,9 °C auf. Es wurde somit eine sehr warme hochsommerliche Nachtsituation modelliert. Die Spannweite und das Temperaturniveau stellen eine typische Sommernacht in Deutschland dar. Die mittlere Temperatur im Untersuchungsgebiet liegt bei den hier angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen bei 14,3 °C.

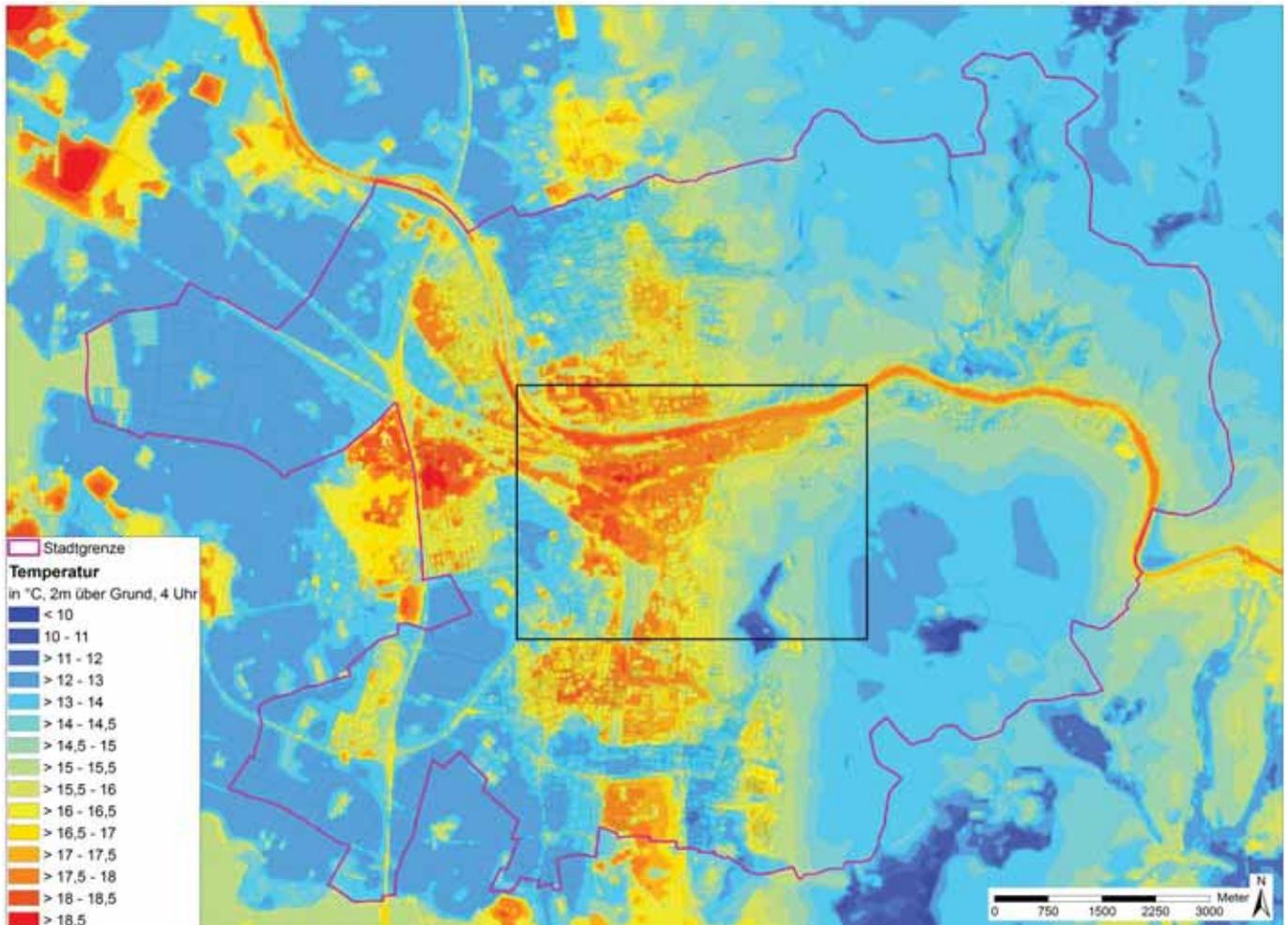
Im Temperaturfeld treten die unbebauten, vegetationsgeprägten Grün- und Freiflächen mit deutlich geringeren Werten hervor. Die Temperaturverteilung zeigt aber auch innerhalb der bebauten Gebiete eine ausgeprägte räumliche Differenzierung, weil Areale wie beispielsweise Einzelhausbebauung, Zentrumsbebauung und Verkehrsanlagen unterschiedliche Boden- und Oberflächeneigenschaften aufweisen.

Die höchsten Temperaturen treten mit bis zu 18,9 °C im dicht bebauten und zum Teil stark versiegelten Stadtteil Bergheim auf. Hier ist insbesondere der Bereich nördlich des Bahnhofs betroffen. Sehr hohe Temperaturen wurden ebenfalls für einige Gewerbegebiete ermittelt, die eine große Bebauungsdichte und einen hohen Versiegelungsgrad aufweisen.

Ebenfalls stärker verdichtet sind die Weststadt und Teile von Neuenheim. Auch hier treten hohe Temperaturen auf. Ein besonderer Fall ist die Altstadt von Heidelberg. Sie ist sehr stark versiegelt und dicht bebaut, wobei die Bebauung zumeist vergleichsweise niedrig ausfällt. Da die Altstadt Heidelbergs am Neckar und angrenzend an die Hänge des Odenwalds liegt, profitiert sie stark von den ausgeprägten Tal- und Hangabwinden in diesem Bereich. Aus diesem Grund weist dieses verdichtete Stadtgebiet während einer autochthonen Strahlungswetterlage eine gute Durchlüftung und verhältnismäßig geringe Temperatur von 17 bis maximal 18 °C auf.

Die weniger zentral gelegenen Stadtteile Heidelbergs sind vielfach von Einzel- und Reihenhausbauung vereinzelt auch durch Zeilenbebauung geprägt. Hier liegen die modellierten Temperaturen zumeist um 16 °C. In Bereichen mit Zeilenbebauung können auch 17 °C erreicht werden. Siedlungsbereiche, die im Einzugsbereich der Talabwinde liegen (z.B. Ziegelhausen), weisen geringere Temperaturen um 15 °C oder sogar noch darunter auf.

Im Temperaturfeld treten die unbebauten, vegetationsgeprägten Grün- und Freiflächen mit deutlich geringeren Werten hervor, wobei auf ihre Rolle als Kaltluft produzierende Areale auch in den folgenden Kapiteln näher eingegangen wird. Die niedrigsten Temperaturen im Untersuchungsgebiet sind mit unter 10 °C über Freiflächen im Bereich der bewaldeten Hänge des Odenwalds zu finden. Auch die großen landwirtschaftlich genutzten Flächen der Neckar-Rhein-Ebene weisen mit 12 bis 13°C großflächig niedrige Temperaturen auf.

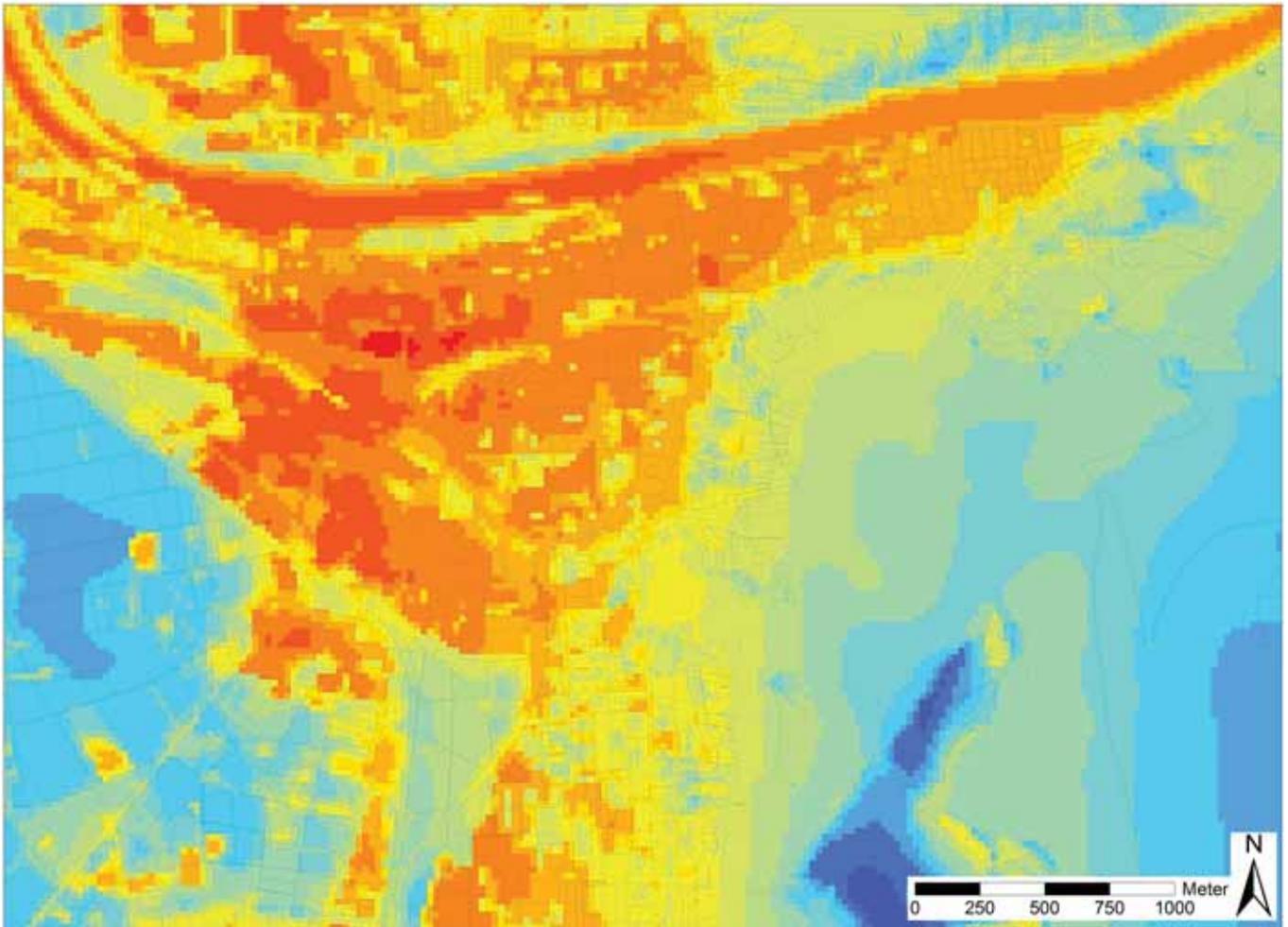


**Abbildung 6.1:** Bodennahe Temperaturen in °C für den Zeitpunkt 4 Uhr morgens im Untersuchungsgebiet Heidelberg

Die Waldareale im Osten der Stadt Heidelberg zeigen größtenteils Temperaturen zwischen 13 und 14 °C. Hier dämpft das Kronendach die nächtliche Ausstrahlung und damit auch ein stärkeres Absinken der bodennahen Lufttemperatur.

Verglichen mit den weitläufigen Grün- und Freiflächen des Umlandes weisen die innerstädtischen Grün- und Freiflächen, abhängig von ihrer Größe und Form, ein höheres Wertespektrum auf, welches meist zwischen 14 °C und 16 °C beträgt. Über sehr zentral gelegenen Grün- und Freiflächen werden teilweise fast 17 °C erreicht. 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.

## Lufttemperatur – Beispiel Heidelberg-Mitte



**Abbildung 6.2:** Detail-Ausschnitt: Temperaturverteilung Heidelberg-Mitte  
(Legende siehe Abbildung 6.1)

Einen Ausschnitt des Temperaturfeldes von Heidelberg mit den Stadtteilen Altstadt, Bahnstadt, Bergheim und Weststadt sowie Teilen von Neuenheim, Südstadt und Kirchheim zeigt die Abbildung 6.2. Die stärkste Abkühlung auf unter 11 °C (dunklere Blautöne) ist im Südosten des Ausschnitts auf einer Freifläche im Waldgebiet westlich des Max-Planck-Instituts für Kernphysik zu erkennen. Die im Westen an die bewaldeten Hänge angrenzende Siedlungsfläche mit lockerer Wohnbebauung weist ein Temperaturniveau von etwa 15 bis 17 °C auf (Gelb-Grün-Töne). Mit steigendem Überbauungsgrad nehmen die Temperaturen zu und betragen im Umfeld des Hauptbahnhofs sowie über den Gewerbeflächen entlang der Eppelheimer Straße 18 °C (rote Färbung). Diese Areale sind von großen Gebäuden und einer starken Versiegelung geprägt.

Im betrachteten Ausschnitt lässt sich zwischen den Freiflächen im Westen des Max-Planck-Instituts für Kernphysik (ca. 11 °C, blaue Farbe) und der Blockbebauung in der Weststadt (ca. 17,5 °C, orange Farbe) ein maximaler Temperaturgradient von über 6 °C auf einer Entfernung von etwa 1500 m beobachten.

## 6.2 Kaltluftproduktionsrate und Kaltluftentstehungsgebiete

Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben wurde, führen vor allem die unterschiedlichen Boden- und Oberflächeneigenschaften einzelner Flächen zu unterschiedlich ausgeprägten Tagesgängen der bodennahen Lufttemperatur. Die nächtliche Abkühlung der bodennahen Luftschichten weist deshalb deutliche Unterschiede in Abhängigkeit von der Nutzung einer Fläche auf. Eine weitere wichtige Rolle spielt die Neigung einer Oberfläche. Sie beeinflusst, wie gut abgekühlte Luftpakete abfließen können. Dies ist vor allem für Waldbestände auf Hangbereichen bedeutend, während auf ebener Fläche die Bestandsränder den Luftaustausch eher behindern. (vgl. MOSIMANN et al. 1999) Die Abkühlungsrate hängt unter anderem von der Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität des Bodens ab. Für die Berechnung der Kaltluftproduktionsraten sind somit Kenntnisse über die thermischen Eigenschaften des Untergrundes von großer Bedeutung. Die in der Literatur zu findenden Werte zu den wichtigsten Bodeneigenschaften decken eine große Bandbreite ab, so dass die Parametrisierung der Wärmeleitung im Boden für Modellsimulationen stets mit Unsicherheiten behaftet ist. Die Bestimmung der Kaltluftproduktion kann daher erhebliche Fehler aufweisen, was sowohl für modellhafte Berechnungen als auch für Geländemessungen gilt. In der hier durchgeführten Modellsimulation wurden einheitliche thermische Eigenschaften für den nicht versiegelten Untergrund angenommen. Eine Berücksichtigung unterschiedliche Bodenfeuchtigkeiten und daraus resultierender Abkühlungsraten wurde somit nicht berücksichtigt.

Aus der Abkühlungsrate (Temperaturabnahme pro Zeiteinheit) die sich im Verlaufe der Nacht über einer Fläche beobachten lässt, kann die Kaltluftproduktion der Fläche abgeschätzt werden. Die Kaltluftproduktionsrate beschreibt die Menge an Luft, die sich innerhalb einer Stunde pro Quadratmeter lokal durch Ausstrahlung abgekühlt hat. Gerade über Grün- und Freiflächen zeigt der Tagesgang der Lufttemperatur eine große Amplitude, so dass solche Flächen entsprechend hohe Kaltluftproduktionsraten aufweisen.

### Ergebnisse der Berechnung

Abbildung 6.3 zeigt die durchschnittliche stündliche Abkühlungsrate für die hier betrachtete sommerliche Strahlungsnacht. Eine qualitative Einstufung der Werte erfolgte relativ zum Gebietsmittel.

Die großen landwirtschaftlichen Freiflächen im Westen des Untersuchungsgebiets weisen mittlere bis hohe Kaltluftproduktionsraten auf. Hohe und sehr hohe Kaltluftproduktionsraten sind im Bereich der Waldflächen zu finden, wobei die höchste Ausprägung über Flächen mit großer Hangneigung auftritt. Hier spielt die hohe Reliefenergie eine Rolle, die dafür sorgt, dass die abgekühlte Luft schnell abtransportiert wird. Aus diesem Grund tritt die normalerweise dämpfende Wirkung von Waldflächen in den Hintergrund. Nur geringe Kaltluftproduktionsraten sind im Bereich besiedelter Flächen zu finden.

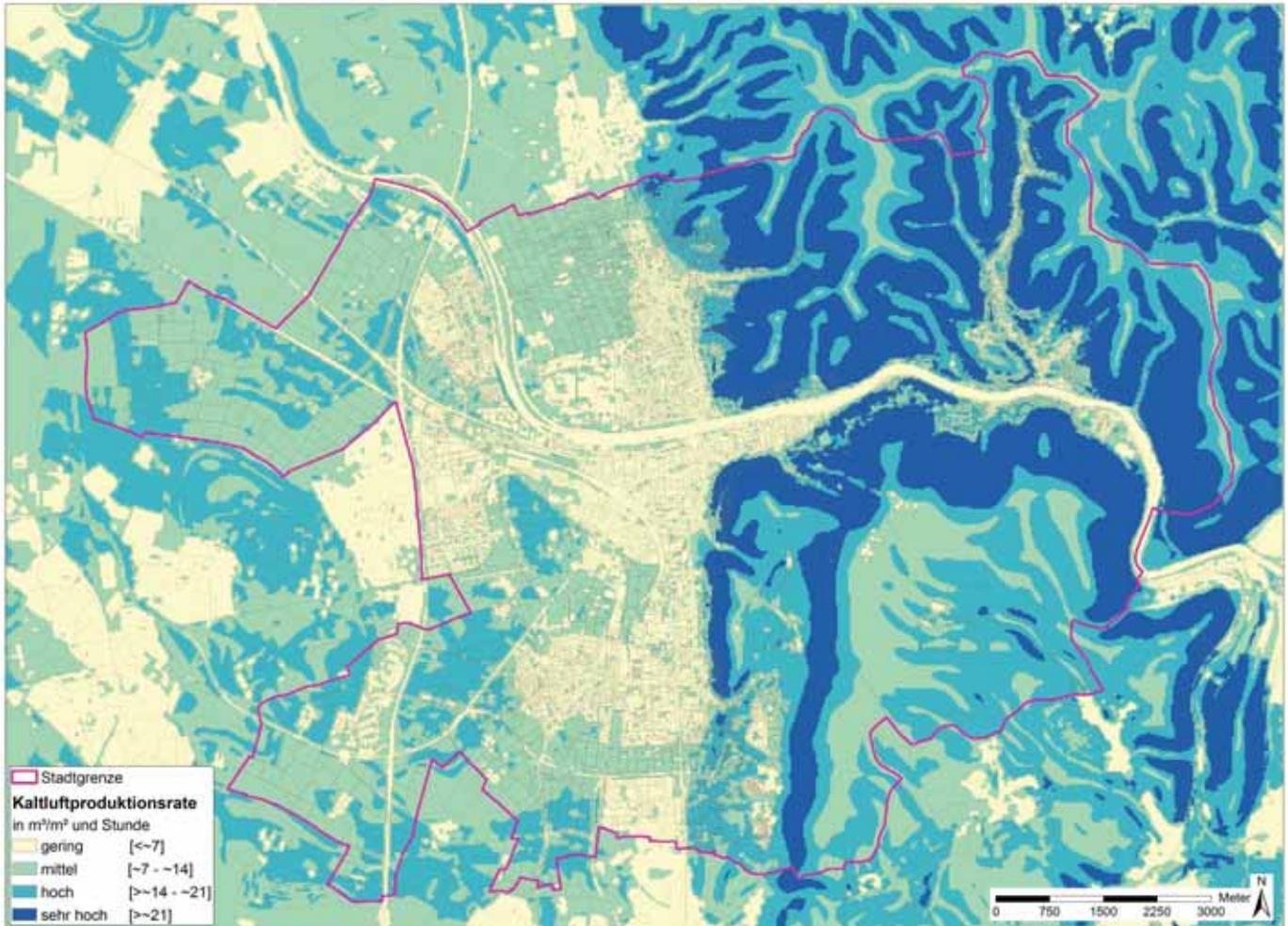


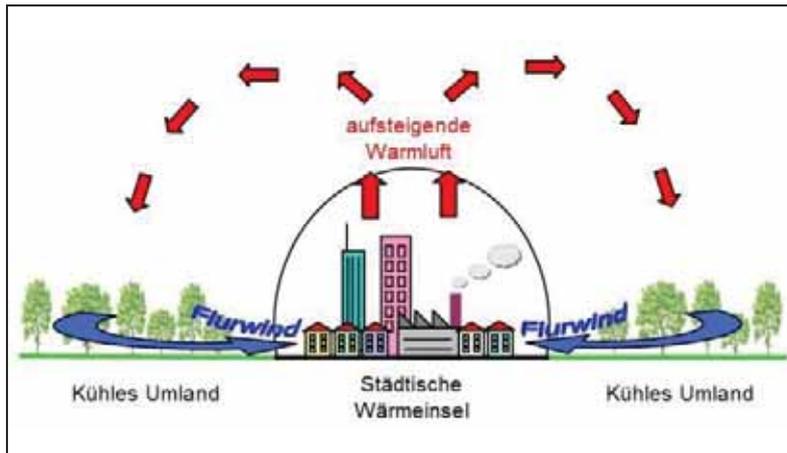
Abbildung 6.3: Kaltluftproduktionsrate im Untersuchungsgebiet Heidelberg

### 6.3 Das nächtliche Strömungsfeld

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 Grün- und Freiflächen einstellen. An den geeigneten 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.

