

# Stadtklimaanalyse Verwaltungsgemeinschaft Biberach



**Stadtplanungsamt Biberach**

Museumstr. 2  
88400 Biberach

Erstellt von:

GEO-NET Umweltconsulting GmbH, Hannover

Veröffentlichung:

**August 2018**



# Inhaltsverzeichnis

<b>Glossar</b>	<b>IV</b>
<b>1 Ziele und Analyseansatz</b>	<b>1</b>
<b>2 Fachliche Grundlagen</b>	<b>2</b>
2.1 Der Stadtklimaeffekt	2
2.2 Meteorologische und geographische Bedingungen im Untersuchungsraum	3
2.2.1 Geographische Lage des Untersuchungsgebiets	3
2.2.2 Klimatische Bedingungen	4
2.3 Regionale Klimaanalyse Donau – Iller	5
2.4 Exkurs: Planungsrechtliche Grundlagen	6
<b>3 Methode der modellgestützten Stadtklimaanalyse</b>	<b>8</b>
3.1 Das Stadtklimamodell FITNAH 3D	8
3.2 Parametrisierung der Eingangsvariablen	9
3.3 Betrachtete Wetterlage	11
3.4 Eingangsdaten für die Modellrechnung	12
<b>4 Modellergebnisse ausgewählter Parameter</b>	<b>17</b>
4.1 Vorgehensweise	17
4.2 Nächtliches Temperaturfeld	17
4.3 Kaltluftströmungsfeld	20
4.4 Kaltluftvolumenstrom	23
4.5 Vergleich der Modellergebnisse mit den Messergebnissen aus 1992	27
<b>5 Klimaanalysekarte</b>	<b>29</b>
5.1 Vorgehensweise	29
5.2 Ergebnisse	29
<b>6 Planungshinweiskarte</b>	<b>32</b>
6.1 Vorgehensweise	32
6.1.1 Festlegung des Prozessraums mit planungsrelevantem Stadtklima	32
6.1.2 Bewertung der Siedlungs- und Gewerbeflächen (Wirkungsraum)	32
6.1.3 Bewertung der Grün- und Freiflächen (Ausgleichsraum)	33
6.2 Ergebnisse	36
6.3 Planungshinweise und Maßnahmen	40
<b>7 Demographische Betroffenheit</b>	<b>43</b>
7.1 Vorgehensweise	43
7.2 Vulnerable Altersgruppen in Biberach	43



**7.3 Konfliktbereiche / Betroffenheitsanalyse** ..... 45

**8 Zusammenfassung und Ausblick**..... 46

**Quellenverzeichnis**..... 48

**Anhang 1 - 7**..... 49

## Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1 PRINZIPIKIZZE FLURWIND ..... 2

ABBILDUNG 2 RELIEF DES UNTERSUCHUNGSGEBIETS..... 4

ABBILDUNG 3 WINDRICHTUNGSVERTEILUNG FÜR DEN ZEITRAUM 2008 - 2017 FÜR DIE MESSSTATION BIBERACH (LUBW, 2018) ..... 5

ABBILDUNG 4 AUSSCHNITT AUS DER ANALYSEKARTE DER REGIONALEN KLIMAANALYSE DONAU – ILLER (REGIONALVERBAND DONAU – ILLER, 2015) ..... 6

ABBILDUNG 5 EINFLUSS DER BEBAUUNGSDICHTE AUF DIE STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEIT ..... 10

ABBILDUNG 6 EINFLUSS DER VEGETATION AUF DIE DURCHSTRÖMBARKEIT EINER RASTERZELLE..... 10

ABBILDUNG 7 TEMPERATURVERLAUF UND VERTIKALPROFIL DER WINDGESCHWINDIGKEIT ZUR MITTAGSZEIT VERSCHIEDENER LANDNUTZUNGEN ..... 12

ABBILDUNG 8 NUTZUNGSSTRUKTUR IM UNTERSUCHUNGSGEBIET ..... 13

ABBILDUNG 9 ANTEILE DER FITNAH-NUTZUNGSKATEGORIEN IM UNTERSUCHUNGSGEBIET IN PROZENT..... 15

ABBILDUNG 10 SCHEMA DER WERTZUORDNUNG ZWISCHEN FLÄCHEN- UND PUNKTINFORMATION ..... 16

ABBILDUNG 11 NÄCHTLICHES TEMPERATURFELD IN EINEM AUSSCHNITT DES STADTGEBIETS BIBERACH MIT BEISPIELHAFTEN WERTEN VERSCHIEDENER NUTZUNGSSTRUKTUREN (IM HINTERGRUND: SATELLITENBILD) ..... 19

ABBILDUNG 12 NÄCHTLICHES TEMPERATURFELD. IN HÖHERER AUFLÖSUNG (FORMAT DIN A3) ALS ANHANG 1..... 20

ABBILDUNG 13 NÄCHTLICHES STRÖMUNGSFELD IN EINEM AUSSCHNITT DES STADTGEBIETS BIBERACH ..... 22

ABBILDUNG 14 NÄCHTLICHE STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEIT IM UNTERSUCHUNGSGEBIET. IN HÖHERER AUFLÖSUNG (FORMAT DIN A3) ALS ANHANG 2. .... 23

ABBILDUNG 15 PRINZIPIKIZZE KALTLUFTVOLUMENSTROM..... 24

ABBILDUNG 16 NÄCHTLICHER KALTLUFTVOLUMENSTROM IN EINEM AUSSCHNITT DES STADTGEBIETS, IM HINTERGRUND LUFTBILD (GOOGLE EARTH) ..... 25

ABBILDUNG 17 NÄCHTLICHER KALTLUFTVOLUMENSTROM IM UNTERSUCHUNGSGEBIET. IN HÖHERER AUFLÖSUNG (FORMAT DIN A3) ALS ANHANG 3. .... 26

ABBILDUNG 18 VERTIKALPROFILE DER TEMPERATUR [°C] AUS MESSUNGEN MITTELS BALLONAUFSTIEGEN IN DER NACHT 5./6. AUGUST 1992 (STRAHLUNGSWETTERLAGE) AN 4 STANDORTEN (EIGENE DARSTELLUNG NACH SEITZ & BURST 1992)..... 27

ABBILDUNG 19 HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DER WINDRICHTUNG UND - GESCHWINDIGKEIT AUS MESSUNGEN IN DEN ZEITRÄUMEN JULI - SEPTEMBER 1991 UND APRIL - AUGUST 1992 WÄHREND NÄCHTEN MIT STRAHLUNGSWETTERLAGE (30% DER TAGE) AN 4 STANDORTEN. (EIGENE DARSTELLUNG NACH SEITZ & BURST 1992) ..... 28

ABBILDUNG 20 FLÄCHENANTEILE DER NÄCHTLICHEN ÜBERWÄRMUNG IM SIEDLUNGS- UND GEWERBERAUM..... 29

ABBILDUNG 21 KLIMAANALYSEKARTE NACHTSITUATION FÜR EINEN AUSSCHNITTS DES BIBERACHER STADTGEBIETS (GESAMTE DARSTELLUNG IM FORMAT DIN A3 ALS ANHANG 4 UND NUR FÜR DEN BEREICH BIBERACH ALS ANHANG 5)..... 31

ABBILDUNG 22 AUSWAHL VON ORTSLAGEN FÜR DEN PLANUNGSRELEVANTEN STADTKLIMAEFFEKT. DIE ORTSLAGEN-FLÄCHENGRÖÖE VON BIBERACH BETRÄGT 7,9 KM<sup>2</sup> BEI EINER TEMPERATUR VON 17,3 °C UND IST AUS GRÜNDEN DER BESSEREN LESBARKEIT NICHT IM DIAGRAMM DARGESTELLT ..... 32

ABBILDUNG 23 BEWERTUNGSSSCHEMA ZUR BIOKLIMATISCHEN BEDEUTUNG VON GRÜNFLÄCHEN..... 35

ABBILDUNG 24 FLÄCHENANTEILE DER BIOKLIMA KATEGORIEN IN DER PLANUNGSHINWEISKARTE FÜR SIEDLUNG (LINKS) UND GEWERBE (RECHTS) ..... 38

ABBILDUNG 25 AUSSCHNITT AUS DER PLANUNGSHINWEISKARTE (GESAMTSTÄDTISCHE DARSTELLUNG IM FORMAT DIN A3 IM ANHANG (ANHANG 5))..... 40



ABBILDUNG 26 PROZENTUALE VERTEILUNG DER ALTERSGRUPPEN IN DER BEVÖLKERUNG FÜR DIE STADT BIBERACH..... 43

ABBILDUNG 27 RÄUMLICHE VERTEILUNG DER UNTER 6- JÄHRIGEN KINDER IN DER STADT BIBERACH..... 44

ABBILDUNG 28 RÄUMLICHE VERTEILUNG DER ÜBER 64- JÄHRIGEN BEWOHNER IN DER STADT BIBERACH..... 44

ABBILDUNG 29 KONFLIKTBEREICHE FÜR DIE NACHTSITUATION IM STADTGEBIET BIBERACH..... 45

## Tabellenverzeichnis

TABELLE 1 NUTZUNGSKATEGORIEN DER KLIMAMODELLIERUNG..... 14

TABELLE 2: EINORDNUNG DER BIOKLIMATISCHEN BELASTUNG IM SIEDLUNGSRAUM IN DER NACHT (LUFTTEMPERATUR) FÜR DIE  
 ENTSPRECHENDEN FLÄCHEN IM GEBIET DES *VERDICHTUNGSRAUMS BIBERACH*. ..... 33

TABELLE 3: FLÄCHENANTEILE BIOKLIMATISCH BELASTETER SIEDLUNGSGEBIETE IN DER NACHT UND ABGELEITETE PLANUNGSHINWEISE. .... 37

TABELLE 4: FLÄCHENANTEILE DER KATEGORIEN FÜR BIOKLIMATISCHE BEDEUTUNG DER GRÜNAREALE IN DER NACHT UND ABGELEITETE  
 PLANUNGSHINWEISE. .... 39



## Glossar

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

**Allochthone Wetterlage:** Durch großräumige Luftströmungen bestimmte Wetterlage, die die Ausbildung kleinräumiger Windsysteme und nächtlicher Bodeninversionen verhindert. Dabei werden Luftmassen, die ihre Prägung in anderen Räumen erfahren haben, herantransportiert.