In verdichteten Stadtgebieten entstehen durch anthropogene Einflüsse spezielle Stadtklimate, die sich unter anderem durch Wärmeinseleffekte auszeichnen. Im Sommer führen sie zu höheren Temperaturen und bioklimatischen Belastungen in den Siedlungsflächen, die Beeinträchtigungen des Wohlbefindens und der Gesundheit der Bewohner zur Folge haben können.

Solche belastenden Wettersituationen entstehen bei Hochdruckwetterlagen und sind durch einen ausgeprägten Tagesgang der Strahlung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind und Bewölkung geprägt. Diese Wetterlagen werden als autochthone (eigenbürtige) Wetterlagen bezeichnet.



**Abbildung 6.4:** Prinzipskizze Flurwinde

Unter diesen Rahmenbedingungen kommt es tagsüber zu einem konvektiven Aufsteigen von warmer Luft über dem überwärmten Stadtkörper. Als Folge dessen treten sogenannte Flurwinde als Ausgleichsströmungen auf, die bodennah zu einem Zuströmen kühlerer Luft aus dem Umland führen. Solche Strömungen sind auf einen überwärmten Bereich ausgerichtet und fließen bevorzugt über gering bebaute Flächen in die Stadt ein (Abbildung 6.4). Die neutralen bis labilen Temperaturschichtungen, die tagsüber während sommerlicher Hochdrucklagen vorliegen, bewirken, dass den Flurwinden häufig eine geringe Höhenströmung überlagert ist. Das Aufsteigen von Warmluftblasen verursacht zusätzlich eine Böigkeit der bodennah nachströmenden Luft, so dass die Ausgleichsströmungen insgesamt weniger sensibel auf Strömungshindernisse reagieren.

In den Nachtstunden sind autochthone Wetterlagen dagegen durch eine stabile Temperaturschichtung der unteren Luftschichten gekennzeichnet. Damit wird eine vertikale Durchmischung unterbunden und eine ggf. überlagerte Höhenströmung hat keinen Einfluss mehr auf das bodennahe Strömungsfeld. Durch lokal unterschiedliche Abkühlungsraten entstehen Temperatur- und damit Dichteunterschiede, die zu Ausgleichsströmungen führen. Während der nächtlichen Abkühlung fließt dann kühlere Umgebungsluft aus stadtnahen Freiflächen in das wärmere Stadtgebiet ein. Da der Zustrom bodennah, mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten erfolgt, kann dieser Luftaustausch nur entlang von Flächen ohne blockierende Strömungshindernisse, auf sogenannten Leitbahnen erfolgen. Darüber hinaus treten Kaltluftabflüsse 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. 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 Untersuchungsraum treten verhältnismäßig große Kaltluftabflüsse von den Hängen des östlich angrenzenden Odenwalds auf. Die hier induzierte Ost-West-Strömung, die sich über dem Neckar ausbildet, wird Neckartäler genannt. Das gesamte Strömungsgeschehen im Untersuchungsgebiet ist von den beschriebenen Talwinden geprägt.

Austauscharme Wetterlagen können weiterhin vor allem im Winter mit überdurchschnittlich hohen Schadstoffkonzentrationen verbunden sein, wenn es zur Ausbildung von Inversionen und einem Ansammeln von freigesetzten Schadstoffen, zum Beispiel aus Hausbrand oder Verkehr, in der bodennahen Luftschicht kommt. Für eine Minderung von Belastungssituation ist es auch hier wichtig, eine gute Durchlüftung des Stadtgebietes zu gewährleisten.

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



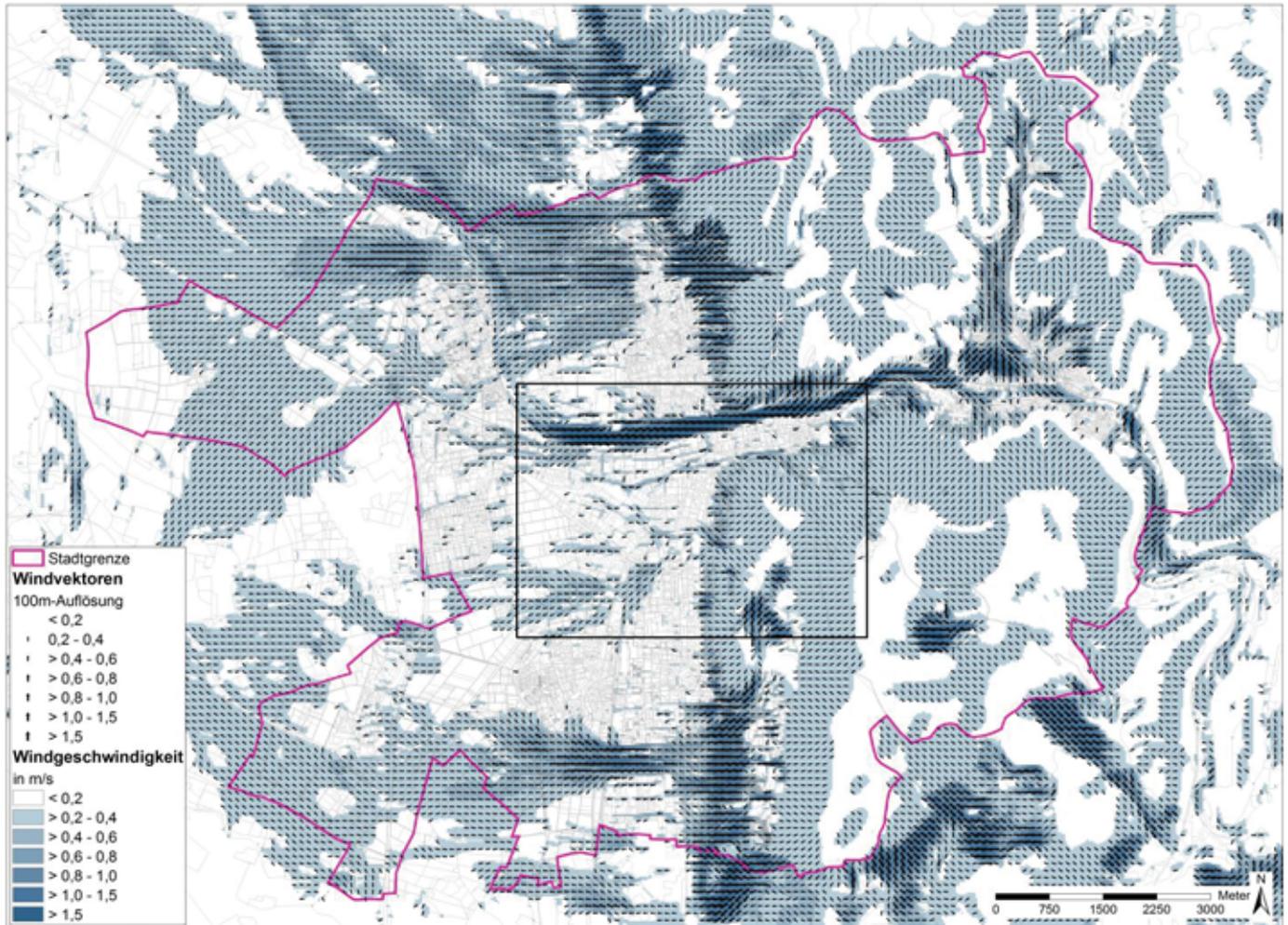
damit die rasche Entwicklung von Kaltluftströmungen einher, die zunächst vertikal nur von geringer Mächtigkeit (5-10 m Schichthöhe) sind und sich zwischen der Vielzahl der unterschiedlich temperierten Flächen ausbilden. Diese kleinskaligen Windsysteme werden im Laufe der Nacht von horizontal und vertikal 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 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.

### **Ergebnisse Strömungsfeld**

Die Kaltluftströmung ist in der vorliegenden Untersuchung ein wichtiger Parameter zur Beurteilung des Kaltlufthaushaltes, 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.

Die Abbildung 6.5 stellt das zum nächtlichen Analysezeitpunkt ausgeprägte Kaltluftströmungsfeld 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 100 m x 100 m Kantenlänge 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  $\geq 0,2$  m/s und unter Berücksichtigung der gebietstypischen Ausprägung eine potenzielle klimaökologische Wirksamkeit angenommen werden kann.



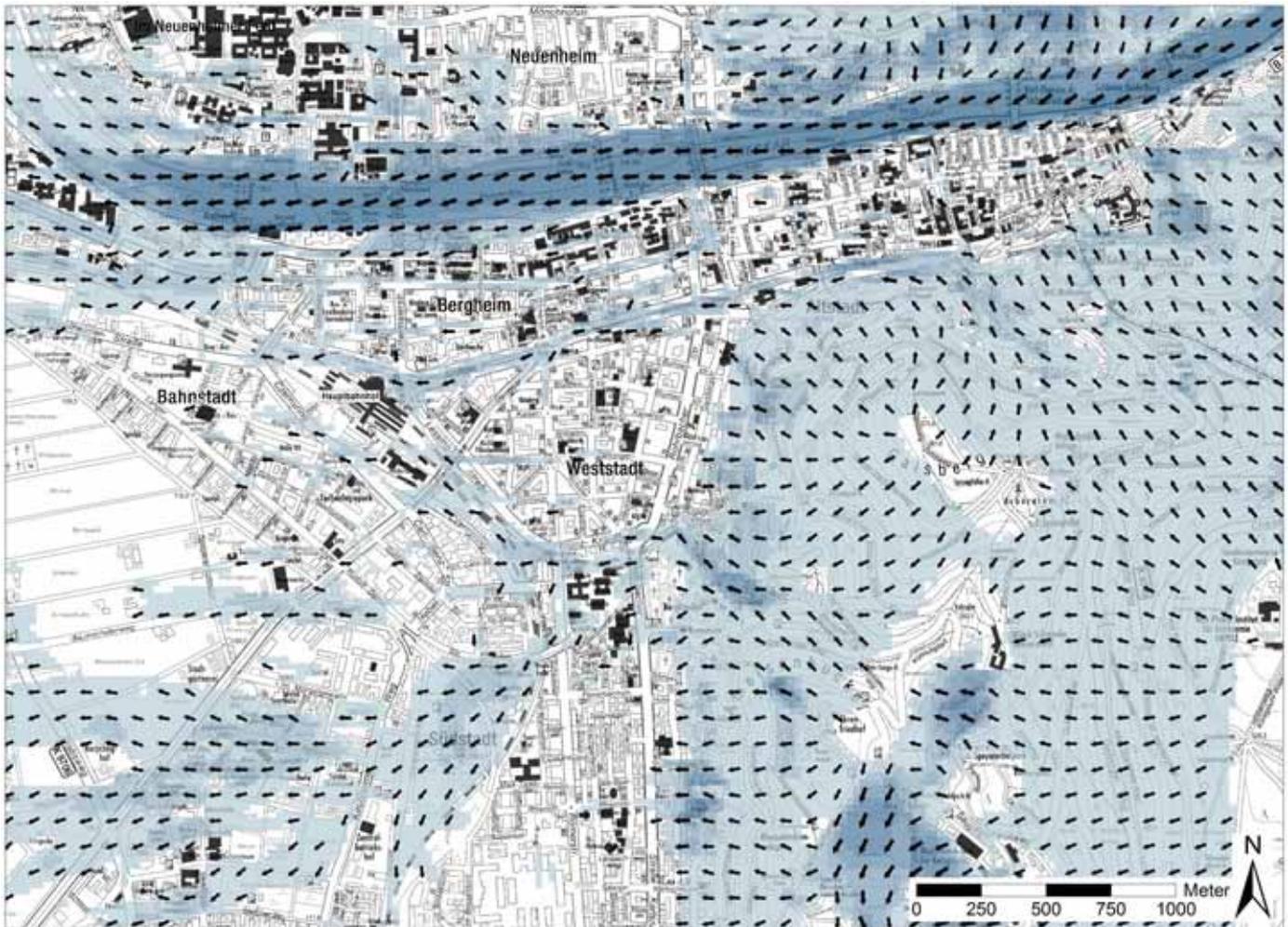
**Abbildung 6.5:** Modelliertes Strömungsfeld in Heidelberg (2 m über Grund).

Die für das 2 m-Niveau wiedergegebenen Strömungsgeschwindigkeiten innerhalb des Untersuchungsraums reichen von vollkommener Windstille bis zu Maximalwerten von 2,9 m/s über dem Neckar (dunkelblau). Überdurchschnittlich hohe Werte von mehr als 1 m/s sind vor allem über den Freiflächen auf den Hängen bzw. in deren Einzugsbereich im Osten des Untersuchungsgebiets, im Bereich des Neckars und in kleinflächiger Ausprägung über den Freiflächen im Westen zu finden.

Die Eindringtiefe der Kaltluft in die Siedlungsräume und damit auch das Maß der bioklimatischen Gunstwirkung während sommerlicher Hochdruckwetterlagen wird stark von der Bebauungsstruktur und der Intensität der Kaltluftdynamik beeinflusst. Ganz allgemein wird eine vergleichsweise gering überbaute Einzel- und Reihenhausbauung besser durchströmt als eine Block- und Blockrandbebauung. Die Spanne der Eindringtiefe variiert deutlich und beträgt, abhängig von den baustrukturellen und topologischen Bedingungen, zwischen wenigen Metern und über 1000 m. Eine intensive Durchlüftung von durchgrüneten Siedlungstypen ist vor allem am Bergstraßenrand gegeben, da hier die höchsten Strömungsgeschwindigkeiten vorliegen. Kaum durchlüftet werden die verdichteten Bereiche der Stadt Heidelberg, wie zum Beispiel Bergheim und die angrenzenden Gebiete.



## Kaltluftströmungsfeld – Beispiel Heidelberg-Mitte



**Abbildung 6.6:** Windgeschwindigkeiten und Strömungsfeld im Vertiefungsraum Heidelberg-Mitte  
(Legende siehe Abbildung 6.5)

In Abbildung 6.6 ist ein Ausschnitt des Strömungsfelds zu sehen. Gut zu erkennen ist die Kanalisierung der Strömung über dem Neckar, die zu einer Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit führt. In einer Höhe von 2m über Grund werden die dicht bebauten Gebiete der Altstadt und Innenstadt Heidelbergs (im Flächenmittel) nicht beziehungsweise nur schlecht durchströmt. Ebenfalls deutlich wird die dem Gefälle folgende Strömung an den begleitenden Berghängen. Insgesamt dominiert eine Ost-West-Strömung. An Stellen mit einer weniger dichten Bebauung kann die Kaltluftströmung weiter vordringen. In der Südstadt beispielsweise wird die lockere Bebauung durchströmt und auch westlich der Bebauung kann, über den landwirtschaftlich genutzten Freiflächen ein weiteres Ausströmen der Kaltluft stattfinden.

### 6.4 Kaltluftvolumenstrom

Den lokalen, durch Dichteunterschiede angetriebenen Ausgleichsströmungen kommen während windschwacher Nächte eine besondere Bedeutung beim Abbau von Wärme- und auch Schadstoffbelastungen größerer Siedlungsräume zu. Die potenzielle Ausgleichleistung der Kaltluftströmung kann aber nicht allein aus der bodennahen Strömungsgeschwindigkeit abgeleitet werden, sie hängt zu einem wesentlichen Teil von der Mächtigkeit der Kaltluftschicht und damit von der tatsächlich transportierten Masse an Kaltluft ab. Als quantitativer Parameter für die Ausgleichleistung von Flächen wird daher der sogenannte Kaltluftvolumenstrom betrachtet, der das transportierte Volumen an Kaltluft durch eine definierte vertikale Fläche senkrecht zur



Strömungsrichtung angibt. Hierfür wurde das transportierte Luftvolumen bis zu einer Höhe von 60 m aufsummiert (integriert). Die horizontale Breite der Fläche entspricht bei den hier durchgeführten Auswertungen 1 m. Der Kaltluftvolumenstrom ist damit ein Maß für die Menge an Kaltluft die aus einem Meter der Gitterzelle des Modells ausströmt. Als Mittelwert für eine Grün- oder Freifläche ist der Kaltluftvolumenstrom damit ein Maß für die Kaltluftlieferung dieser Fläche. Für die Auswertung wurde der Zeitpunkt 04 Uhr morgens gewählt, da zu diesem Zeitpunkt die Intensität der Kaltluftströme voll ausgeprägt ist.

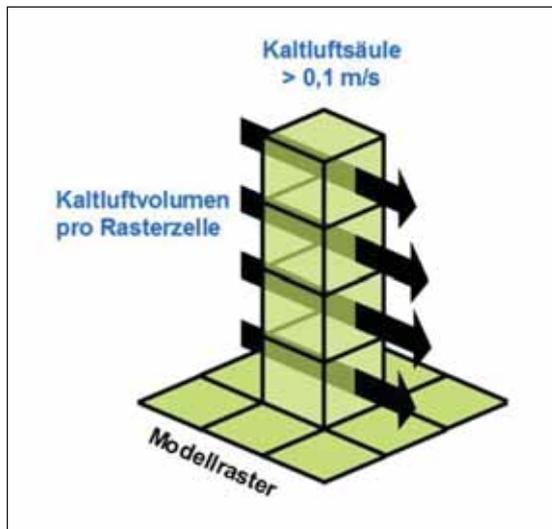


Abbildung 6.7: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom

Unter dem Begriff Kaltluftvolumenstrom versteht man somit, 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  $\text{m}^3$ , die in jeder Sekunde durch einen 1 m breiten Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer Leitbahn fließt. Für die dargestellten Werte bedeutet dies folgendes: Da die Modellergebnisse spiegeln somit nicht die Durchströmung eines natürlichen Querschnitts wider, sondern den eines 1 m breiten Abschnittes. Diesen Wert kann man sich leicht veranschaulichen, indem man sich ein 1 m breites, quer zur Luft-

strömung hängendes Netz vorstellt, das ausgehend von der Obergrenze der Kaltluftschicht bis hinab auf die Erdoberfläche reicht (Abbildung 6.7). Bestimmt man nun die Menge des pro Sekunde durch das Netz strömenden Luftvolumens, erhält man den ausgewiesenen Volumenstrom. Der Volumenstrom ist damit ein Maß für den *Zustrom von Kaltluft* und bestimmt somit, neben der Strömungsgeschwindigkeit, die Größenordnung des Durchlüftungspotenzials.