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

**Austauscharme Wetterlage:** → *Autochthone Wetterlage*

**Autochthone Wetterlage:** Durch lokale und regionale Einflüsse bestimmte Wetterlage mit schwacher Windströmung und ungehinderten Ein- und Ausstrahlungsbedingungen, die durch ausgeprägte Tagesgänge der Lufttemperatur, der Luftfeuchte und der Strahlung gekennzeichnet ist. Die meteorologische Situation in Bodennähe wird vornehmlich durch den Wärme- und Strahlungshaushalt und nur in geringem Maße durch die Luftmasse geprägt, sodass sich lokale Klimate wie das Stadtklima bzw. lokale Windsysteme wie z.B. Berg- und Talwinde am stärksten ausprägen können.

**Autochthones Windfeld:** Strömungen, deren Antrieb im Betrachtungsgebiet selber liegt und die nicht durch großräumige Luftdruckgegensätze beeinflusst werden, z.B. → *Kaltluftabflüsse* und → *Flurwinde*, die sich als eigenbürtige, landschaftsgesteuerte Luftaustauschprozesse während einer windschwachen sommerlichen → *autochthonen Wetterlage* ausbilden.

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

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

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

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

**Kaltluftabfluss:** Flächenhaft über unbebauten Hangbereichen auftretende Kaltluftabflüsse. Aufgrund der vergleichsweise höheren Dichte von Kaltluft setzt diese sich, dem Gefälle folgend, hangabwärts in Bewegung. Der Abfluss erfolgt schubweise. Er setzt bereits vor Sonnenuntergang ein und kann die ganze Nacht andauern.



**Kaltlufteinwirkbereich:** Wirkungsbereich der lokal entstehenden Strömungssysteme innerhalb der Bebauung (Siedlungs- und Gewerbeflächen innerhalb des Stadtgebiets gekennzeichnet, die von einem überdurchschnittlich hohen → *Kaltluftvolumenstrom* durchflossen werden; Mittelwert des Kaltluftvolumenstroms über alle Flächen im Stadtgebiet).

**Kaltluftentstehungsgebiete:** Grünflächen mit einem überdurchschnittlichen → *Kaltluftvolumenstrom*, die → *Kaltluftleitbahnen* speisen (→ *Flurwinde* zeigen in Richtung der Kaltluftleitbahnen) bzw. über diese hinaus bis in das Siedlungsgebiet reichen..

**Kaltluftleitbahnen:** Kaltluftleitbahnen verbinden → *Kaltluftentstehungsgebiete* (→ *Ausgleichsräume*) und Belastungsbereiche (→ *Wirkungsräume*) miteinander und sind somit elementarer Bestandteil des Luftaustausches. Beinhalten thermisch induzierte Ausgleichströmungen sowie reliefbedingte → *Kaltluftabflüsse*.

**Kaltluftvolumenstrom:** Vereinfacht ausgedrückt das Produkt der Fließgeschwindigkeit der → *Kaltluft*, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite). Der Kaltluftvolumenstrom beschreibt somit diejenige Menge an → *Kaltluft* in der Einheit  $m^3$ , die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer → *Kaltluftleitbahn* fließt. Anders als das → *Strömungsfeld* berücksichtigt der Kaltluftvolumenstrom somit auch Fließbewegungen oberhalb der bodennahen Schicht.

**Kelvin (K):** SI-Basiseinheit der thermodynamischen Temperatur, die zur Angabe von Temperaturdifferenzen verwendet wird. Der Wert kann in der Praxis als Abweichung in Grad Celsius ( $^{\circ}C$ ) interpretiert werden.

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

**Planungshinweiskarte:** Bewertung der bioklimatischen Belastung in Siedlungs- und Gewerbeflächen im Stadtgebiet (→ *Wirkungsräume*) sowie der Bedeutung von Grünflächen als → *Ausgleichsräume* für Nachtsituation und Ableitung von allgemeinen Planungshinweisen.

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

**Strahlungswetterlage** → *Autochthone Wetterlage*

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

**Strukturwind:** Kleinräumiges Strömungsphänomen, das sich zwischen strukturellen Elementen einer Stadt ausbildet (bspw. zwischen einer innerstädtischen → *Grünfläche* und der Bebauung entlang einer angrenzenden Straße).

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



## 1 Ziele und Analyseansatz

Im Zuge der geplanten Fortschreibung des Flächennutzungsplans und des Landschaftsplans der Verwaltungsgemeinschaft Biberach soll das Schutzgut *Klima* als ein wichtiger Aspekt berücksichtigt werden. Angesichts des weiterhin anhaltenden Bevölkerungswachstums im Verwaltungsraum einerseits als auch der im Zuge des Klimawandels erwarteten lang anhaltenden Hitzeperioden und zunehmenden Temperaturen andererseits besteht hier Handlungsbedarf. Für die räumliche Planung und vor dem Hintergrund konkurrierender Planungsziele sind flächenbezogene Fachinformationen ein wichtiges Hilfsmittel zur sachgerechten Beurteilung (vgl. Kapitel 2.4). Aus der Kenntnis des in einer Raumschaft vorherrschenden Lokalklimas und den klimatischen Funktionszusammenhängen lassen sich Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen zur Verbesserung des Klimas ableiten. Dieser Leitgedanke zielt auf die Erhaltung und Verbesserung günstiger bioklimatischer Verhältnisse und auch die Unterstützung gesundheitlich unbedenklicher Luftqualität ab.

Als Grundlage für die Analyse und Bewertung der siedlungsklimatischen Zusammenhänge dienen die modellierten meteorologischen Parameter der Klimaanalyse. Methodischer Ausgangspunkt für die Analyse der klimaökologischen Funktionen ist die Gliederung der Stadtfläche in drei Raumkategorien:

- größtenteils bioklimatisch belastete Siedlungsräume (**Wirkräume**)
- Kaltluft produzierende, unbebaute und vegetationsgeprägte Flächen (**Ausgleichsräume**)
- Luftaustauschprozesse, welche allein thermisch („Flurwindsystem“) oder thermisch-orographisch angetrieben (Kaltluftabfluss, „Berg-Talwindsystem“) sein können und teils erhebliche Entfernungen überbrückend Wirk- und Ausgleichsräumen miteinander verbinden (**Kaltluftleitbahnen**).

Aus dieser Untergliederung in Wirk- und Ausgleichsräume sowie verbindende Strukturen ergibt sich ein komplexes Bild vom Prozesssystem der Luftaustauschströmungen des Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüges, welches kartographisch in Form der **Klimaanalysekarte** abgebildet ist. Anschließend wurden in einem weiteren Schritt die Empfindlichkeiten dieser Funktionen/Räume gegenüber strukturellen Veränderungen bewertet und in Form der **Planungshinweiskarte** dargestellt. Die Umsetzung in raumspezifische klimaökologische Qualitätsziele mündet in der Forderung nach Handlungsempfehlungen. Durch konkrete Zuordnung planungsrelevanter Aussagen zu den wichtigen, das klimaökologische Prozessgeschehen steuernden Strukturelementen wie z. B. Kaltluftentstehungsflächen können Flächen benannt werden, die in ihrem Bestand gesichert und vor negativen Einflüssen geschützt werden sollen. Andererseits werden Belastungsräume mit einem Mangel an Durchlüftung identifiziert, welche mithin sanierungsbedürftig sind. Dieses Vorgehen unterscheidet sich damit von der früher verbreiteten - und sich im Wesentlichen auf die VDI Richtlinie 3787 Blatt 1 stützenden - statischen Betrachtung auf der Basis von Klimatopen, in welchen ein, den unterschiedlichen Nutzungen entsprechendes, einheitliches Mikroklima unabhängig von der Lage des Klimatops angenommen wird (VDI 2015). Die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung eingesetzte Methode bietet den Vorteil, dass das Luftaustauschgeschehen und die Verhältnisse der bodennahen Atmosphäre umfassend abgebildet werden. Somit liegt eine räumlich hochauflösende Information und Bewertung der klimaökologischen Gegebenheiten für die Nacht- Situation vor, welche für die verschiedenen Planungsebenen/-träger bereitgestellt werden. Die Klimaanalysekarte sowie die Planungshinweiskarte sind im Format DIN A0 jeweils für das gesamte Gebiet der Verwaltungsgemeinschaft (Maßstab 1: 30.000) als auch für den Ausschnitt des Verdichtungsraums Biberach (Maßstab 1: 15.000) in der Auflösung 300 dpi erstellt worden. Außerdem sind sie im Anhang im verkleinerten Format DIN A3 zu finden.

## 2 Fachliche Grundlagen

### 2.1 DER STADTKLIMAEFFEKT

Durch den anthropogenen Einfluss herrschen in einer Stadt modifizierte Klimabedingungen vor, die tendenziell mit steigender Einwohnerzahl bzw. Stadtgröße stärker ausgeprägt sind (Oke 1973). Gründe hierfür sind bspw. der hohe Versiegelungsgrad, dem ein geringer Anteil an Vegetation und natürlicher Oberfläche gegenüber steht, die Oberflächenvergrößerung durch Gebäude (Beeinträchtigung der Strömung durch höhere Rauigkeit, Mehrfachreflexion der Gebäude) sowie Emissionen durch Verkehr, Industrie und Haushalte (anthropogener Wärmefluss). Im Vergleich zum weitgehend natürlichen, un bebauten Umland führen diese Effekte im Sommer zu höheren Temperaturen und bioklimatischen Belastungen. Das Phänomen der Überwärmung kommt vor allem nachts zum Tragen und wird als *Städtische Wärmeinsel* bezeichnet.