Wie auch die anderen Klimaparameter ist der Kaltluftvolumenstrom eine Größe, die während der Nachtstunden in ihrer Stärke und Richtung veränderlich ist. Die sich im Verlauf der Nacht einstellenden Strömungsgeschwindigkeiten der Kaltluft und damit deren Volumenstrom hängen im Wesentlichen von der Temperaturdifferenz der Kaltluft gegenüber der Umgebungsluft, der Hangneigung und der Oberflächenrauigkeit ab. Die Eindringtiefe von Kaltluft in bebauten Gebiet hängt wesentlich von der Bebauungsdichte und -höhe, aber auch der anthropogenen Wärmezufuhr ab. Darüber hinaus können natürliche Hindernisse wie zum Beispiel dichte Waldbestände einen abbremsenden Einfluss ausüben. Ebenso tragen natürliche Wärmequellen wie z.B. Wasseroberflächen zu einer Erwärmung der Kaltluftschicht bei und beeinflussen so die Ausgleichsströmungen.

Gebäude, Mauern, Straßendämme oder Lärmschutzwände können als Strömungshindernisse und luvseitig einen markanten Kaltluftstau auslösen. Bei einer mesoskaligen Rasterzellenweite von 25 m x 25 m werden kleinräumige Hindernisse wie z.B. Lärmschutzwände nicht explizit abgebildet. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass mächtigere Kaltluftschichten, die sich erst im Laufe einer Nacht ausbilden, lokale Hindernisse über- oder umströmen.



## Ergebnisse Kaltluftvolumenstrom

Ausgehend von der gebietstypischen Ausprägung im Untersuchungsraum wird als Schwellenwert für einen klimaökologisch wirksamen Kaltluftstrom ein Wert von mehr als 20 m<sup>3</sup>/s angenommen.

Die räumliche Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms ist vom Strömungsgeschehen im Untersuchungsgebiet geprägt. Abbildung 6.8 zeigt den Kaltluftstrom im Untersuchungsgebiet in einer qualitativen Abstufung. Die höchsten Werte des Kaltluftvolumenstroms sind in unmittelbaren Talzonen (z.B. Mühlthal, Neckartal, Peterstal) an Talausgängen zu finden und zum anderen nach Austritt aus den Tälern. Hier fächert der Kaltluftvolumenstrom auf und verbreitert sich über dem bebauten Flächen der Stadt Heidelberg. Im weiteren Umfeld dieser stärksten Ausprägung ist ein hoher Kaltluftvolumenstrom zu finden.

In weiten Teilen des übrigen Untersuchungsraums ist ein mäßiger Volumenstrom anzutreffen. Ein geringer Kaltluftvolumenstrom ist im Westen des Untersuchungsgebiets über den größeren Freiflächen gegeben. Hier ist der Einfluss der Strömung über die Bergstraßenhänge so gering, dass auch der Kaltluftvolumenstrom nur sehr schwach ausgeprägt ist.

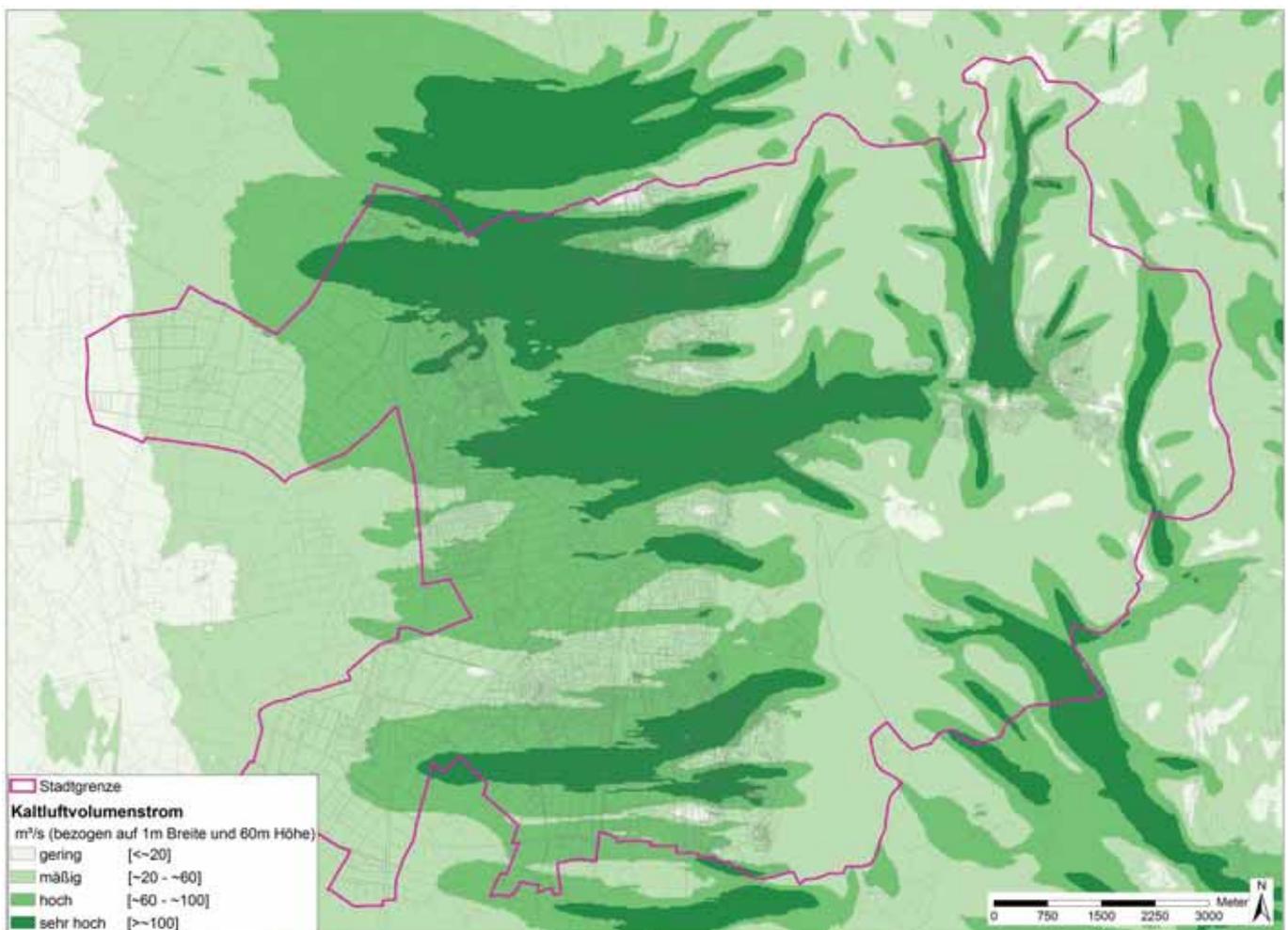


Abbildung 6.8: Kaltluftvolumenstrom zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens im Untersuchungsgebiet Heidelberg



### Kaltluftvolumenstrom – Beispiel Heidelberg-Mitte

Der Kaltluftvolumenstrom im Bereich Heidelberg-Mitte wird in Abbildung 6.9 dargestellt. Deutlich wird der starke Kaltluftvolumenstrom über dem Neckar und den angrenzenden Stadtgebieten. Hier zeigt sich der große Zufluss aus dem Odenwald. Durch das Aufsummieren der Kaltluftmengen bis in 60m-Höhe lässt sich die Ausprägung der Strömung oberhalb der Bebauung erkennen. In den verdichteten Stadtgebieten findet bodennah nur eine geringe Strömung statt (s. auch Kapitel 6.3), über Dachniveau ist die Strömung auf Grund des großen Kaltluftvolumens, das aus den Hängen des Odenwalds ausströmt ungleich höher.

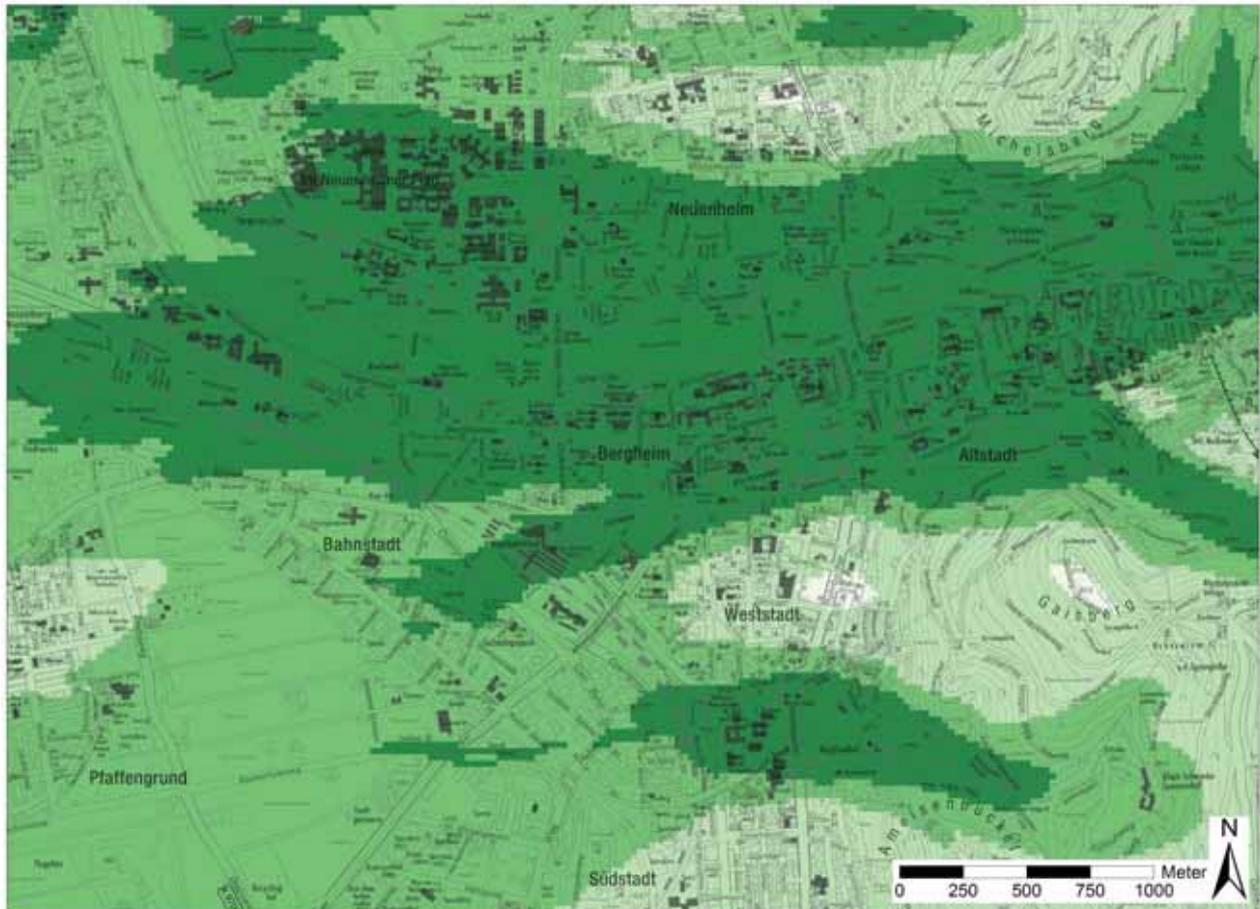


Abbildung 6.9: Kaltluftvolumenstrom zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens in Heidelberg-Mitte



## 7 Klimaanalysekarte

Die Klimaanalysekarte fasst als erstes Teilergebnis dieser Untersuchung die klimaökologisch relevanten Strukturen zusammen, die für das Stadtgebiet von Heidelberg auf Grundlage der vorangegangenen Modellsimulationen ermittelt wurden. Die Karte ist dem Anhang des Berichtes zu entnehmen.

Ziel der in der Klimaanalysekarte dargestellten Analyse ist die Gliederung des Untersuchungsraumes in bioklimatisch belastete Siedlungsräume (**Wirkungsräume**) einerseits und Kaltluft produzierende, unbebaute und vegetationsgeprägte Flächen andererseits (**Ausgleichsräume**). Sofern diese Räume nicht unmittelbar aneinander grenzen, kann ein Kaltlufttransport vom Ausgleichs- zum Wirkungsraum über gering bebaute Grün- und Freiflächen erfolgen. Finden diese Luftaustauschprozesse in deutlicher Ausprägung über Grün- und Freiflächen mit begrenztem Querschnitt statt, werden solche Flächen als **Leitbahnen** bezeichnet. Aus der Abgrenzung von Gunst- und Ungunsträumen sowie der verbindenden Strukturen ergibt sich somit ein schematisches Bild vom Prozesssystem der Luftaustauschströmungen des **Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüges** im Stadtgebiet von Heidelberg. Neben einer Abgrenzung der Funktionsräume, ist die qualitative Bewertung der einzelnen klimatischen Funktionsräume eine Kernaussage der Klimaanalysekarte:

- Einteilung der Grün- und Freiflächen (Ausgleichsräume) entsprechend ihres Kaltluftliefervermögens
- Klassifizierung der Siedlungsräume (Wirkungsräume) entsprechend ihrer bioklimatischen Belastung
- Bewertung lokaler und regionaler Luftaustauschströmungen

Die Klimaanalysekarte bildet dabei den planungsrelevanten Ist-Zustand ab. Sie konzentriert sich auf die Darstellung derjenigen Elemente und Bereiche, die sich mit landschaftsplanerischen Maßnahmen beeinflussen lassen (Maßnahmen zum Schutz, zur Sicherung und zur Entwicklung der Schutzgüter Klima und Luft). Die Klimaanalysekarte liefert somit eine Basis, anhand der klimatische Beeinträchtigungen abgeschätzt werden können, die sich aus Nutzungsänderungen ergeben könnten. Darüber hinaus stellt sie die Grundlage für ein räumliches Handlungskonzept für den Bereich Klima/Luft in der Landschaftsplanung bereit.

Der Aufbau der Karte folgt dem Konzept des Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüges, wobei in den folgenden Unterkapiteln auf die Inhalte näher eingegangen wird.

### 7.1 Grün- und Freiflächen

Vegetationsgeprägte Grün- und Freiflächen mit einer nennenswerten Kaltluftproduktion stellen klima- und immissionsökologische Ausgleichsräume dar und können über Hang- und Flurwinde die Wärmebelastung in Siedlungsflächen verringern. Solche Flächen mit hoher Kaltluftproduktion sind für Siedlungsgebiete nur dann von Relevanz, wenn ein Transport der Kaltluft zu den Siedlungsbereichen erfolgen kann. Ein Maß für den Transport von Kaltluft ist der Kaltluftvolumenstrom. Die Gesamtfläche der Kaltluft produzierenden Grün- und Freiflächen im Untersuchungsgebiet Heidelberg beziffert sich auf etwa 17907 Hektar, was einem Flächenanteil von rund 77% des Untersuchungsgebiets entspricht. Im Stadtgebiet Heidelberg liegen davon ca. 8202 ha. Dies entspricht annähernd 75% des Stadtgebiets. Unter dem Begriff Grün- und Freiflächen sind in diesem Bericht öffentliche und halböffentliche Flächen mit überwiegendem Grünbewuchs wie Parkanlagen, Sportplätze, Friedhöfe, Kleingartenanlagen, landwirtschaftlich genutzte Flächen, Wälder und bewachsene Brachflächen sowie größere Grünzüge zusammengefasst. Außerdem sind größere private Hausgärten oder halböffentliche Grünflächen von Wohnsiedlungen erfasst worden.

Für die Klimaanalysekarte werden Grün- und Freiflächen ausschließlich hinsichtlich ihres Liefervermögens von Kaltluft charakterisiert. Bewertungskriterium ist der Volumenstrom als Maß für den Zustrom von Kaltluft



aus benachbarten Flächen. Die Bewertung der Grün- und Freiflächen erfolgt auf Grundlage einer qualitativen Einordnung der Kaltluftvolumenströme in 4 Klassen (s. Kap. 5.3.1). **Tabelle 7.1** fasst die ausgewiesenen Kategorien zusammen.

Kaltluftlieferung Untersuchungsgebiet	Flächegröße [ha]	Anteil am Grün- und Freiflächen- bestand [%]
Sehr hoch	1105	13,5
Hoch	2792	34,0
Mäßig	4190	51,1
Gering	115	1,4

**Tabelle 7.1:** Qualitative Einordnung der Kaltluftlieferung von Grün- und Freiflächen im Untersuchungsgebiet und im Stadtgebiet Heidelberg

Um die Ausprägung der Klimaparameter auf planungsrelevante und maßstabsgerechte Einheiten zu übertragen, wurden den in der Flächennutzungstypenkartierung ausgewiesenen Grün- und Freiflächen die relevanten Klimaparameter wie z.B. Kaltluftvolumenstrom und Kaltluftproduktionsrate zugeordnet. Dafür wurden alle Rasterzellen, die von einer bestimmten Fläche überdeckt werden, mit Hilfe von zonalen Analysen zusammengefasst und statistisch ausgewertet. Auf diese Weise erhält jede Fläche eine umfassende Statistik aller zugehörigen Klimaparameter, die unter anderem die Minimal-, Maximal- und Mittelwerte der flächen-spezifischen Wertausprägungen umfasst.

Die qualitative Zuordnung der Flächen spiegelt also lediglich deren gemittelte durchschnittliche Kaltluftlieferung wieder. Auf Grund der unterschiedlichen Größen und der Lage der Flächen kann es daher dazu kommen, dass angrenzende Flächen unterschiedlich eingestuft werden. Die Einstufung der Kaltluftlieferung dient zum Verständnis der Luftaustauschprozesse und nicht zur Beurteilung der Relevanz der Flächen für die Planung. Die stadtklimatische Bedeutung der Grün- und Freiflächen wird in der Planungshinweiskarte dargestellt und berücksichtigt zudem die bioklimatische Situation in den Siedlungsräumen.

In Heidelberg spielen orografisch bedingte Hang- und Talabwinde aus dem Odenwald bzw. über den Bergstraßenhang eine entscheidende Rolle bei der Belüftung der Stadt. Die starken kaltluftbedingten Strömungen, insbesondere der Neckartäler, dominieren während einer austauscharmen Wetterlage nachts das Strömungsgeschehen; es herrschen Ostwinde vor.

Vor allem in den Talzonen des Odenwaldes und des Bergstraßenhangs sind sehr hohe Kaltluftvolumenströme vorhanden. Gleiches gilt für die Grünflächen entlang des Neckars. Hier ist der Kaltluftvolumenstrom im Bereich des Neckartälers sehr hoch. Auch in weiteren Taleinschnitten (zum Beispiel entlang des Mühlbachs) sammelt sich die Kaltluft von den umliegenden Hängen und es kommt zu sehr hohen Volumenströmen beim Ausströmen aus dem Tal in die Bebauung. Sehr hohe Volumenströme lassen sich auch im Norden und Süden des Stadtgebiets über den westlich der zentralen Siedlungsflächen liegenden Ackerflächen finden. Auch hier zeigt sich noch der Einfluss der Talabwinde aus dem Odenwald, während gleichzeitig die Flächen selbst zur Kaltluftproduktion beitragen. Im gesamten Stadtgebiet weisen 13,5 % der Grün- und Freiflächen einen sehr hohen Kaltluftvolumenstrom auf (vgl. Tabelle 7.1).

Hohe Kaltluftvolumenströme finden sich vor allem im Bereich großer Hangneigungen auf bewaldeten Hängen. In diesen Bereichen wird der Volumenstrom durch die dichte Vegetation vermindert. Auf Grund der hohen Reliefenergie in Bereichen des Odenwalds und am Bergstraßenrand können trotz der dichten Vegetation in einigen Bereichen hohe Kaltluftvolumenströme entstehen. Außerdem weisen größere Bereiche der Ackerflächen in der Rhein-Neckar-Ebene westlich der Siedlungsflächen einen großen Kaltluftvolumenstrom auf. Diese Flächen haben eine geringe Rauigkeit, so dass die Kaltluft gut abfließen kann. Gleichzeitig produ-

zieren sie auf Grund ihrer Eigenschaften selbst Kaltluft und profitieren zum anderen auch von den Hangabwinden aus dem Odenwald, die durch ihre große Mächtigkeit auch über die bebauten Gebiete hinweg fortwirken. 34 % (ca. 2792 ha) der Grün- und Freiflächen im Stadtgebiet von Heidelberg weisen einen hohen Kaltluftvolumenstrom auf.