Derartige belastenden Situationen entstehen vornehmlich bei Hochdruckwetterlagen und sind durch einen ausgeprägten Tagesgang der Strahlung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind und Bewölkung bestimmt (autochthone Wetterlagen). Durch lokal unterschiedliche Abkühlungsraten entstehen Temperatur- und damit Dichteunterschiede, die Ausgleichsströmungen hervorrufen (Flurwinde; Abbildung 1) (DFG 1988).

Unter diesen Rahmenbedingungen kommt es tagsüber zu einem konvektiven Aufsteigen warmer Luft über dem überwärmten Stadtkörper. Als Folge des entstehenden bodennahen Tiefdruckgebietes treten Ausgleichsströmungen in Form eines bodennahen Zuströmens von Luft aus dem Umland über gering bebaute Flächen hin zum Stadtgebiet auf. Das Aufsteigen von Warmluftblasen verursacht zusätzlich eine Böigkeit der bodennah nachströmenden Luft, sodass die Ausgleichsströmungen am Tage weniger sensibel auf Strömungshindernisse reagieren als in der Nacht. Während der Tagsituation führen sie aufgrund eines meist ähnlichen Temperaturniveaus im Umland nicht zum Abbau von Wärmebelastungen in den Siedlungsflächen, tragen aber zur Durchmischung der bodennahen Luftschicht und damit zur Verdünnung von Luftschadstoffen bei.

In den Nachtstunden sind autochthone Wetterlagen dagegen durch stabile Temperaturschichtungen der bodennahen Luft gekennzeichnet. Damit wird eine vertikale Durchmischung unterbunden und eine ggf. überlagerte Höhenströmung hat keinen Einfluss mehr auf das bodennahe Strömungsfeld. Während der nächtlichen Abkühlung fließt kühlere Umgebungsluft aus stadtnahen und ggf. innerstädtischen Grün- bzw. Freiflächen in das wärmere Siedlungsgebiet ein. Da der bodennahe Zustrom mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten erfolgt, kann dieser Luftaustausch nur entlang von Flächen ohne blockierende Strömungshindernisse erfolgen, insbesondere über sogenannten Kaltluftleitbahnen.

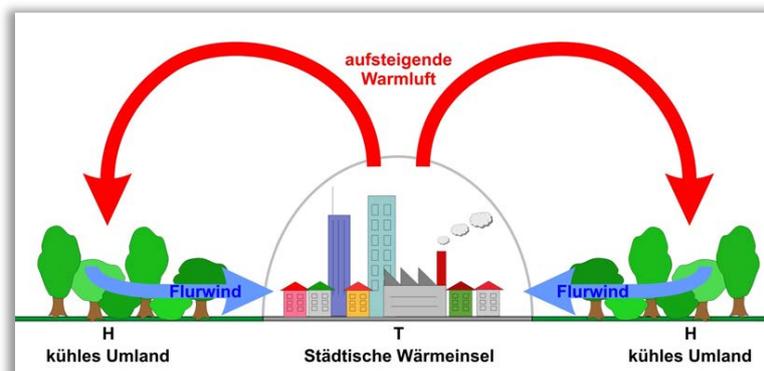


Abbildung 1 Prinzipskizze Flurwind



Neben der vom Menschen freigesetzten Abwärme, kommt es durch den hohen Versiegelungsgrad zu einer Erwärmung des verdichteten Siedlungsgebietes. Während unbebaute Flächen im Umland schnell auskühlen, erfolgt der Prozess des Abkühlens bei städtischen, versiegelten Flächen über einen längeren Zeitraum. Beton und Asphalt besitzen eine geringe Albedo<sup>1</sup>, sodass viel Strahlung absorbiert wird und sich die Flächen am Tag stark aufwärmen. In der Nacht kann die gespeicherte Wärme als langwellige Ausstrahlung an die Atmosphäre abgegeben werden (Häckel 2012, Malberg 2002). Aufgrund der starken Versiegelung und geringeren Wasserverfügbarkeit ist der Energieverbrauch zur Verdunstung herabgesetzt, sodass der latente Wärmestrom in der Stadt geringer, der fühlbare Wärmetransport dagegen höher ausfällt. Beide Aspekte haben höhere Temperaturen des Stadtgebiets im Vergleich zum Umland zur Folge (Schönwiese 2008), sodass deren Bevölkerung einer größeren thermischen Belastung ausgesetzt ist.

Verkehr, Industrie und Hausbrand bewirken nicht nur einen anthropogenen Wärmefluss, sondern führen auch zu vermehrten Emissionen. Entsprechend weist die Luft in der Stadt erhöhte Verunreinigungen durch Schadstoffe und Staub auf, die sich negativ auf die Gesundheit des Menschen auswirken können. Da die Windgeschwindigkeiten in der Stadt in der Regel herabgesetzt sind, kann kein ausreichender Luftaustausch stattfinden, um die Luftqualität merklich zu verbessern (Kuttler 2009).