An den bewaldeten Hängen und in den Tälern des Odenwalds und am Bergstraßenhang sind großflächig mäßige Kaltluftvolumenströme zu verzeichnen, da im Stammraum der Wälder die Fließgeschwindigkeit herabgesetzt ist. Weitere Flächen mit einem mäßigen Kaltluftvolumenstrom sind über Ackerflächen im Westen der Stadt vorzufinden, wo der Einfluss der Hangabwinde aus dem Odenwald bzw. über die Bergstraße nachlässt. Auch innerstädtische Grünareale zum Beispiel grüne Innenhofbereiche und kleinere Stadtteilparks in der Südstadt oder Rohrbach fallen in diese Klasse. Auf Grund der Lage im Stadtgebiet ist die Ausgleichsleistung dieser Flächen ebenfalls als klimaökologisch relevant einzustufen. Die Klasse mäßiger Kaltluftvolumenstrom ist mit einem Anteil von 51,1 % (4190 ha) der Grün- und Freiflächen im Stadtgebiet die am stärksten ausgeprägte.

Darüber hinaus sind die kleineren Grün- und Freiflächen wie zum Beispiel kleine Stadtteilparks oder nicht überbaute Ruderalflächen mit geringer Größe und geringem Kaltluftvolumenstrom zu nennen. Diese Areale bilden selten eine eigene Kaltluftströmung und damit einen Einwirkungsbereich aus. Durch die isolierte Lage in der Bebauung weisen sie aber keine Anbindung an vorhandene Leitbahnen auf. In Heidelberg ist auf Grund des starken Einflusses der Hangabwinde nur ein sehr kleiner Anteil der Grün- und Freiflächen (1,4%; 115 ha) mit einem geringen Kaltluftvolumenstrom ausgestattet. Innerhalb von bioklimatischen Belastungsbereichen können aber auch diese Flächen eine bedeutsame Funktion als klimaökologische Komfortinseln erfüllen. Sie wirken als „Klimaoasen“, wenn sie in klimatisch ungünstigen Siedlungsgebieten liegen. Während sommerlicher Hochdrucklagen mit intensiver Einstrahlung und Wärmebelastung erfüllen auch diese kleinen innerstädtischen Grün- und Freiflächen tagsüber eine wichtige Funktion als bioklimatische Erholungsräume. Dies gilt insbesondere dann, wenn sie durch Schattenbereiche, z.B. durch lichten Baumbestand und Wasserflächen, ein vielfältiges Mosaik unterschiedlicher Mikroklimata aufweisen.

Die Stadt Heidelberg weist mit den bewaldeten Berghängen ein sehr großes Kaltluftliefergebiet auf. Die im Heidelberger Stadtgebiet wirksam werdenden Tal- und Hangabwinde sorgen für günstige Be- und Durchlüftungseffekte. Die Stadtstruktur in Heidelberg ist recht kompakt. Innerhalb der Siedlungsflächen gibt es vor allem in der Altstadt und der Innenstadt nur eine geringe Grünausstattung. Umso wichtiger sind deshalb auch kleinere, öffentlich zugängliche Grün- und Freiflächen wie beispielsweise die Parks.

Abbildung 7.1 zeigt einen Ausschnitt aus der Klimaanalysekarte. Zusätzlich zum Kaltluftvolumenstrom sind in der Abbildung auch kleine Strömungspfeile dargestellt, die die mittlere Richtung und Geschwindigkeit der Kaltluftströmung der betreffenden Grünfläche verdeutlichen. Dargestellt wird jeweils ein Strömungspfeil pro Fläche.

Die unter Abbildung 7.1 dargestellte Legende ist für alle weiteren Ausschnitte der Klimaanalysekarte gültig.

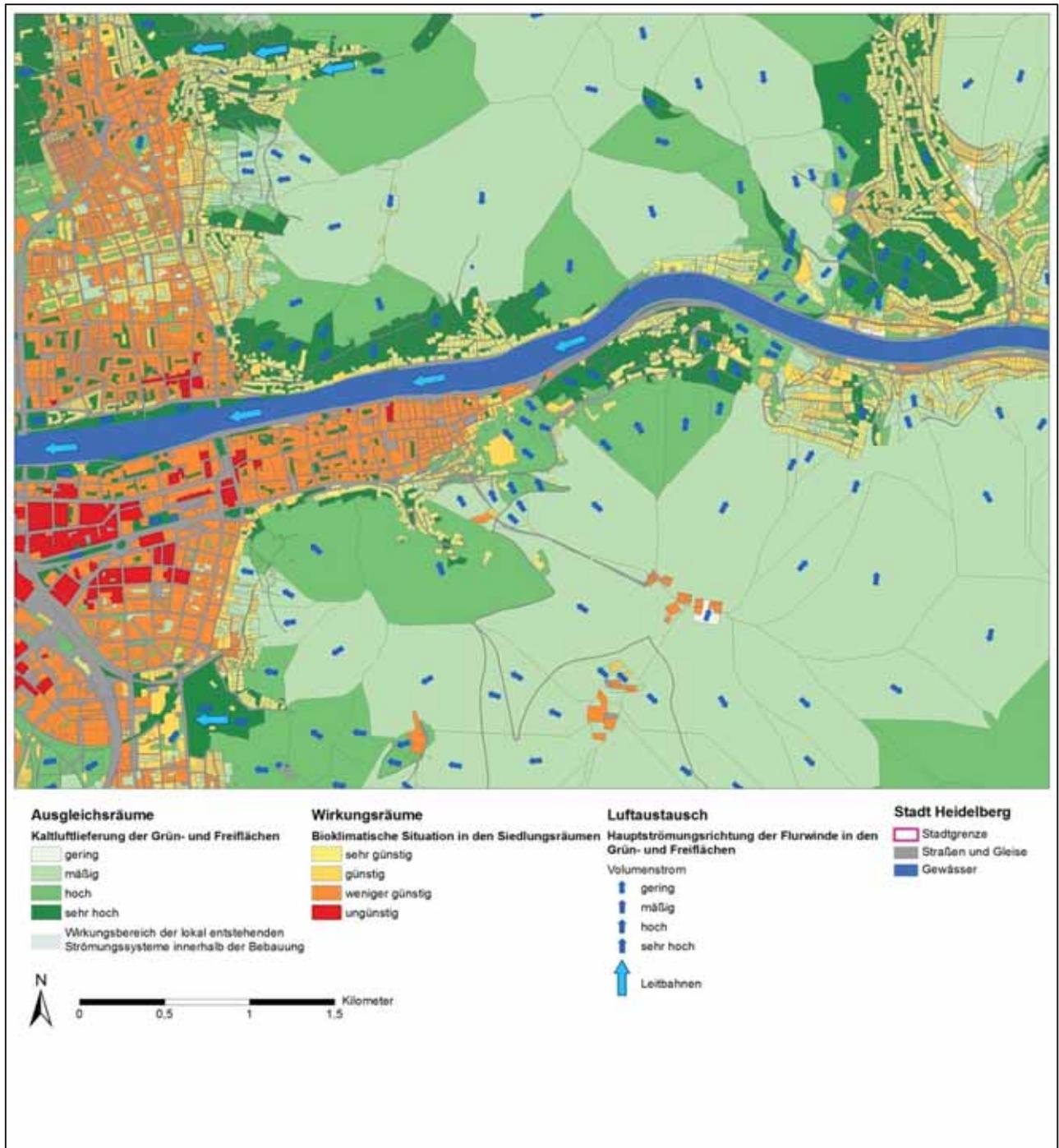
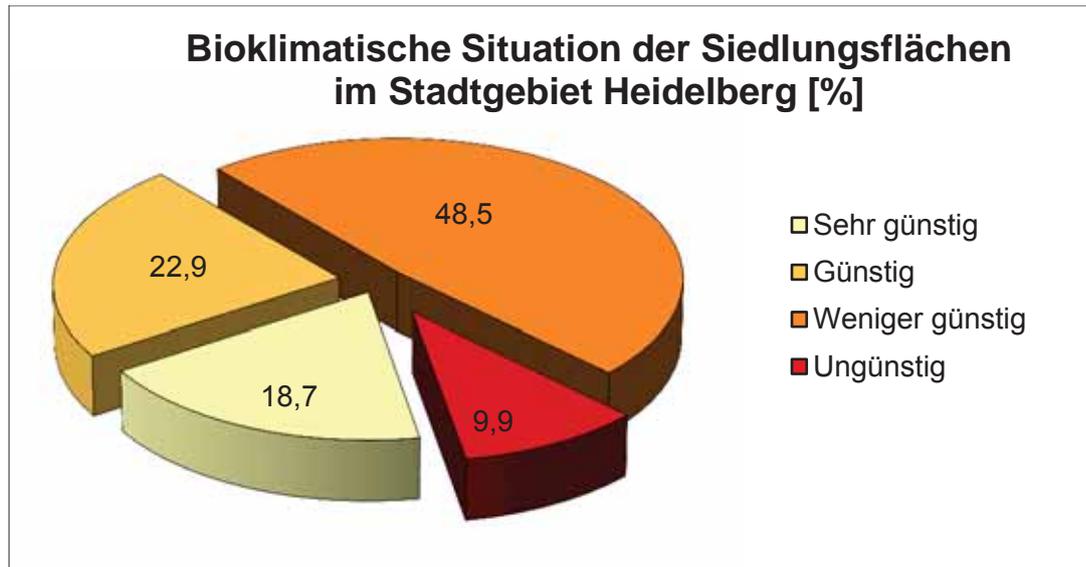


Abbildung 7.1: Ausschnitt Klimaanalysekarte

## 7.2 Siedlungsräume

Die Klassifizierung der bioklimatischen Situation der Siedlungsräume erfolgt in vier qualitativen Bewertungskategorien auf Basis des PMV-Wertes als Maß für die Wärmebelastung in einer Sommernacht. In Relation zum Gebietsmittel werden daraus die Siedlungsflächen in bioklimatisch ungünstige und bioklimatisch günstige Bereiche untergliedert (s. Kap. 5.3.2). Abbildung 7.2 zeigt die Verteilung im Stadtgebiet Heidelbergs.



**Abbildung 7.2:** Bioklimatische Situation der Siedlungsflächen im Stadtgebiet von Heidelberg.

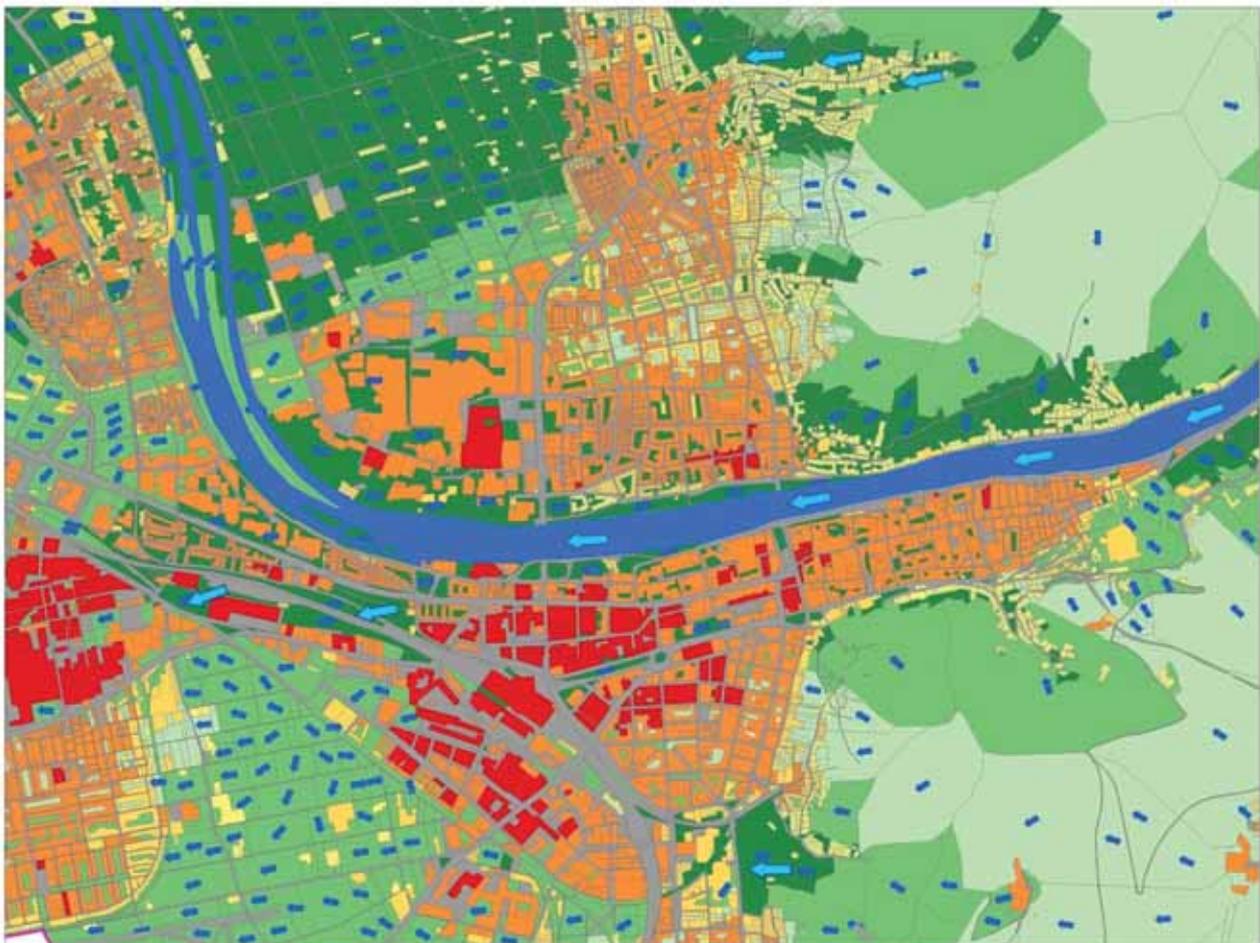
Bioklimatisch günstige Siedlungsbereiche sind häufig durch eine relativ geringe bauliche Dichte, eine moderate Flächenversiegelung und durchgrünte Bereiche gekennzeichnet. Solche Bebauungsstrukturen sind typisch für Einzel- und Reihenhausbereiche. Liegen diese Siedlungen im Einwirkungsbereich von Kaltluftströmungen erfahren sie zusätzlich eine Entlastung der thermischen Situation. Aufgrund des für Siedlungsräume niedrigen Strömungswiderstandes kann Kaltluft weit in locker bebaute Bereiche eindringen. Kaltlufteinwirkungsbereiche sind in der Klimaanalysekarte durch eine diagonale schwarze Schraffur gekennzeichnet. Insgesamt werden im Stadtgebiet Heidelbergs etwa 37 % des Siedlungsraumes durchlüftet. Diese Flächen befinden sich größtenteils in den am Stadtrand gelegenen Siedlungsbereichen oder in Alleinlage zwischen Grün- und Freiflächen. Ziegelhausen und Schlierbach werden auf Grund ihrer Tallage im Odenwald und der lockeren Bebauung in diesen Stadtteilen fast komplett durchlüftet.

Wie in Kap. 6.3 erläutert, hängt die Reichweite einer Kaltluftströmung in die Bebauung vor allem vom Ausmaß der Kaltluftdynamik ab, die – wie bereits erwähnt – in Heidelberg auf Grund der Talabwinde und dem Neckartäler recht groß ist. Die Eindringtiefe der Kaltluft liegt zwischen wenigen Metern und bis zu 1000 m. Neben den entstehenden lokalen Windsystemen spielt vor allem die Hinderniswirkung des angrenzenden Bebauungstyps eine wesentliche Rolle für das Eindringen der Kaltluft in die Bebauung. Zudem können auch kleinere Grün- und Freiflächen innerhalb der Bebauung relevant sein. Sie sorgen dafür, dass Kaltluft weiter in die Bebauung vordringen kann. Dies ist zum Beispiel im Stadtteil Handschuhshaus der Fall. In den peripheren, vergleichsweise weniger dicht überbauten Stadtteilen erfolgt häufig ein flächenhaftes Eindringen von Kaltluft in den Siedlungsraum. Mit Blick auf die Situation im gesamten Untersuchungsgebiet profitieren vor allem die Bereiche von einer sehr guten Belüftung, welche sich im Einzugsgebiet der Talabwinde befinden. Hierbei handelt es sich vor allem um die Ostflanken der Siedlungsbereiche. Insgesamt ist die bioklimatische Belastung bei einer Einzel- und Reihenhausbauung mit einem vergleichsweise niedrigen Versiegelungsgrad und hohem Grünanteil am geringsten ausgeprägt. Der Neckartäler, als eine Besonderheit Heidelbergs, trägt deutlich zur Entlastung der dicht bebauten Altstadt Heidelbergs bei. Sie kann von der durch den Neckartäler transportierten Kaltluft profitieren. In den Gassen und Straßen der Altstadt ist die Luftbewegung oft deutlich spürbar. Auf Grund der modelltechnischen Gegebenheiten und der Modellierung des Klimas in einem 25m-Raster ist es nicht möglich, diese Kaltluftströmung innerhalb der Bebauung auch im Modell sichtbar zu machen. Deutlich wird jedoch, dass die Altstadt Heidelbergs trotz ihrer sehr kompakten Stadtstruktur keine ungünstige sondern, in Relation zum Gebietsmittel, lediglich eine weniger günstige bioklimatische Situation aufweist. Hieraus resultiert ein Unterschied zur Klimatopausweisung (vgl. Kapitel 4) und verdeutlicht den Einfluss der Ausgleichströmung, der in der Klimatopausweisung nicht berücksichtigt wird.



Den Gunsträumen stehen Belastungsbereiche mit einer überdurchschnittlichen Wärmebelastung und einem Durchlüftungsdefizit gegenüber. Dies betrifft vor allem das Stadtzentrum mit Bahnstadt, Weststadt und Bergheim sowie das Gewerbegebiet von Pfaffengrund. Hier ist die humanbioklimatische Situation ungünstig. Dies resultiert aus dem hohen Überbauungs- und Versiegelungsgrad sowie der unzureichenden Durchlüftung.

Abbildung 7.3 zeigt in einem Ausschnitt aus der Klimaanalysekarte den Bereich Heidelberg-Mitte, wobei die bioklimatische Situation der Siedlungsräume mit einer Farbabstufung dargestellt ist. Dabei treten deutlich die humanbioklimatisch ungünstigen Bereiche in Bahnstadt, Bergheim und Weststadt hervor. Die typische Bauungsstruktur der Zentrums- und Blockbebauung bewirkt während sommerlicher Hochdrucklagen eine Überwärmung dieser Stadtteile. Auf Grund ihres hohen Bauvolumens sind sie außerdem für ausgleichende Kaltluftströmungen kaum zugänglich. Auch Industriegebiete wie zum Beispiel in Pfaffengrund weisen eine ungünstige bioklimatische Situation auf. Verdichtete Bebauung und eine starke Versiegelung sind die Ursache für das schlechte Humanbioklima in Industriegebieten.



**Abbildung 7.3:** Ausschnitt Klimaanalysekarte Heidelberg-Mitte, Legende siehe Abbildung 7.1 .

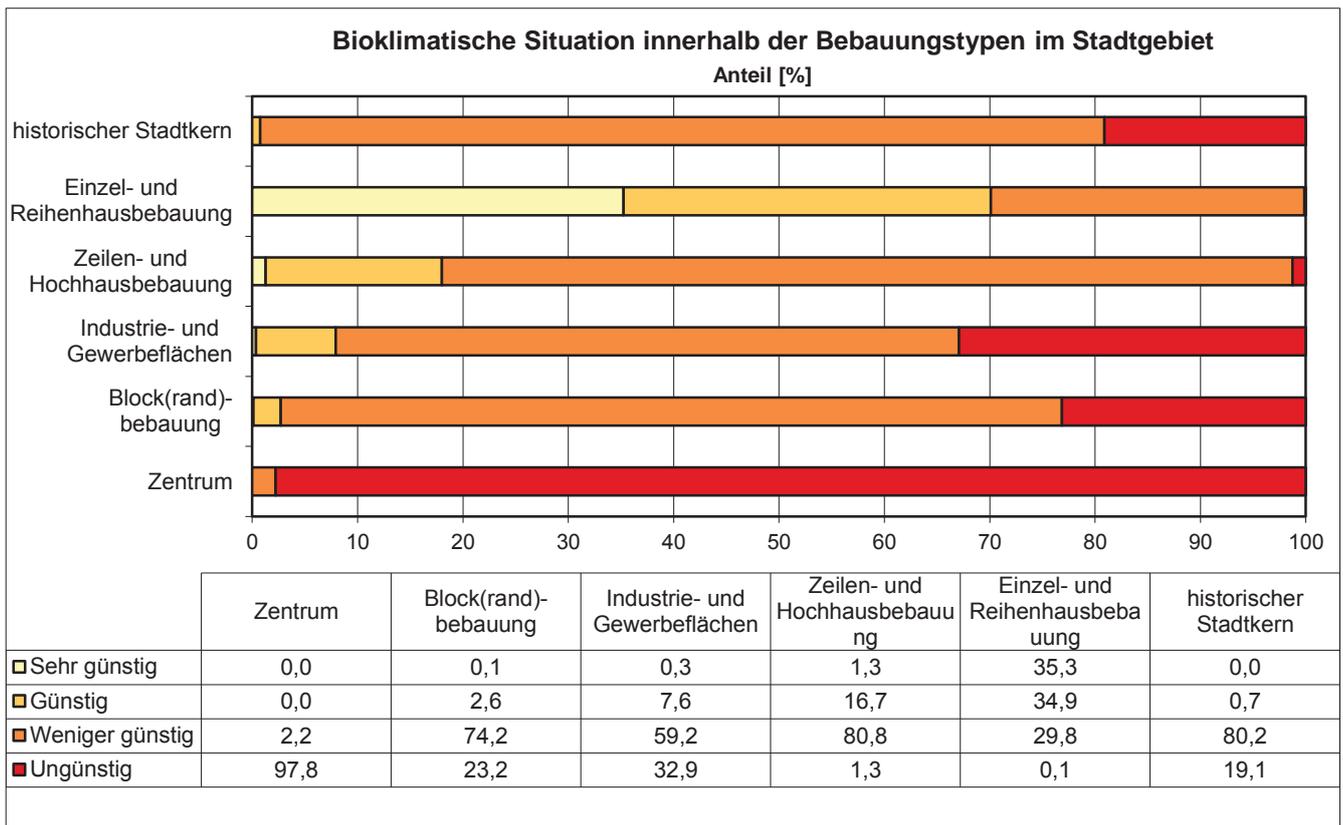
Die Altstadt Heidelbergs weist eine weniger günstige bioklimatische Situation auf. Hier ist die Stadtstruktur besonders verdichtet und der Grünanteil sehr gering. Im Vergleich zu den noch stärker belasteten Gebieten wirkt hier aber der Neckartäler ausgleichend.

Flächen, in denen block- und zeilenartige Baustrukturen vorherrschen, ordnen sich in ihren bioklimatischen Eigenschaften zwischen den Bebauungsextremen ein und weisen, je nach ihrer Nähe und Lage zu Gunst- oder Ungunstbereichen, variable Werteausprägungen hinsichtlich der bioklimatischen Situation auf. Dies



bedeutet, dass je nach Lage und Bebauungsdichte der Flächen die Bewertung trotz gleichem Bebauungstyps unterschiedlich ausfallen kann.

Die in der Klimaanalysekarte dargestellte Verteilung der bioklimatischen Belastung der Siedlungsräume spiegelt zum einen die einzelnen Bebauungstypen im Stadtgebiet mit ihren unterschiedlichen Verdichtungen wider, verdeutlicht aber ebenso die räumliche Lage der Ortsteile zu den Kaltluft liefernden Grün- und Freiflächen und den positiven Einfluss nächtlicher Ausgleichsströmungen. Abbildung 7.4 bilanziert die bioklimatische Situation im Siedlungsraum für die einzelnen Bebauungstypen.



**Abbildung 7.4:** Bioklimatische Situation innerhalb der Bebauungstypen im Stadtgebiet von Heidelberg

Die Klassifizierung der bioklimatischen Situation der Siedlungsräume erfolgte in vier qualitativen Bewertungskategorien auf Basis des PMV-Wertes als Maß für die Wärmebelastung in einer Sommernacht. In Relation zum Gebietsmittel wurden daraus die Siedlungsflächen in bioklimatisch ungünstige und bioklimatisch günstige Bereiche untergliedert. Die folgende Tabelle zeigt die mittlere Lufttemperatur und die mittlere Windgeschwindigkeit, die als wesentliche Klimaparameter die nächtliche Belastungssituation in den Siedlungsräumen charakterisieren:

Bioklimatische Situation	Anteil an der Siedlungsfläche	Temperatur Ø in °C	Windgeschwindigkeit in m/s
sehr günstig	18,7 %	14,8	0,43 (0 - 1,5)
günstig	22,9 %	15,8	0,14 (0 - 0,7)
weniger günstig	48,5 %	16,9	0,06 (0 - 1,0)
ungünstig	9,9 %	18,0	0,01 (0 - 0,2)

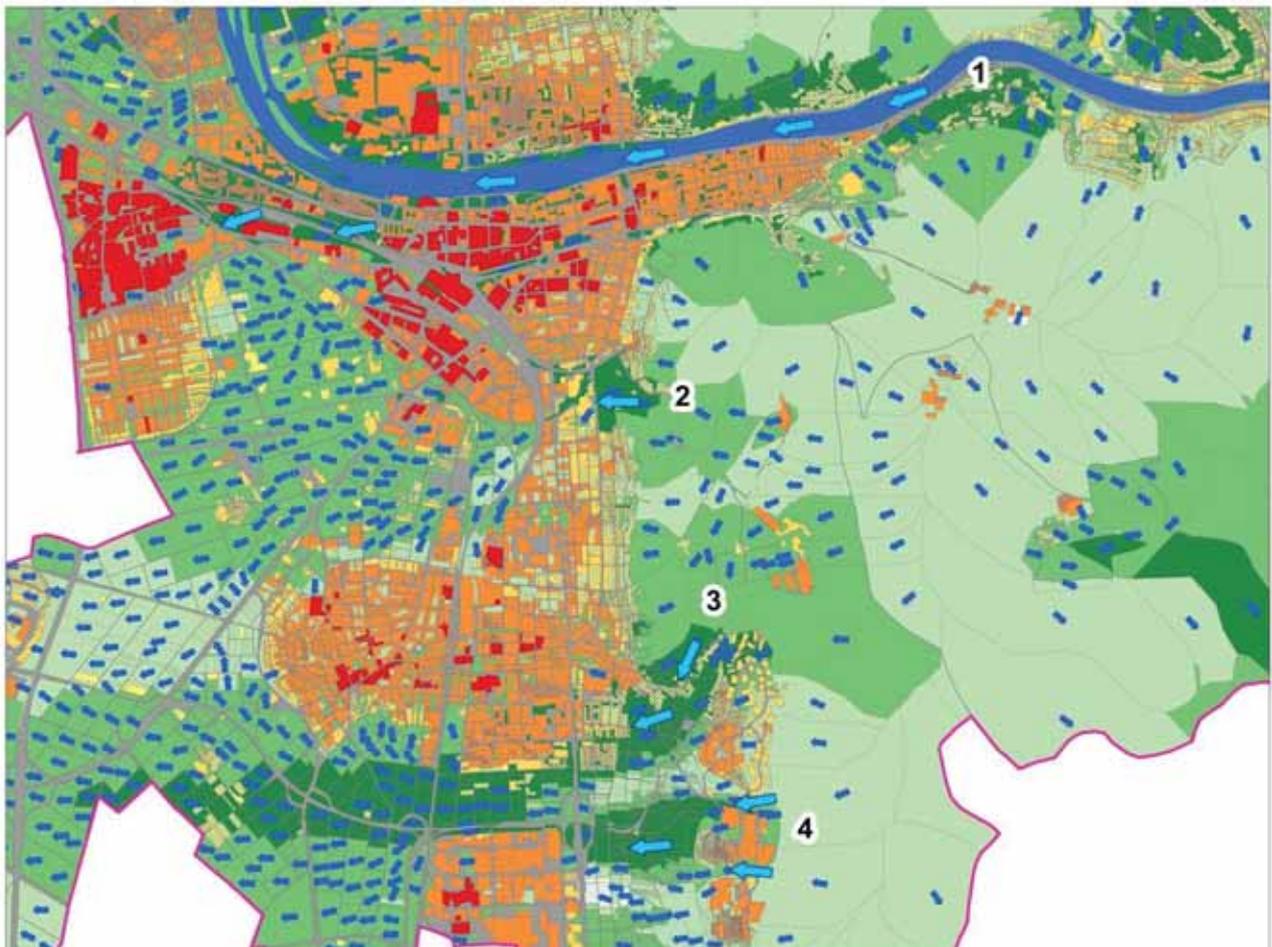
**Tabelle 7.2:** Bioklimatische Situation in den Siedlungsräumen von Heidelberg: Mittleres Temperaturniveau in 2 m Höhe und nächtliche Durchlüftungssituation.



### 7.3 Luftaustausch

Strukturen, die den Luftaustausch ermöglichen und Kaltluft an die Siedlungsbereiche heranführen, sind das zentrale Bindeglied zwischen Ausgleichsräumen und bioklimatisch belasteten Wirkungsräumen. Generell eignen sich für den Transport von Kaltluft Bereiche mit geringem Überbauungsgrad, einem hohen Grün- und Freiflächenanteil und möglichst linearer Ausrichtung auf Wirkungsräume. Grundsätzlich kommen hierfür Tal- und Niederungsbereiche, größere Grün-/Freiflächen aber auch ausgedehnte Gleisareale und Wasserflächen als geeignete Strukturen in Frage. In Heidelberg ist größtenteils flächenhaft anströmende Kaltluft vorzufinden, die zum Teil in Tälern kanalisiert wird. Erfolgt die Kaltluftströmung nicht flächig auf wärmere Ortsteile zu, sondern innerhalb räumlich begrenzter Bereiche spricht man von Kaltluftleitbahnen. Da Leitbahnen selbst auch Kaltluft produzieren können, lassen sich Grün- und Freiflächen, von denen Kaltluft direkt in die Bebauung strömt, nicht immer trennscharf von Flächen abgrenzen über die lediglich ein Transport erfolgt.

Zur Ableitung der wesentlichen Luftaustauschbereiche wurden neben den Modellergebnissen auch die Ergebnisse der stadtklimatischen Untersuchung von 1995 herangezogen. Die Bestandsdaten wurden durch das Büro ÖKOPLANA neu aufbereitet, sie sind in Form von Karten im Anhang A zusammengestellt.



**Abbildung 7.5:** Ausschnitt Klimaanalysekarte Heidelberg Süd: Leitbahnen

Abbildung 7.5 zeigt einen Ausschnitt der Klimaanalysekarte, der die im südlichen Untersuchungsgebiet Heidelberg liegenden Leitbahnen zeigt. Die ausgewiesenen wichtigsten Leitbahnbereiche werden im Folgenden beschrieben.



Eine sehr prägnante und für Heidelberg typische Strömung ist der **Neckartäler**. Es handelt sich hierbei um die Talabwinde aus dem Odenwald, die durch das Neckartal kanalisiert in die Stadt Heidelberg vordringen. Sie entwickeln eine große Dynamik, so dass der Neckartäler auch nach dem Überströmen der Siedlungsbereiche weiter Bestand hat und dort über den Freiflächen nach Nord und Süd auffächert. Große Teile der zentralen Siedlungsfläche Heidelbergs kommen in den Genuss dieser Ausgleichströmung. Insbesondere die dicht bebaute Altstadt profitiert vom Neckartäler und kann sich während sommerlicher Hochdrucklagen durch die Überströmung mit kühlerer Luft nachts besser abkühlen als weiter westlich gelegene Stadtteile.

Ein weiteres Eingangstor für die Kaltluft in die Bebauung ist der **Bergfriedhof**. Dieser liegt im Stadtteil Südstadt an der Grenze zwischen den kaltluftproduzierenden Waldgebieten des Odenwalds und der Neckar-Rhein-Ebene. Auch der Friedhof selber weist einen alten Baumbestand auf und trägt selbst zur Kaltluftproduktion bei. Da auch hier im Laufe der Nacht eine große Kaltluftmächtigkeit entsteht, werden die waldartigen Strukturen des Bergfriedhofs dennoch gut durchströmt. Die Kaltluft kann so in die angrenzende Bebauung vordringen und dort zur Entlastung beitragen. Insbesondere die in der Nähe verlaufenden Gleisareale ermöglichen es der Kaltluft, über diese raugkeitsarmen Strukturen bis in Richtung Bahnhof und weiter in besonders stark belastete Gebiete vorzudringen.

Die dritte Leitbahn Heidelbergs verläuft über die Freiflächen zwischen **Boxberg und Rohrbach**. Hier bildet der Hangeinschnitt „Kühler Grund“ eine markante Kaltluftabflussbahn in Richtung des Rohrbacher Ortszentrums. Teile der Kaltluft gelangen aber auch in die südlich angrenzende Hangzone, wovon auch die südöstlichen Siedlungsflächen von Rohrbach profitieren. Sie weisen eine gute Durchlüftung auf.

Die vierte Leitbahn Heidelbergs befindet sich im Umfeld **Emmertgrund**. Die Kaltluft wird aus dem angrenzenden Odenwald im Norden in der Mitte des Stadtteils über Grün- und Freiflächen kanalisiert und über freies Feld in Richtung der Hangäckerhöfe und des Gewerbegebietes Rohrbach-Süd weitergeleitet. Hier findet auch eine teilweise Zusammenführung mit Kaltluft aus der Leitbahn Boxberg/Rohrbach statt.

Im nördlichen Stadtgebiet (Stadtteil Handschuhsheim) kommt es während autochthoner Wetterlagen zu einem flächenhaften Abfließen von Kaltluft aus den östlich angrenzenden Hangbereichen. Im **Mühlbachtal** wird die Kaltluftströmung kanalisiert und erreicht größere Mächtigkeiten, so dass das Stadtgebiet von Handschuhsheim zu einem großen Teil durchströmt und überströmt wird. In Hangeinschnitten wie am **Steinberg** kommt es ebenfalls zu einem Ansammeln und vermehrten Abfließen von Kaltluft, die ebenfalls zum Abbau bioklimatischer Belastungen in diesem Stadtteil beitragen kann. Auch im Hellenbachtal sammelt sich die abfließende Kaltluft. Von der sich ausbildenden Strömung können nur die nördlichen, peripheren Siedlungsbereiche von Handschuhsheim profitieren, die bereits aufgrund ihrer Lage ein günstiges Bioklima aufweisen.

Tabelle 7.2 zeigt einer Übersicht der Leitbahnen. Die Nummern finden sich in Abbildung 7.5 wieder.

Nummer	Leitbahn
1	Neckartäler
2	Bergfriedhof
3	Boxberg/Rohrbach
4	Emmertgrund
5	Mühlbachtal
6	Steinberg

**Tabelle 7.2:** Leitbahnen und Kaltluftabflussbereiche in Heidelberg

## 8 Planungshinweiskarte Stadtklima

Die Planungshinweiskarte Stadtklima stellt eine integrierende Bewertung der in der Klimaanalysekarte dargestellten Sachverhalte im Hinblick auf planungsrelevante Fragestellungen dar. Aus ihr lassen sich Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen zur stadtklimatischen Situation ableiten oder auch Auswirkungen von Nutzungsänderungen bewerten. Dem Leitgedanken dieser Bemühungen entsprechen die Ziele

- Sicherung,
- Entwicklung und
- Wiederherstellung

klima- und immissionsökologisch 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. Die Planungsempfehlungen beziehen sich in erster Linie auf die Luftaustauschprozesse während windschwacher Strahlungswetterlagen und betreffen damit das bebaute Stadtgebiet als Wirkraum und die daran angrenzenden Freiflächen, die durch Kaltlufttransport und -produktion als Ausgleichsräume von Bedeutung sind. Die Planungshinweiskarte ist im Anhang zu diesem Bericht zu finden.

Basierend auf der hier vorliegenden Analyse des Heidelberger Stadtklimas werden zusätzlich in einem separaten Anhang B zu diesem Gutachten Teilbereich der Planungshinweiskarte detailliert dargestellt. Für den jeweiligen Stadtbereich werden klimaökologische Planungsaussagen auf Basis der hier erläuterten Planungshinweiskarte gegeben. Die Ausweisung der Teilbereiche erfolgt zum einen in Anlehnung an die im ersten Stadtklimagutachten ermittelten Bereiche und zum anderen auf Grundlage der aktuell erstellten Planungshinweiskarte. Abbildung 8.4, am Ende dieses Kapitels, zeigt die Einteilung der Teilbereiche.

Definiert werden Ausgleichsräume, also Freiräume wie zum Beispiel Ackerflächen, Parks, Brachen, aber auch Waldflächen, die dazu beitragen Belastungen in besiedelten Gebieten abzubauen. Diese klimatisch belasteten Bereiche werden als Wirkraum bezeichnet. Sie umfassen besiedelte Gebiete von Einfamilienhausgebieten bis hin zu Industriegebieten. Ausgleichs- und Wirkungsräume stehen oft in direktem Zusammenhang oder werden über Leitbahnen miteinander verbunden. Die Einordnung des Stellenwertes der verschiedenen Flächen erfolgt also immer im gesamtstädtischen Kontext und auf Basis der vorliegenden Informationen aus der Klimamodellierung.