Dies erklärt die Notwendigkeit der Betrachtung des Stadtklimas, insbesondere da ein Großteil der Bevölkerung in dicht besiedelten Gebieten wohnt und demzufolge Belastungen so gering wie möglich gehalten werden sollten, um gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse sicherzustellen.

## **2.2 METEOROLOGISCHE UND GEOGRAPHISCHE BEDINGUNGEN IM UNTERSUCHUNGSRAUM**

### **2.2.1 GEOGRAPHISCHE LAGE DES UNTERSUCHUNGSGEBIETS**

Das Gebiet der Verwaltungsgemeinschaft Biberach liegt im nördlichen Oberschwaben, zwischen nördlichem Alpenvorland und Schwäbischer Alb. Das Relief des Gebiets ist durch flachwellige Altmoränen geprägt. Im Untersuchungsgebiet erstreckt sich die Höhenlage zwischen ca. 500 m und ca. 750 m ü. NN. Die meisten Siedlungsbereiche liegen in den niedrigeren Lagen entlang der Läufe von Riß, Umlach, Rotbach oder Dürnach, auf höchstens 550 m über Normalnull (ü. NN.) (Abbildung 2). Im Südosten des Untersuchungsgebietes steigt das Gelände auf fast 750 m ü. NN. an.

---

<sup>1</sup> Rückstrahlvermögen einer Oberfläche

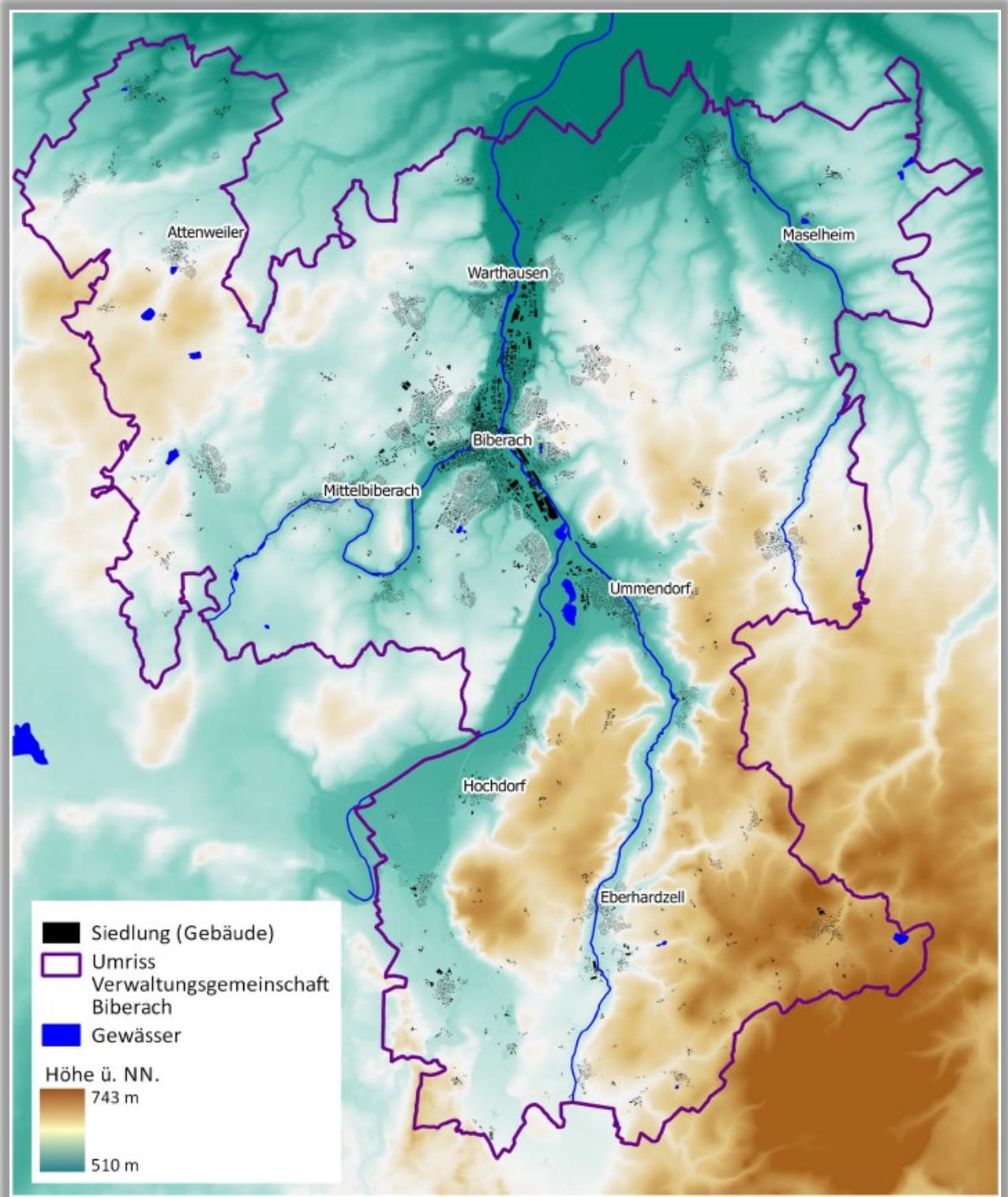


Abbildung 2 Relief des Untersuchungsgebiets

### 2.2.2 KLIMATISCHE BEDINGUNGEN

Biberach liegt in einer gemäßigten Klimazone. Sowohl ozeanisch als auch kontinental geprägte Einflüsse spielen eine Rolle. Die Witterung wird vornehmlich von Tiefdruckgebieten mit eingelagerten Zwischenhochs bestimmt, sodass wechselnde Wetterlagen auftreten und längere Hochdruckperioden mit beständigem Wetter eher selten sind. Aufgrund des abwechslungsreichen Reliefs herrschen kleinräumig sehr unterschiedliche klimatische Bedingungen. So ist die generell in diesen Breitengraden in Mitteleuropa



vorherrschende Windrichtung aus West- Südwest in Biberach leicht abgeändert in die Hauptwindrichtung Süd- Südwest (Abbildung 3).