## 8.1 Grün- und Freiflächen

### 8.1.1 Methodik der Bewertung von Grün- und Freiflächen

Zur Bewertung der klimaökologischen Charakteristika der Grün- und Freiflächen<sup>8</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. Während in der Klimaanalysekarte die Kaltluftlieferung von Grün- und Freiflächen charakterisiert wird, steht in der Planungshinweiskarte somit deren stadtklimatische Bedeutung sowie die Ableitung einer möglichen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen im Vordergrund. Daraus ergibt sich eine abweichende Vorgehensweise bei der Bewertung dieser Areale. Die planerische Bewertung der Grünflächen ergibt sich somit als Resultat aus der bioklimatischen Analyse des Siedlungsraumes und der Grünflächeneigenschaften. Das in der Planungshinweiskarte angewendete Bewertungsschema baut damit auf den in der Klimaanalysekarte dargestellten Analyseergebnissen auf. 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 Grün- und Freiflächen*.  
Grün- und Freiflächen 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 neben der Ausprägung des autochthonen Strömungsfeldes der FITNAH-Simulation auch an den Ergebnissen der Messkampagne zur Klimaanalyse 1995.
4. Allen Grün- und Freiflächen 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 Grün- und Freiflächen*.  
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 Grün- und Freiflächen (Umfeldflächen)*.  
Bereiche, die zur Ausweisung von „Kaltluftquellgebieten“ der besonders bedeutenden Flächen dienen.
8. Grün- und Freiflächen aus (6) wird generell eine **hohe bioklimatische Bedeutung** zugesprochen
9. Grün- und Freiflächen aus (7) wird eine **hohe bioklimatische Bedeutung** zugesprochen, wenn sie einen hohen Kaltluftvolumenstrom (Karte 4) aufweisen

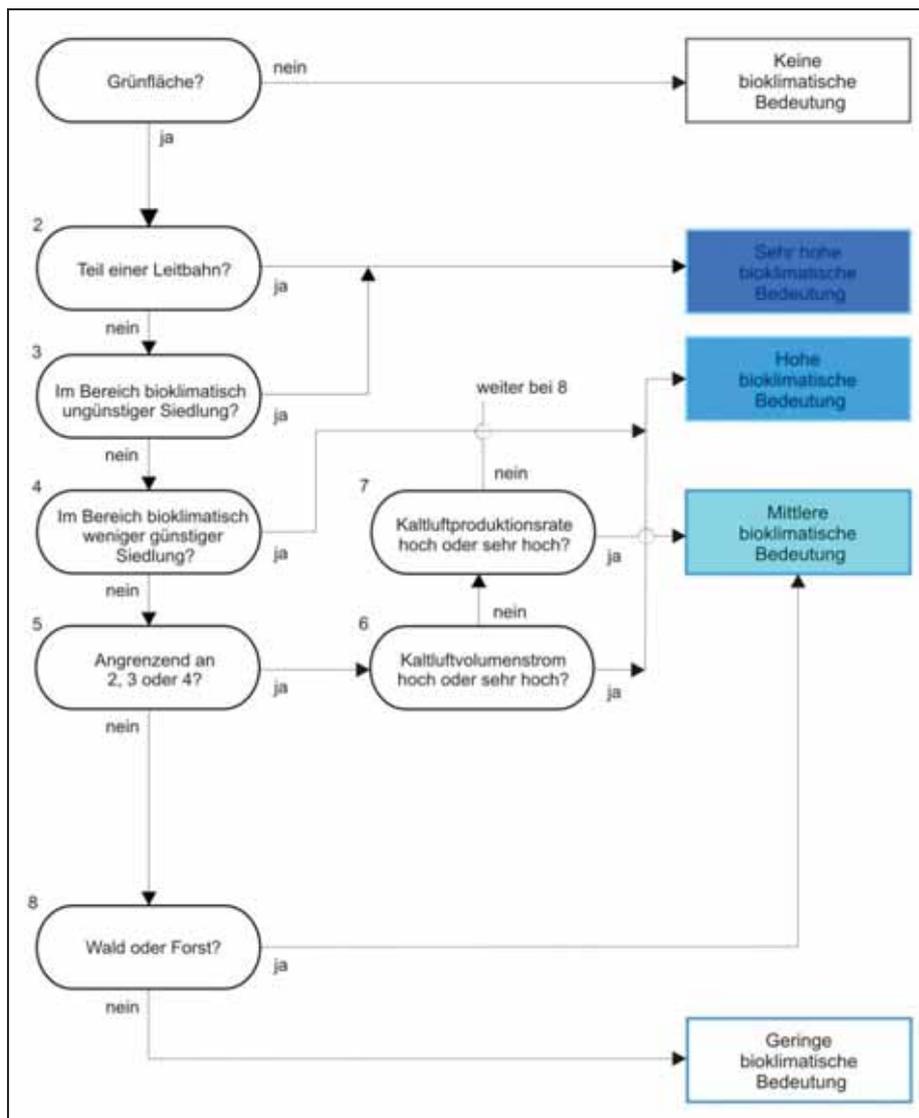
<sup>8</sup> Als „Grün- und Freifläche“ werden hier unabhängig von ihrer jeweiligen Nutzung all jene Flächen bezeichnet, die sich durch einen geringen Versiegelungsgrad von maximal etwa 25 % auszeichnen. Neben Parkanlagen, Kleingärten, Friedhöfen und Sportanlagen umfasst dieser Begriff damit auch landwirtschaftliche Nutzflächen sowie Forsten und Wälder.



### Mittlere bioklimatische Bedeutung

10. Grün- und Freiflächen aus (7) wird eine **mittlere bioklimatische Bedeutung** zugesprochen, wenn sie eine hohe Kaltluftproduktionsrate (Karte 2) aufweisen
11. Waldflächen wird – 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.

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



**Abbildung 8.1:** Vereinfachtes Verknüpfungsmodell zur Ermittlung der bioklimatischen Bedeutung der Grün- und Freiflächen

Die nach diesem Verfahren ermittelte bioklimatische Bedeutung der Grün- und Freiflächen basiert zum einen 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 Grün- oder Freifläche trotz relativ geringem Kaltluftliefervermögen in einem ansonsten stark überbauten Umfeld signifikant zur Verminderung der dort auftretenden hohen Belas-



tungen beitragen. Aus diesem Grund wurde Freiräumen 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 Grün- oder Freifläche über einen direkt zugeordneten, bioklimatisch stark belasteten Wirkungsraum oder wirkt als Kaltluftleitbahn bzw. Luftaustauschbereich.

Eine als „Hoch“ eingestufte Grün- oder Freifläche verfügt *entweder* über einen direkt zugeordneten, bioklimatisch belasteten Wirkungsraum *oder* weist ein überdurchschnittliches Kaltluftliefervermögen auf und ist gleichzeitig als Ausgleichsraum oder Kaltluftquellgebiet einzustufen.

### 8.1.2 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.

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 Grün- und Freiflächen 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. Die temperatursenkende Wirkung von Straßengrün kann bis zu 6°C in 2m über Grund gegenüber unbegrüntem Straßenräumen betragen (WAGENFELD 1985). In der Tagsituation weisen daher auch kleinere Grünareale eine wertvolle klimaausgleichende Funktion auf. Darüber hinaus sollten größere Grün- und Freiflächen 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. Funktion von Grün- und Freiflächen am Tage bzw. in der Nacht deutlich. Einerseits sollen sie eine gute Aufenthaltsqualität am Tage gewährleisten, andererseits können 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 Grün- und Freifläche – 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.

Innerstädtische und siedlungsnaher Grün- und Freiflächen haben daher eine wesentliche Wirkung auf das Stadtklima und beeinflussen die direkte Umgebung in mikroklimatischer Sicht positiv. Selbst kleinere Grün- und Freiflächen innerhalb dichter Bebauung bieten im Sommer klimatische Regenerationsflächen und Rückzugsorte. Zudem können diese Flächen auch nachts kleinräumig Abkühlung in der angrenzenden Bebauung



bringen. In der Planungshinweiskarte tritt daher der Kaltluftvolumenstrom oder die Kaltluftproduktivität einer Grün- und Freifläche als qualifizierender Parameter bei der Bewertung mehr in den Hintergrund. Für die planerische Einordnung ist vielmehr die Frage entscheidend welche Ausgleichsleistung eine Grün- oder Freifläche für vornehmlich bioklimatisch ungünstige Siedlungsbereiche erbringen kann.

### 8.1.3 Bewertung der Grün- und Freiflächen im Stadtgebiet

Eine planerischen Bewertung der Grünflächen erfolgt somit primär über die räumliche Lage der Grünfläche im oder zum Stadtgebiet und deren Möglichkeit Ausgleichsleistungen für die städtische Bebauung zu erbringen. Die Einstufung der Grün- und Freiflächen erfolgt in vier Bewertungsklassen:

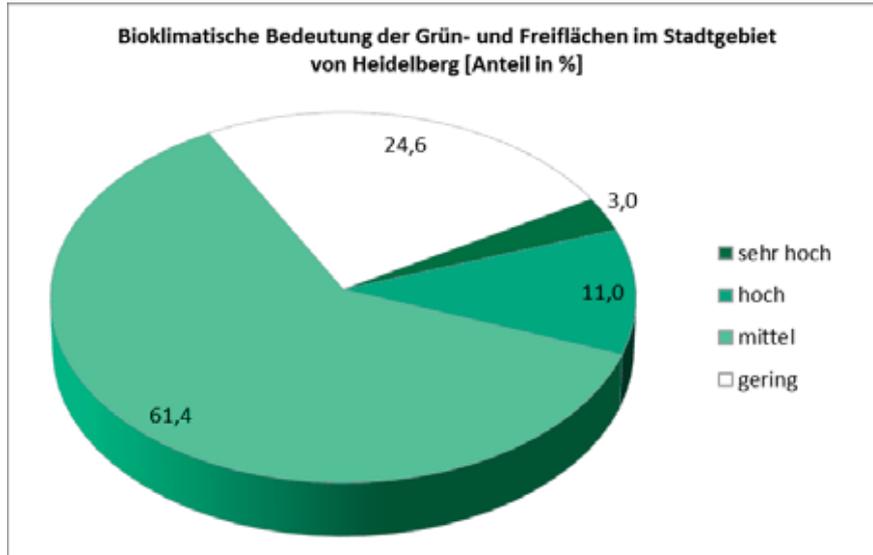
- Grünflächen mit **einer sehr hohen klimaökologischen Bedeutung** sind hauptsächlich in direkter Siedlungsnähe vorzufinden. Sie liegen entweder im unmittelbaren Einflussbereich von bioklimatisch hoch belasteten Siedlungsräumen oder weisen eine Funktion als Kaltluftleitbahn / Luftaustausch-bereich auf.
- Grünflächen mit **hoher klimaökologischer Bedeutung** verfügen entweder über einen direkt zugeordneten, bioklimatisch belasteten Wirkungsraum *oder* weist einen überdurchschnittlichen Kaltluftvolumenstrom auf und sind gleichzeitig als Ausgleichsraum oder Kaltluftquellgebiet einzustufen.
- Eine **mittlere bioklimatische Bedeutung** kann Umfeldflächen mit unterdurchschnittlichem Kaltluftvolumenstrom aber hoher Kaltluftproduktionsrate zugewiesen werden. Waldgebiete wurden pauschal in diese Klasse eingeordnet, da Wald generell eine von der Stärke des nächtlichen Kaltluftliefervermögens unabhängige bioklimatische Ausgleichsleistung als Frischluftproduzent und Erholungsraum zukommt.
- Bei Grünflächen und Freiräume mit einer **geringen stadtklimatischen Bedeutung** handelt es sich meist um siedlungsferne Freiflächen, die keinen nennenswerten Einfluss auf belastete Siedlungsbereiche ausüben.

Tabelle 8.1 fasst die Flächenanteile der ausgewiesenen Kategorien zusammen. Somit sind ca. 10 Prozent (~9 km<sup>2</sup>) des Grünflächenbestandes im Stadtgebiet von sehr hoher und weitere 18 Prozent (~17 km<sup>2</sup>) von hoher klimaökologischer Bedeutung. Durch die ausgedehnten Waldflächen im Gebiet der Stadt Heidelberg bildet die Kategorie der Umfeldflächen mit mittlerer bioklimatischer Bedeutung einem Flächenanteil von nahezu 50 %.

Kategorie	Bioklimatische Bedeutung	Beschreibung	Flächenanteil im Stadtgebiet in km <sup>2</sup>	Anteil der Kategorie an den Grünflächen im Stadtgebiet
4	Sehr hoch	Grünfläche als Teil einer Kaltluftleitbahn oder Grünfläche im direkten Umfeld von bioklimatisch ungünstigen Siedlungsräumen	2,5	3 %
3	Hoch	Grünflächen mit überdurchschnittlichen Kaltluftvolumenströmen, die in Bezug zu bioklimatisch weniger günstigen Siedlungsräumen stehen oder Grünflächen im direkten Umfeld von bioklimatisch weniger günstigen Siedlungsräumen	9,0	11,0 %
2	Mittel	Wald- und Forstflächen	43,5	61,4 %
		nicht mit Wald bestandene Grünfläche mit überdurchschnittlicher Kaltluftproduktion, die im näheren Umfeld der als "Hoch" eingestuften Umfeldflächen (Kategorie 3) liegen	6,9	
1	Gering	Grünfläche ohne nähere bioklimatische Spezifikation	20,2	24,6 %

**Tabelle 8.1:** Bilanz der Grün- und Freiflächen im Stadtgebiet von Heidelberg.

In der folgenden Abbildung ist die Bilanzierung der Grünflächen nochmals graphisch dargestellt.



**Abbildung 8.2:** Bilanz der Grün- und Freiflächen und ihrer bioklimatischen Bedeutung im Stadtgebiet von Heidelberg.

Entsprechend ihrer bioklimatischen Bedeutung für die Siedlungsflächen des Stadtgebiets kommen den Grünflächen unterschiedliche Bedeutungen und Schutzbedürftigkeiten zu, die sich in allgemeinen Planungsempfehlungen zusammenfassen lassen.



Bioklimatische Bedeutung	Kriterium	Beurteilung der Empfindlichkeit	Hinweise zu Maßnahmen (Auflistung nach Relevanz)
<b>Sehr hohe Bedeutung</b> 	Leitbahnen: Hoher Luftaustausch zwischen Kaltluftstehungsgebieten und belasteten Siedlungsräumen.	Höchste Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strömungsquerschnitt sichern (&gt; 300 m)</li> <li>• Aufweitung oder Beseitigung baulicher und sonstiger Strömungshindernisse</li> <li>• Abriegelnde Randbebauung oder dichte Baumbepflanzung vermeiden</li> <li>• Angrenzende bauliche Folgenutzungen längs zur Leitbahn ausrichten</li> <li>• Erhalt des Grün- und Freiflächenanteils und Minimierung der Versiegelung</li> <li>• Vermeidung oder Verringerung von Luftschadstoffemissionen</li> </ul>
	Grün- und Freiflächen mit direktem Bezug zu bioklimatisch ungünstigen Siedlungsräumen.	Höchste Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhalt des Grün- und Freiflächenanteils und Minimierung der Versiegelung</li> <li>• Vermeidung von Austauschbarrieren gegenüber bebauten Randbereichen</li> <li>• Grün- und Freiflächen vernetzen</li> <li>• Baumbestand optimieren (nur lockerer Baumbestand mit durchströmbarstem Stammraum)</li> <li>• Immissionsschutzpflanzungen entlang von Hauptverkehrsstraßen (i.d.R. heimische Gehölze in Heckenform angelegt, die angrenzende Flächen vor Emissionen und Lärm schützen)</li> </ul>
<b>Hohe Bedeutung</b> 	Hoher Luftaustausch in Richtung belasteter Siedlungsräume (Anbindung von Kaltluftquellgebieten)	Hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhalt des Grün- und Freiflächenanteils</li> <li>• Vermeidung von Austauschbarrieren gegenüber Leitbahnen</li> <li>• Grün- und Freiflächen vernetzen</li> <li>• Vermeidung oder Verringerung von Luftschadstoffemissionen</li> <li>• Bei baulichen Eingriffen Gebäudeausrichtung beachten (Ausrichtung parallel zur Strömung; Grün- und Freiflächen zwischen der Bebauung einplanen) sowie Bauhöhen möglichst gering halten</li> </ul>
	Grün- und Freiflächen mit direktem Bezug zu bioklimatisch weniger günstigen Siedlungsräumen	Hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhalt des Grün- und Freiflächenanteils</li> <li>• Vermeidung von Austauschbarrieren gegenüber bebauten Randbereichen</li> <li>• Grün- und Freiflächen vernetzen</li> <li>• Baumbestand optimieren (nur lockerer Baumbestand mit durchströmbarstem Stammraum)</li> <li>• Immissionsschutzpflanzungen entlang von Hauptverkehrsstraßen</li> </ul>
<b>Mittlere Bedeutung</b> 	Stadtnahe Grün- und Freiflächen mit hohem Kaltluftvolumenstrom oder hoher Kaltluftproduktion.	Mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Möglichst Erhalt des Grün- und Freiflächenanteils</li> <li>• Vermeidung von Austauschbarrieren gegenüber bebauten Randbereichen</li> <li>• Vermeidung oder Verringerung von Luftschadstoffemissionen</li> <li>• Maßvolle Bebauung möglich, wenn sie den lokalen Luftaustausch nicht wesentlich beeinträchtigt</li> <li>• Waldbestand sichern</li> </ul>
<b>Geringe Bedeutung</b> 	Grün- und Freiflächen mit geringem Einfluss auf Siedlungsgebiete oder unbedeutendem Kaltlufttransport oder geringer Kaltluftproduktion.	Geringe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zersiedlung vermeiden</li> <li>• Bei Verkehrseinfluss Emissionen reduzieren</li> </ul>

**Tabelle 8.2:** Allgemeine Stadtklimatische Hinweise für Planungsentscheidungen zu Grün- und Freiflächen

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft einen Ausschnitt aus der Planungshinweiskarte für das zentrale Stadtgebiet von Heidelberg, in dem große Anteile des Siedlungsraumes eine bioklimatisch weniger günstige oder sogar ungünstige Situation aufweisen. In diesen Bereichen kommt auch den kleineren innerstädtischen Grünflächen eine hohe bis sehr hohe Bedeutung, als kleinräumigen Ausgleichsräumen oder Klimaoasen zu.



Der Ausschnitt zeigt weiterhin 3 für den zentralen Stadtbereich wichtige Leitbahnen: Im Mühlbachtal kommt es zu einer Kanalisierung der hangabfließenden Kaltluft, die hier eine Mächtigkeit erreicht, das sie nicht nur über die siedlungsnahen Freiflächen abfließt sondern auch die bebauten Bereiche des Tales überströmen kann. Von dieser Leitbahn profitieren die bioklimatisch weniger günstigen Bereiche von Handschuhsheim. Der Bergfriedhof (am südlichen Rand des Kartenausschnittes) erfüllt ebenfalls die Funktion einer Leitbahn: Über das Friedhofsareal kann die von den bewaldeten Hangbereichen abfließende Kaltluft in die angrenzende Bebauung der Südstadt vordringen und dort zur Entlastung beitragen. Der Neckar bildet nicht nur eine zentrale Kaltluftleitbahn während austauscharmer Strahlungswetterlagen sondern ist ebenso eine Ventilationsbahn, die ganzjährig zur Durchlüftung des Innenstadtbereiches beitragen kann.

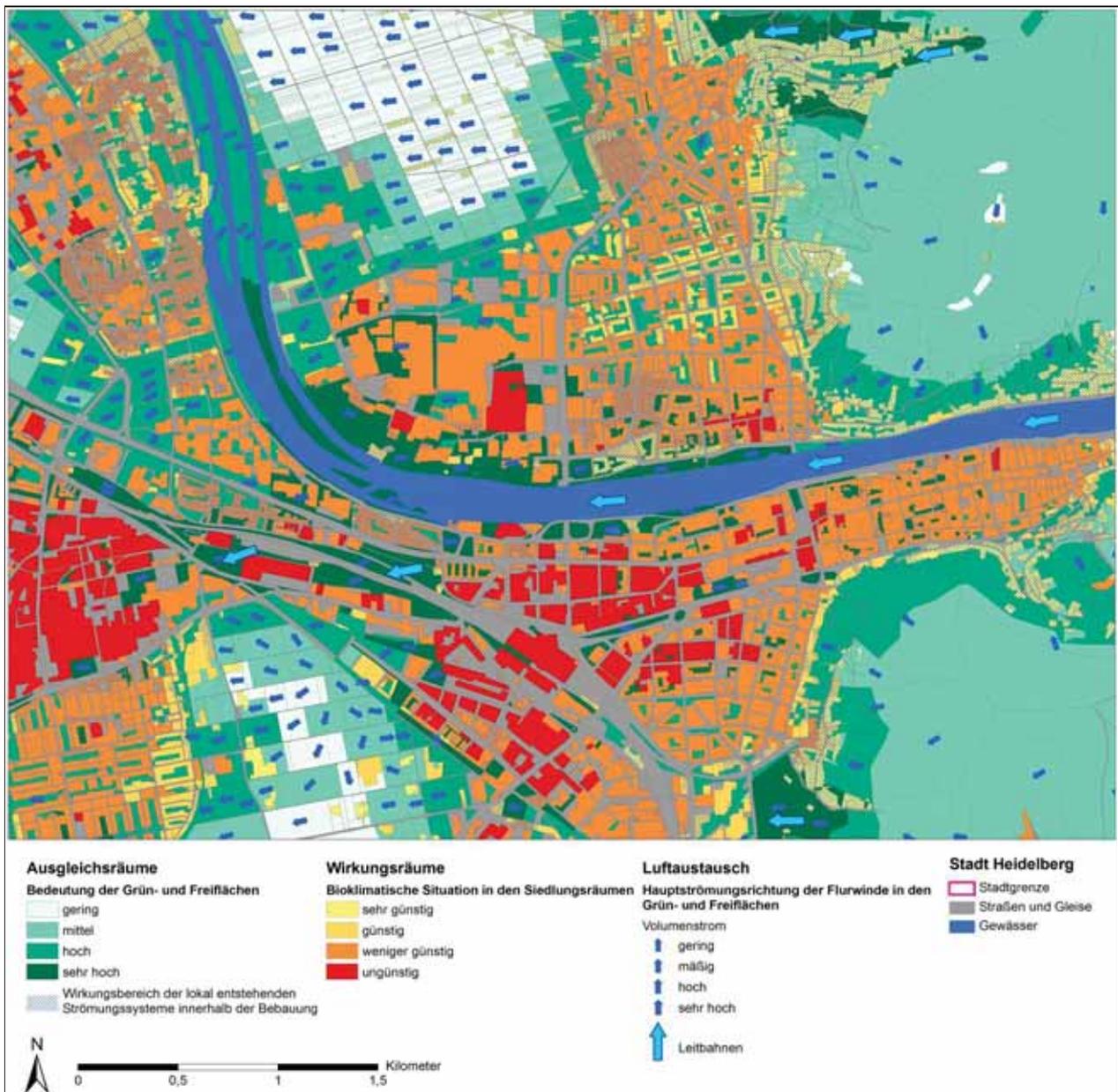


Abbildung 8.3: Legende der Planungshinweiskarte und Kartenausschnitt: Heidelberg zentrales Stadtgebiet.



## 8.2 Siedlungsräume

Der Siedlungsraum der Stadt Heidelberg weist durch die Lage der Stadt im Einflussbereich des Neckartalabwindes sowie durch die klimatische Gunstwirkung lokaler Kaltluftabflüsse über die Odenwald- bzw. Bergstraßenhänge insgesamt ein gutes Durchlüftungspotential auf. Wie im Kapitel 7.2 dokumentiert gibt es einige Bereiche der Stadt, die bei größerer Verdichtung und geringem Grünanteil nicht mehr im Einflussbereich der Kaltluftabflüsse liegen und aufgrund ihrer Entfernung zu den Freiflächen der Rheinebene für lokale Flurwinde nicht erreichbar sind. Solche Belastungsbereiche mit einer überdurchschnittlichen Wärmebelastung und einem Durchlüfungsdefizit sind vor allem das Stadtzentrum mit Bahnstadt, Weststadt und Bergheim sowie das Gewerbegebiet von Pfaffengrund. Im Anhang B zu diesem Bericht wird noch einmal detaillierter auf die stadtklimatische Situation in den einzelnen Stadtteilen eingegangen.

Die bioklimatische Ungunst kennzeichnet damit gerade solche Siedlungsräume, die unter anderem aufgrund ihres hohen Bauvolumens und ihrer freiflächenfernen Lage für ausgleichende Kaltluftströmungen kaum zugänglich sind – hierbei handelt es sich demnach im engeren Sinne um bioklimatische „**Sanierungsgebiete**“, die eines erhöhten Grünanteils und einer Verbesserung der Belüftung bedürfen. Demgegenüber weisen thermisch günstigere Siedlungsräume („**Gunsträume**“) eine geringere Belastung oftmals gerade wegen ihrer effektiven Durchströmung mit Kaltluft auf. Die in dem Kapitel 7.2 beschriebene Belastungssituation der Siedlungsräume wird in der Planungshinweiskarte für die Bewertung des Ausgleichspotenzials von angrenzenden Grünflächen herangezogen.

Neben den bereits in der Klimaanalysekarte dargestellten Kaltlufteinwirkungsbereichen werden in der Planungshinweiskarte zusätzlich „**bebaute Gebiete mit klimarelevanten Funktionen (Gunstwirkung)**“ ausgewiesen. Die so gekennzeichneten Flächen besitzen aufgrund ihrer Bebauungsart und ihrer Lage eine klimatische Bedeutsamkeit für angrenzende Siedlungskörper. Diese „Gunstwirkungen“ beruhen auf ihrer verhältnismäßig starken nächtlichen Abkühlung oder ihrem relativ windoffenen Charakter – auf Eigenschaften also, die sich aus einem niedrigen Versiegelungsgrad und einer lockeren Bebauung mit meist geringen Gebäudehöhen ergeben. Die zugehörigen Bereiche führen weder zu einer ausgeprägten thermisch-lufthygienischen Belastung, noch beeinträchtigen sie nachhaltig den Luftaustausch (s. VDI 1997). Wenn das innerhalb der Flächen vorhandene bauliche Nutzungsmaß beibehalten und die Klimarelevanz für umliegende Siedlungsräume berücksichtigt wird, ist die Empfindlichkeit gegenüber zusätzlicher baulicher Nutzung meist relativ gering.

Aus der Einordnung der Siedlungsflächen anhand ihrer bioklimatischen Situation resultieren analog zu den Grün- und Freiflächen unterschiedliche Hinweise für planerische Maßnahmen. Die Auflistung der Hinweise erfolgt in etwa anhand ihrer Relevanz soweit dies möglich ist.

Generell sollten weniger günstige Siedlungsflächen nicht weiter verdichtet werden und der Bestand an Grün- und Freiflächen erhalten bleiben. Soweit es innerhalb verdichteter Gebiete möglich ist, sollte eine Verbesserung der bioklimatischen Situation angestrebt werden. Eine Entsiegelung von Freiflächen und Innenhöfen sollte gefördert werden, ebenso wie die Schaffung von Schattenbereichen durch Bäume. Fassaden- und Dachbegrünungen können, soweit eine ausreichende Bewässerung gewährleistet ist, tagsüber die Aufheizung der Gebäudeoberflächen vermindern. In Kapitel 8.4 sind Maßnahmen zur Verringerung der Wärmebelastung erläutert.

Auch für die Siedlungsflächen gilt, wie für die Grün- und Freiflächen, dass auf gesamtstädtischer Ebene nur ein Überblick über mögliche Maßnahmen gegeben werden kann. In Kapitel 8.5 werden für Teilbereiche der Stadt unter anderem mögliche Maßnahmen zur Verbesserung der bioklimatischen Situation angesprochen. Allgemeine Planungshinweise für Siedlungsräume sind in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet.



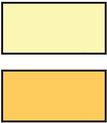
Bioklimatische Situation	Kriterium	Beurteilung der Empfindlichkeit	Maßnahmen (Auflistung nach Relevanz)
<p><b>Sehr günstig und günstig</b></p> 	<p>Siedlungsraum mit sehr günstigen bzw. günstigen bioklimatischen Bedingungen. Vorwiegend offene Siedlungsstruktur mit hohem Durchgrünungsgrad und meist guter Durchlüftung.</p>	<p>Mittlere Empfindlichkeit gegenüber nutzungsintensivierenden Eingriffen. Maßvolles Nachverdichten unter Beibehaltung des offenen Siedlungscharakters</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Günstiges Bioklima erhalten (angepasste Verdichtung möglich, Grün- und Freiflächen erhalten, ...)</li> <li>• Klimaaktivität der Fläche für angrenzende Siedlungsräume beachten</li> <li>• Bebauungsränder offenhalten oder öffnen</li> <li>• Bauhöhen gering halten</li> <li>• Baukörperstellung im Hinblick auf Kaltluftströmungen beachten</li> <li>• Grün- und Freiflächenvernetzung zum Freiland schaffen</li> <li>• Hausbrandemissionen reduzieren</li> </ul>
<p><b>Weniger günstig</b></p> 	<p>Siedlungsstruktur mit weniger günstigen bioklimatischen Bedingungen. Areale mit höherer Bebauungsdichte und/oder unzureichender Durchlüftung.</p>	<p>Hohe Empfindlichkeit gegenüber nutzungsintensivierenden Eingriffen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verbesserung vorhandener Durchlüftungswege</li> <li>• Nach Möglichkeit keine weitere Verdichtung</li> <li>• Grün- und Freiflächen sichern, optimieren und erweitern</li> <li>• Grün- und Freiflächen vernetzen</li> <li>• Versiegelung reduzieren (Richtwert &lt; 60 %)</li> <li>• Entsiegelung und Begrünung der Blockinnenhöfe</li> <li>• Förderung von Dach- und Fassadenbegrünung</li> <li>• Stadtbaumbestand sichern und erweitern</li> <li>• Straßenbaumbestand klima- und immissionsgerecht ergänzen</li> <li>• Bei Verkehrseinfluss Emissionen reduzieren</li> </ul>
<p><b>Ungünstig</b></p> 	<p>Siedlungsstruktur mit ungünstigen bioklimatischen Bedingungen. Sehr hoher Versiegelungs- und Überbauungsgrad mit unzureichender Durchlüftung.</p>	<p>Sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber nutzungsintensivierenden Eingriffen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verbesserung vorhandener Durchlüftungswege</li> <li>• Nach Möglichkeit keine weitere Verdichtung</li> <li>• Grün- und Freiflächen sichern und optimieren</li> <li>• Förderung kleinräumiger „Klimaoasen“</li> <li>• Versiegelung reduzieren (Richtwert &lt; 80 %)</li> <li>• Entsiegelung und Begrünung vorhandener Blockinnenhöfe</li> <li>• Förderung von Dach- und Fassadenbegrünung</li> <li>• Stadtbaumbestand sichern und erweitern</li> <li>• Bei Verkehrseinfluss Emissionen reduzieren</li> </ul>

Tabelle 8.3: Allgemeine stadtklimatische Hinweise für Planungsentscheidungen zu Siedlungsräumen



## 8.2 Luftaustausch

Auf Basis der Modellrechnung und der Ergebnisse der Messkampagne zur Stadtklimaanalyse 1995 wurden die bereits in Kapitel 7.3 aufgeführten Leitbahnen und Luftaustauschbereiche analysiert. Aus stadtklimatischer Sicht ist eine funktionale Sicherung der zugehörigen Flächen vordringlich. Tabelle 8.2 listet die wichtigsten zugehörigen Planungshinweise für die Leitbahnbereiche auf: Eine Einengung des Strömungsquerschnittes insbesondere dort, wo dieser bereits weniger als 300 m beträgt, sollte unbedingt vermieden werden. In flächenhaft ausgeprägten Luftaustauschbereichen kann eine Nutzungsintensivierung unter Berücksichtigung des Strömungsgeschehens vertretbar sein. Linear ausgerichtete lokale Leitbahnen benötigen zum Erhalt ihrer Funktion eine mindestens 50 m breite, hindernisarme Durchflussbreite. Abriegelnde Bebauung im Übergangsbereich zwischen Leitbahn und Siedlung ist zu vermeiden. Dies bedeutet, dass in diesen Übergangszonen die Bebauung parallel zur Kaltluftströmung ausgerichtet sein sollte und durch Lücken zwischen einzelnen Gebäuden offene Zonen mit Zugang zur Leitbahn erhalten bleiben. Die Gebäudehöhen sollten möglichst niedrig gehalten werden. In diesem Zusammenhang sind ebenso dichte Baumbepflanzungen zu vermeiden, die ein Eindringen der Kaltluft in die Siedlungsbereiche behindern. Zur Sicherung ihrer Nebenfunktion als Kaltluftentstehungsgebiete trägt eine Minimierung der Versiegelung innerhalb der Leitbahnen bei. Luftschadstoffemissionen innerhalb der Leitbahnflächen sind wenn möglich zu vermeiden oder zu verringern. Die Quellgebiete der für Heidelberg wesentlichen Kaltluft liegen im Odenwald, so dass die hier entstehende Kaltluft primär keine wesentliche Luftschadstoffbelastung aufweist.

Diese Hinweise gelten auch für lokale Flurwinde innerhalb kleinerer Grün- und Freiflächen.

## 8.3 Kleinräumige Maßnahmen zur Verbesserung der stadtklimatischen Situation

Der bioklimatischen Belastungssituation in den Nachtstunden kommt eine besondere Bedeutung zu, weil ein erholsamer Schlaf nur bei ausgewogenen thermischen Bedingungen möglich ist. Doch auch am Tage können bei sommerlichen Hochdruckwetterlagen starke thermophysiological Belastungen auftreten. Hierfür ist, neben dem generell hohen Temperaturniveau, insbesondere die Aufheizung städtischer Oberflächen durch die Sonneneinstrahlung in Verbindung mit ihrer erhöhten Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit verantwortlich. Maßnahmen zur Reduktion dieser Aufheizung – also im allgemeinen zur Verringerung der Oberflächen- und Lufttemperatur durch verstärkte Beschattung und eine Erhöhung der kühlender Verdunstung durch Pflanzen oder unversiegelte Oberflächen – wirken sich häufig auch positiv auf die lokalen nächtlichen Bedingungen aus.

Auf die Relevanz innerstädtischer Grün- und Freiflächen für die bioklimatischen Bedingungen am Tage ist bereits in Kapitel 7 hingewiesen worden. Die Flächengröße entsprechender bebauungsfreier Bereiche ist im Rahmen dieser Funktion zunächst von untergeordneter Bedeutung. Selbst kleine unversiegelte Plätze, begrünte Höfe (sogenannte „Pocket Parks“) und temporär genutzte Baulücken können sich als kühlere Erholungsräume eignen und die Aufenthaltsqualität im Freien tagsüber deutlich erhöhen. Ab einer Größe von etwa einem Hektar tragen Grün- und Freiflächen bei günstigen Rahmenbedingungen auch zur nächtlichen Abkühlung der angrenzenden Bebauung bei. Nach Scherer (2007) können hierbei Reichweiten von bis zu 400 Metern beobachtet werden. Um die von den Flächen ausgehenden nächtlichen Flurwinde nicht zu beeinträchtigen, sollte der Übergangsbereich zur Bebauung – falls keine prioritäre Immissionsschutzwirkung gegeben ist – von Grünstrukturen wie dichten Baumgruppen, Gehölzen oder hohen Hecken weitgehend frei gehalten werden.

Zum Erhalt ihrer Funktion am Tage sollten innerstädtische Grün- und Freiflächen allerdings nicht ausschließlich mit Rasen bewachsen sein, sondern Sträucher und – falls möglich – Gruppen von hochstämmigen, schattenspendenden Bäumen einbeziehen. Da Bäume einen großen Teil der Strahlung bereits im Kronenraum absorbieren, bewirken sie bei starken Einstrahlungsintensitäten eine erhebliche Abkühlung der Ober-



flächen- und Lufttemperatur. Vor diesem Hintergrund ist eine verstärkte Förderung von großkronigen Bäumen in dicht bebauten Siedlungsbereichen insgesamt wünschenswert. Neben öffentlichen Grün- und Freiflächen, Parkplätzen und breiteren Straßenräumen betrifft dies auch Flächen, die sich in privater Verantwortung befinden (z. B. Innenhöfe und Vorgärten).

Neben diesen flächenbezogenen Eingriffen können objektbezogene Maßnahmen effektiv dazu beitragen, die Speicherung von Wärmeenergie in der Bausubstanz und damit die nächtliche Energieabgabe an die Atmosphäre oder die Innenräume zu mindern. Insbesondere bei gering gedämmten Wänden und Dächern kann das Innenraumklima in erheblichem Maße von der Oberflächentemperatur des Baukörpers beeinflusst werden. Diese wiederum wird von den Strahlungsbedingungen aber auch von der Lufttemperatur im Nahbereich des Gebäudes mitbestimmt. Die Bepflanzung (und ausreichende Bewässerung) von Dächern und Fassaden gehört daher zu den wirkungsvollsten Maßnahmen, die Energieaufnahme des Baukörpers zu reduzieren. Überdies wirken sie sich auch anderweitig in vielfältiger Form positiv auf ihr Umfeld aus (siehe z. B. DDV 2011). Es ist zu berücksichtigen, dass ein Großteil des Energieumsatzes von Gründächern auf Dachniveau, also oberhalb des eigentlichen Aufenthaltsbereiches des Menschen stattfindet. Positive Auswirkungen auf die bioklimatische Situation im Straßenraum sind daher nicht direkt, sondern nur über eine Senkung der thermischen Gesamtbilanz bei relativ hohen Begrünungsanteilen zu erwarten.

Neben der Dach- und Fassadenbegrünung bietet auch eine Steigerung der Sonnenlichtreflexion durch die Verwendung von hellen Farben und Baumaterialien eine wirkungsvolle Maßnahme zur Senkung der Oberflächen- und Lufttemperatur.

Wasserflächen wie Teiche und Seen, aber auch Springbrunnen und andere künstliche Wasserflächen tragen auf Grund der ausgleichenden Eigenschaften von Wasser zu einer Senkung der Temperaturen tagsüber bei. Nachts können sie auf Grund der geringen Rauigkeit leicht überströmt werden. An Standorten von Wasserflächen sollte stets ein Luftaustausch gegeben sein, um die Entwicklung von Schwüle zu vermeiden.

In Tabelle 8.4 ist zusammenfassend eine Auswahl möglicher Maßnahmen dargestellt. Die Auswahl einer Maßnahme ist insbesondere abhängig von den Gegebenheiten vor Ort. Der Effekt einer Maßnahme kann auf Grund der vielfältigen Rahmenbedingungen sehr unterschiedlich ausfallen. Auch kleinere Maßnahmen können bereits einen positiven Effekt erzielen. Insbesondere bei stark verdichteten und unzureichend durchlüfteten Stadtbereichen, wie beispielsweise dem Heidelberger Stadtzentrum mit Bahnstadt, kommt den kleinräumig einsetzbaren Maßnahmen eine große Bedeutung zu. Eine großräumige Entlastung der bioklimatisch belasteten Gebiete der Stadt ist auf Grund der gewachsenen Strukturen kaum umzusetzen. Gerade deshalb sollte ein verstärktes Augenmerk auf der Schaffung kleinräumiger Entlastungsbereiche liegen.

### **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 In-

nenräume 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.