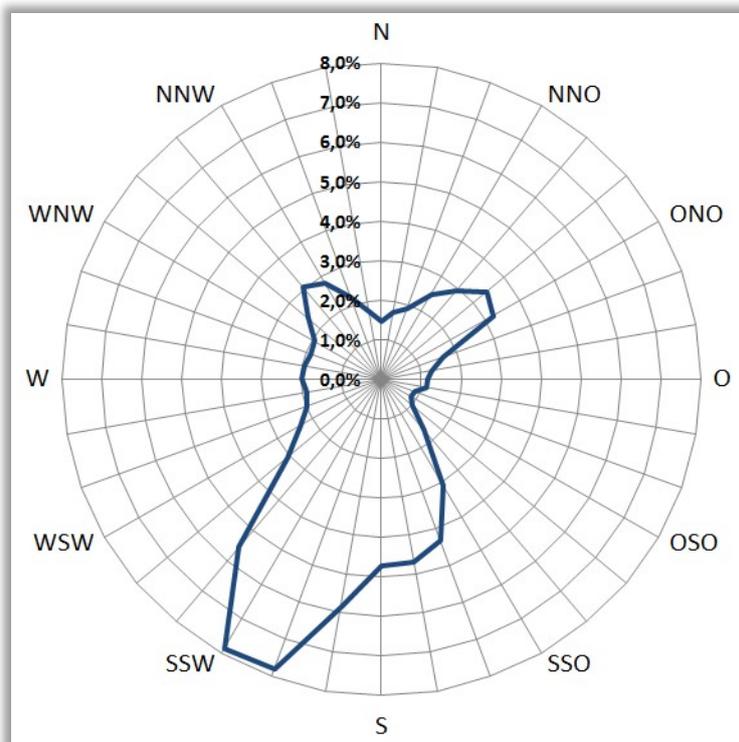


Abbildung 3 Windrichtungsverteilung für den Zeitraum 2008 - 2017 für die Messstation Biberach (LUBW, 2018)

Das vorliegende Gutachten untersucht die Strömungsverhältnisse einer autochthonen Sommernacht. Diese ist mit der *stark stabilen* Schichtung zu vergleichen, jedoch wird kein übergeordneter Wind berücksichtigt, d.h. das Strömungsfeld wird durch die lokalen Gegebenheiten hervorgerufen (Flurwinde, Kaltluftabflüsse). Stadtplanerische Maßnahmen vermögen am ehesten das Prozessgeschehen während autochthoner Wetterlagen zu beeinflussen, sodass deren Kaltlufthaushalt Grundlage für die Ausweisung von Kaltluftleitbahnen ist. Übergeordnete Strömungen verhindern die Ausbildung eines autochthonen Klimas, wirken aber ebenfalls auf das Stadtklima und können in Bezug auf die Luftreinhaltung eine wichtige Rolle bei der Durchlüftung einer Stadt spielen. Planerisch lassen sich diese weniger beeinflussen, jedoch sollte dafür gesorgt werden, dass Belüftungsachsen aus den Hauptanströmungsrichtungen – in Biberach insbesondere aus Süden bis Südwesten (Abbildung 3) – in das Stadtgebiet bestehen bleiben.

### 2.3 REGIONALE KLIMAANALYSE DONAU – ILLER

Die Regionale Klimaanalyse Donau – Iller aus dem Jahre 2015 wurde als Bewertungsgrundlage für den Regionalplan und die kommunale Bauleitplanung erstellt (Regionalverband Donau – Iller, 2015). Mit Hilfe des Kaltluftabflussmodells KLAM\_21 wurde unter Einbeziehung des Reliefs und der Landnutzung die Durchlüftungssituation der gesamten Region analysiert. Abbildung 4 zeigt den Ausschnitt aus der Klimaanalysekarte für den Bereich Biberach. Leitbahnen und Strömungsmuster stimmen sehr gut mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung überein (vgl. Kapitel 4 und 5).