Maßnahme	Details	Effekte
Schaffung und Erhaltung von Grün- und Freiflächen	> vorhandene grüne Innenhöfen erhalten und neue schaffen	> Klimaoasen für Anwohner; je nach Größe kleinräumige Effekte auf umgebende Bebauung
	> Straßenbahngleise oder Verkehrsinseln etc. begrünen	> Kleinräumige Auswirkungen (geringer als bei Büschen und Bäumen): Verdunstung, Abkühlung
Parkflächen erhalten, schaffen und optimieren	> aufgelockerte Struktur mit einzelnen Büschen und Bäumen	> Tagsüber Schattenplätze; nachts gute Kaltluftproduktion möglich
	> keine "Barrierepflanzungen" zur angrenzenden Bebauung	> Abfließen der produzierten Kaltluft in die Bebauung möglich
	> ggf. Wasserflächen einplanen	> tagsüber ausgleichende Wirkung auf den Temperaturgang, aber auch Erhöhung der Luftfeuchte; nachts geringer Rauigkeitswiderstand für abfließende Kaltluft
Pflanzung von Straßenbegleitgrün	> Straßenzüge und Bepflanzung in Abhängigkeit der Belastung mit Luftschadstoffen auswählen	> Verbesserung des Lokalklimas durch Verschattung und erhöhte Verdunstung
	> Auswahl geeigneter Bäume und Sträucher (stadtklimaangepasste Vegetation)	
	> mögliche Funktion als Leitbahn oder Kaltluftschneise sollte durch die Bepflanzung nicht behindert werden	
	> Verstärkung der Emissionsbelastung durch einen herabgesetzten Luftaustausch vermeiden (möglichst kein geschlossenes Kronendach, lichte kleinkronige Bäume/Sträucher in engen Straßen)	
Dachbegrünung	> ausreichende Bewässerung > Auswahl geeigneter Pflanzen	> Verringerung der Energieaufnahme durch den Baukörper > Verbesserung des kleinräumigen Lokalklimas
Fassadenbegrünung	> ausreichende Bewässerung > Auswahl geeigneter Pflanzen	> Verringerung der Energieaufnahme durch den Baukörper > Verbesserung des kleinräumigen Lokalklimas
Schaffung von Wasserflächen	> Luftaustausch muss gewährleistet sein, um Schwüle zu vermeiden	> ausgleichende Wirkung auf die Temperatur
Verwendung heller Baumaterialien und Farben	> im Straßenbau > im Hausbau	> Auf Grund der hohen Albedo geringere Energieaufnahme durch den Baukörper/das Bauobjekt
Verschattungselemente an Gebäuden	> Jalousien > Sonnensegel > Arkaden > Vegetation	> Verringerung der Energieaufnahme durch den Baukörper > Je nach Art des Verschattungselements Verbesserung der Aufenthaltsqualität auch in direktem Umfeld der Gebäude

Tabelle 8.4: Kleinräumige Maßnahmen zur Verringerung der Wärmebelastung

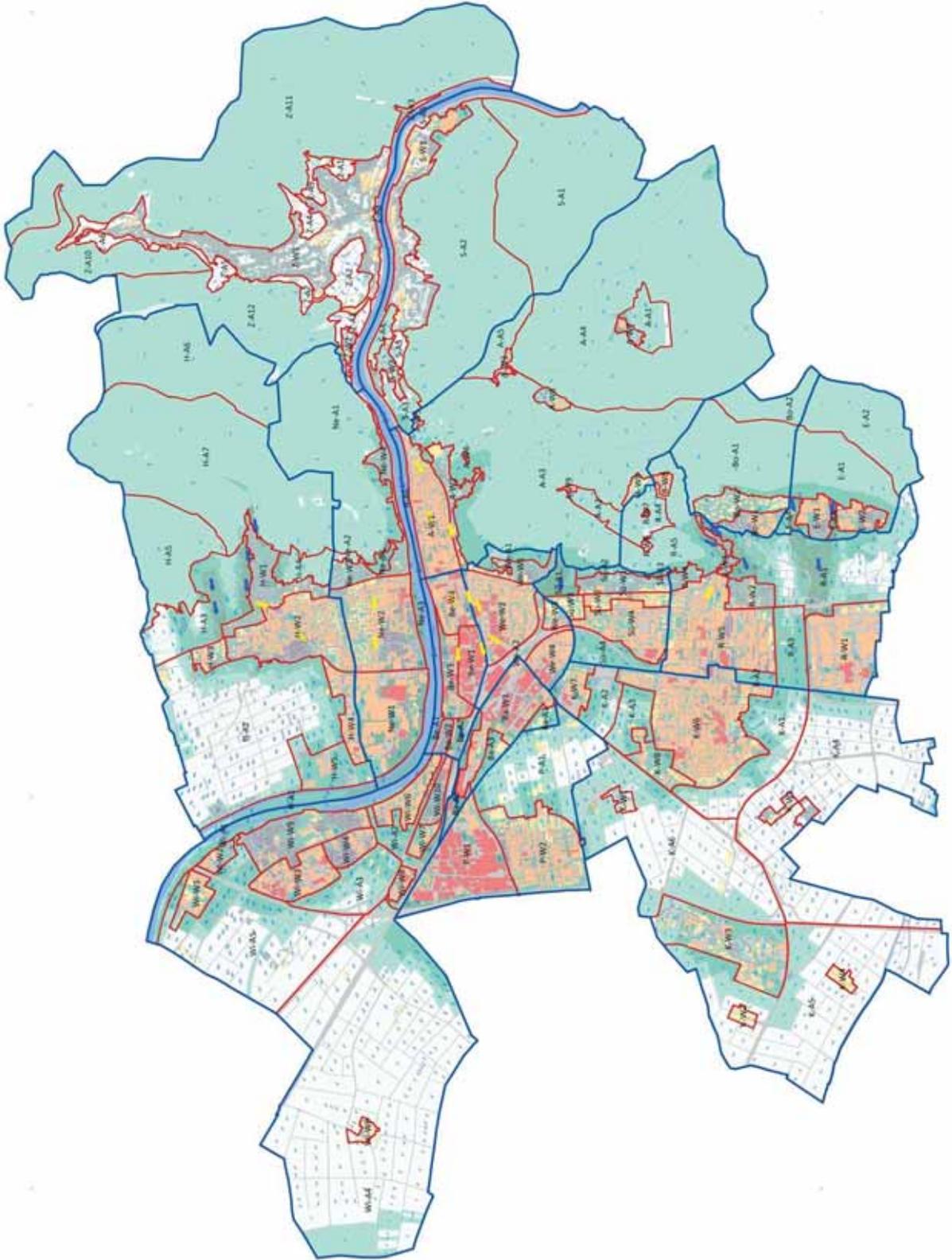


Abb.: 8.4: Teilflächen für klimaökologische Planaussagen (s. Anhang B).



## 9 Zusammenfassung

Die GEO-NET Umweltconsulting GmbH wurde zusammen mit dem Büro ÖKOPLANA durch die Stadt Heidelberg beauftragt, eine modellgestützte Analyse zu den klimaökologischen Funktionen für das Stadtgebiet von Heidelberg, zur Fortschreibung der der Klimafunktions- und der Planungshinweiskarte aus dem Jahr 1995 zu erarbeiten. Zudem sollten die Bestandsdaten in übersichtlicher Art und Weise neu aufbereitet werden. Die bereits vorliegenden flächendeckenden und teilräumlichen Klimauntersuchungen (u.a. ÖKOPLANA 1991, 1992; GEOGRAPHISCHES INSTITUT DER UNIV. HEIDELBERG / ÖKOPLANA 1995) in Heidelberg dokumentieren, dass die bioklimatische/lufthygienische Situation der Stadt wesentlich durch regionale und lokale Luftzirkulationen wie z.B. Hang- und Talabwinde aber auch flurwindartige Luftaustauschbewegungen mitbestimmt wird.

Grundlage der aktuellen Klimaanalyse bilden Simulationen mit dem Klimamodell FITNAH. Mit der Fortschreibung der Klimafunktions- und der Planungshinweiskarte steht der Stadt ein aktualisiertes Instrumentarium zur Berücksichtigung der Schutzgüter Klima und Luft in der räumlichen Planung zur Verfügung.

Das Stadtgebiet von Heidelberg befindet sich im klimaökologischen Belastungsgebiet „Ballungsraum Rhein-Neckar“. Damit verbunden ist das ganzjährige Überwiegen von Meeresluftmassen, die mit Südwest-, West- und Nordwestwinden nach Mitteleuropa gelangen. Bezogen auf die Periode 1981 – 2010 beträgt die Jahresmitteltemperatur an der DWD-Station Heidelberg 11,4°C. Im Durchschnitt können heiße Tage, d.h. Tagesmaxima von mindestens 30,0°C 15,3 mal pro Jahr beobachtet werden, Sommertage, d.h. Tage mit einem Temperaturmaximum von mindestens 25,0°C treten im 58 mal pro Jahr auf. Derartige Situationen sind in der Regel an periodenhaft auftretende Strahlungswetterlagen gebunden.

Grundlage für die Beurteilung der stadtklimatischen Situation ist die Analyse des klimatischen Ist-Zustandes im Stadtgebiet während einer austauscharmen sommerlichen Hochdrucklage, welche häufig mit einer überdurchschnittlich hohen Wärmebelastung in den Siedlungsräumen einhergeht. Aus den Grundlageninformationen über die Stadt, wie Topographie, Bebauung und Vegetation sowie Kenntnissen über atmosphärische Prozesse und lokalklimatischer Phänomene werden Aussagen über Wärmebelastung, Durchlüftung und Bioklima abgeleitet. Im Vordergrund der Betrachtung stehen der lokale nächtliche Kaltluftaustausch und die Sicherung und Verbesserung der damit in Zusammenhang stehenden relevanten städtischen Strukturen und Grün- und Freiflächen. Die Klimaanalysekarte fasst dieses als erstes Ergebnis der Untersuchung zusammen.

Im Rahmen der Klimaanalyse sind relativ zum Gebietsmittel bioklimatisch belastete Siedlungsräume einerseits sowie entlastende, Kaltluft produzierende Flächen andererseits ausgewiesen worden. Eine qualitative Bewertung der Klimaparameter erfolgt in Anlehnung an die VDI Richtlinie 3785 Blatt 1 anhand der Abweichungen der Einzelwerte von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsgebiet. Eine Flächenbilanzierung der ermittelten bioklimatischen Belastungsklassen der Siedlungsflächen im Stadtgebiet Heidelberg ergibt:

- 9,9 % der Siedlungsfläche sind als bioklimatisch ungünstig einzuordnen,
- 48,5 % sind weniger günstig,
- 22,9 % weisen günstige bioklimatische Bedingungen auf,
- 18,7 % des Siedlungsraumes können als sehr günstig eingestuft werden.

In Relation zum Gebietsmittel zeigen die am Rand der Rheinebene gelegen Stadtteile Heidelbergs eine, im Vergleich zum Gebietsmittel, überdurchschnittlich hohe bioklimatischen Belastung. Die neckaraufwärts eher ländlich gelegenen Ortsteile weisen dagegen durch ihre Lage innerhalb der neckarabwärts fließenden Kaltluft insgesamt eine günstige Situation auf. Die Temperaturunterschiede innerhalb der zentralen Stadtteile

Heidelbergs mit überdurchschnittlicher bioklimatischer Belastung sind vergleichsweise gering, da auch hier weite Teile dieser Stadtgebiete noch im Einflussbereich des „Neckartälers“ oder lokaler Hangabwinde liegen.

Von den bewaldeten Hängen östlich des zentralen Stadtgebietes strömt vielfach flächenhaft Kaltluft in die Stadt ein. Zum Teil wird die abfließende Kaltluft in Tälern kanalisiert. Erfolgt die Kaltluftströmung nicht flächig auf wärmere Ortsteile zu, sondern innerhalb räumlich begrenzter Bereiche spricht man von Kaltluftleitbahnen oder Luftaustauschbereichen. Als übergeordnete Luftaustauschbereiche wurden die folgenden, stadtklimatisch wichtigen Strukturen ermittelt:

1. Der „Neckartäler“, als für die Durchlüftung sehr effektive und für Heidelberg typische Strömung während sommerlicher Hochdrucklagen.
2. Der am östlichen Rand der Südstadt gelegene Bergfriedhof ermöglicht ein Einfließen von Kaltluft aus den bewaldeten Hangbereichen in das Stadtgebiet. Insbesondere die in der Nähe verlaufenden Gleisareale ermöglichen es der Kaltluft, über diese raugkeitsarmen Strukturen bis in Richtung Bahnhof und weiter in besonders stark belastete Gebiete vorzudringen.
3. Eine dritte Leitbahn Heidelbergs verläuft über die Freiflächen zwischen Boxberg und Rohrbach. Vor allem die südöstlichen Siedlungsflächen Rohrbachs können von diesem Luftaustauschbereich profitieren.
4. Hangabfließende Kaltluft aus dem Odenwald wird über Freiflächen Stadtteils Emmertsgrund kanalisiert und kann über weiter hangabwärts gelegene Freiflächen in Richtung Bundesstraße und Gewerbegebiet Rohrbach strömen.
5. Im nördlichen Stadtgebiet erfolgt im Mühlbachtal eine Kanalisierung der hangabfließenden Kaltluft.
6. In dem Hangeinschnitt am Steinberg kommt es ebenfalls zu einem Ansammeln und vermehrten Abfließen von Kaltluft

Ein Erhalt dieser Strukturen ist aus bioklimatischer Sicht unbedingt anzustreben. Eine raumplanerische Förderung dieser Strukturen kann wesentlich dazu beitragen, gesunde Lebens- und Wohnverhältnisse langfristig zu sichern. Vor dem Hintergrund einer weiter wachsenden Stadt bei gleichzeitig voranschreitendem Klimawandel kommt der Berücksichtigung stadtklimatischer Zusammenhänge bei der zukünftigen Stadtplanung eine besondere Bedeutung zu.



## Glossar

**Ausgleichsraum:** Kaltluft produzierende, unbebaute und vegetationsgeprägte Fläche die an einen Wirkungsraum angrenzt oder mit diesem über eine Leitbahn verbunden ist.

**Autochthone Wetterlage:** Eigenbürtige Wetterlage: Durch lokale und regionale Einflussfaktoren bestimmte Wetterlage. Solche Wettersituationen entstehen bei Hochdruckwetterlagen und sind durch einen ausgeprägten Tagesgang der Strahlung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind und Bewölkung geprägt. Durch lokale Temperaturunterschiede entstehen Ausgleichsströmungen.

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

**Bioklima:** Beschreibt die Einflüsse von Wetter und Klima (atmosphärische Umgebungsbedingungen) auf lebende Organismen und insbesondere den Menschen.

**Eigenbürtige Wetterlage:** s. autochthone Wetterlage

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

**Geostrophischer Wind:** Höhenwind

**Gunsträume:** Klimatisch günstige Siedlungsräume: häufig locker bebaute und durchgrünte Siedlungen mit einem geringen Versiegelungsgrad, hohem Vegetationsanteil und relativ hoher nächtlicher Abkühlungsrate. Diese Areale sind zu einem gewissen Maße selbst Kaltluftproduzenten und unterstützen die Kaltluftströmung benachbarter Grün- und Freiflächen. Diese Gebiete führen weder zu einer intensiven bioklimatischen Belastung noch zu Beeinträchtigungen des Luftaustausches. Für die Bewertung des Bioklimas werden diese Räume in Anlehnung an die VDI Richtlinie 3785 den Klassen „nicht belastet (sehr günstig)“ oder „gering belastet (günstig)“ zugewiesen (s. auch Kapitel 7.1 Abschnitt Siedlungsräume).

**humanbiometeorologische Belastung:** Belastung der Gesundheit und des Wohlbefindens des Menschen durch meteorologische Einflüsse.

**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. Er setzt bereits vor Sonnenuntergang ein und kann die ganze Nacht andauern.

**K, Kelvin:** Abkürzung für die Einheit Kelvin, in der üblicherweise Temperaturdifferenzen angegeben werden. Ein Kelvin entspricht einer Temperaturdifferenz von 1 °C.

**Kaltlufteinzugsgebiet:** Zusammenfassung aller Kaltluft produzierenden Flächen, die einem Kaltluftabfluss oder Flurwind zugeordnet werden können.

**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 Klimaelementen 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...).
- Komfortinsel:** Vielfältig strukturierte Vegetationsflächen in Wirkungsräumen mit günstigen klimatischen und lufthygienischen Bedingungen (z.B. kleine Parkanlage), s. auch Komfortraum.
- Komfortraum:** Bewachsene Grün- oder Freifläche, z.T. vielfältig strukturiert, mit günstigen bioklimatischen und lufthygienischen Bedingungen, in Nachbarschaft zum Wirkungsraum.
- Leitbahnen:** Mehr oder weniger linear ausgerichtete Grün- und Freiflächen mit geringer Rauigkeit, die den lokalen bodennahen Luftaustausch (vor allem die Zufuhr von Kaltluft) fördern. Die Eigenschaften einer Leitbahn bestimmen letztlich, in welchem Umfang Ausgleichsleistungen von einem Ausgleichs- zum Wirkungsraum erbracht werden können.
- Orographie:** Die Orographie beschreibt die Höhenstrukturen der natürlichen Erdoberfläche. Über die Orographie wird der Einfluss des Geländes auf das lokale Wettergeschehen berücksichtigt.
- 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.
- Strahlungsnacht:** Wolkenlose windschwache Nacht mit ungehinderter Ausstrahlung, s. auch Strahlungswetterlage.
- Strahlungswetterlage:** Wetterlage mit geringen großräumigen Windströmungen und ungehinderten Ein- und Austrahlungsbedingungen. Für diese Wetterlagen sind eine geringe Bewölkung sowie eine mittlere Windgeschwindigkeit von weniger als 1,5 m/s typisch, die meteorologische Situation in Bodennähe wird dann vornehmlich durch den Wärme- und Strahlungshaushalt geprägt.
- Ungunsträume:** Klimatisch belastete Siedlungsräume, die einen Durchlüftungsmangel und eine für die Region überdurchschnittliche Wärmebelastung aufweisen. Hierbei werden Siedlungsräume mit den Bewertungskategorien „mäßig belastet (weniger günstig)“ sowie „belastet (ungünstig)“ unterschieden. Unter Berücksichtigung des Belastungsniveaus ergibt sich für diese Räume eine hohe bzw. sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber einer Nutzungsintensivierung.
- Ventilationsbahn:** Leitbahn, die während austauschstärkerer Wetterbedingungen zur Be- und Entlüftung des Wirkungsraumes beiträgt.
- Wärmebelastung:** Durch Behinderung der Wärmeabgabe des Körpers hervorgerufenen Unbehaglichkeitsempfinden. Wärmebelastung tritt hauptsächlich bei sommerlichen, strahlungsreichen Hochdruckwetterlagen mit hoher Temperatur, hoher Feuchte und geringer Luftbewegung auf (Schwüle).
- Wärmeinsel:** Städtischer 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:** Siedlungsraum, der bioklimatisch und/oder lufthygienisch belastet ist und an einen oder mehrere Ausgleichsräume angrenzt oder über Leitbahnen an solche angebunden ist. Die Zufuhr von Kaltluft aus einem Ausgleichsraum kann zu einer Verminderung der Belastung beitragen.



**Zyklonale Wetterlage:** Durch Tiefdruckgebiete geprägte Wetterlagen, die häufig mit Wind und Niederschlägen einhergehen.



## Literatur

- EUROPEAN COMMISSION (1994): EUR 12585 - CORINE Landcover project - Technical guide. Office for official publications of the European Communities. Luxembourg.
- FANGER, P.O. (1972): Thermal comfort. Analysis and application in environment engineering. – New York, 244 S.
- 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.
- LÄHNE, W. (2008): Klimawandel in der Pfalz – Entwicklungen und Trends – Regionale Zukunftsszenarien. In: Pollichia-Kurier 24/(2)/2008: Neustadt a.d.W.
- LÄHNE, W. (2014): Wohin bewegt sich unser Klima? Oder. Wo gibt es in Europa bereits unser zukünftiges Klima? Antwort in der Kürze: In Richtung Toulouse und Verona. In: Pollichia-Kurier 30/(4)/2014: Neustadt a.d.W.
- LESER, H. (1984): Geographisch - landeskundliche Erläuterungen der Topographischen Karte 1:100000 des Raumordnungsverbandes Rhein - Neckar. In: Forschungen zur Deutschen Landeskunde. Bd. 221. Trier.
- 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.
- ÖKOPLANA (1991): Klimaökologische Analyse zur „Ökologischen Siedlung“ Wieblingen-Nord. Mannheim.
- ÖKOPLANA (1992): Vertiefende Untersuchung klimaökologischer Funktionsabläufe im Geltungsbereich des Bebauungsplanvorentwurfes Heidelberg-Handschuhsheim „Zum Steinberg“. Mannheim.
- ÖKOPLANA (1995): Vertiefende Untersuchung klimaökologischer Funktionsabläufe im Geltungsbereich des Bebauungsplans „Plangebiet I“ in Heidelberg-Schlierbach. Mannheim.
- VDI (1997): Richtlinie VDI 3787 Blatt 1. Umweltmeteorologie – Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. VDI Verein Deutscher Ingenieure. Düsseldorf.
- VDI (2003): Richtlinie VDI 3787 Blatt 5 Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.
- VDI (2004): Richtlinie VDI 3787 Blatt 9 Umweltmeteorologie – Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene in der räumlichen Planung. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.
- VDI (2008a): Richtlinie VDI 3787 Blatt 2. Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung - Teil I: Klima. VDI Verein Deutscher Ingenieure Düsseldorf.
- VDI (2008b): Richtlinie VDI 3785, Blatt 1. Umweltmeteorologie – Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.
- VDI (2014): Richtlinie VDI 3787 Blatt 1. Umweltmeteorologie – Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Entwurf Februar 2014. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL. Verein Deutscher Ingenieure