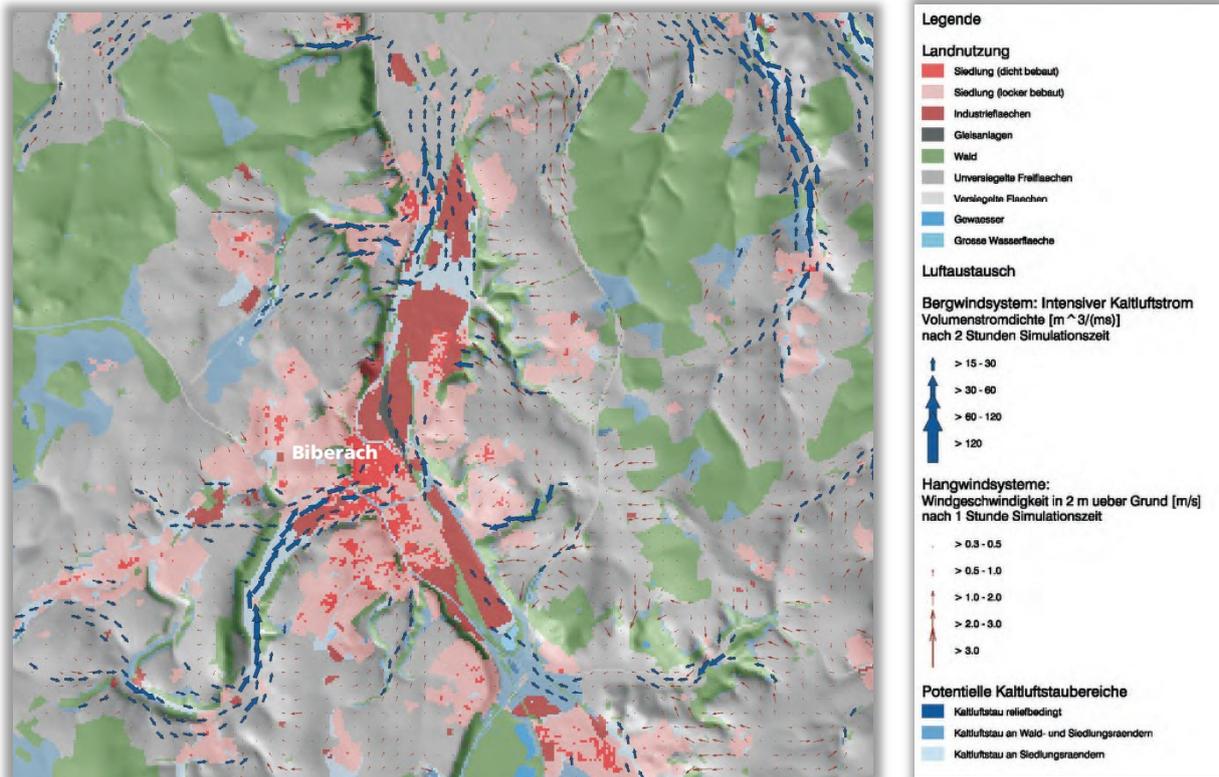


Abbildung 4 Ausschnitt aus der Analysekarte der Regionalen Klimaanalyse Donau – Iller (Regionalverband Donau – Iller, 2015)

## 2.4 EXKURS: PLANUNGSRECHTLICHE GRUNDLAGEN

Mit dem *Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes bei der Entwicklung in den Städten und Gemeinden* im Jahr 2011 sind die Belange von Klimaschutz und Klimaanpassung in der Bauleitplanung gestärkt (Novellierung des Baugesetzbuchs (BauGB)) und nun ausdrücklich zu einer Aufgabe der Bauleitplanung nach § 1 (5) BauGB erklärt worden: „Die Bauleitpläne sollen [...] dazu beitragen, eine menschenwürdige Umwelt zu sichern, die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen und zu entwickeln sowie den **Klimaschutz und die Klimaanpassung**, insbesondere auch in der Stadtentwicklung, zu fördern [...].“ Zusätzlich heißt es in § 1a (5) BauGB: „Den 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.“

In **Flächennutzungsplänen** (FNP; vorbereitende Bauleitplanung) können z.B. Anlagen, Einrichtungen und sonstige Maßnahmen, die der Anpassung an den Klimawandel dienen, dargestellt werden (§ 5 (2) S. 2c BauGB). So bietet sich durch den FNP bspw. die Möglichkeit der Sicherung von Freiflächen, die der Kaltluftproduktion dienen, sowie von Frischluftbahnen und Ventilationsbahnen. Im FNP wird vor allem das mesoskalige Klima betrachtet (räumliche Auflösung der Karten ca. 25 m bis 100 m), während in **Bebauungsplänen** (B-Plan; verbindlichen Bauleitplanung) das Mikroklima in den Vordergrund rückt (ca. 2 m bis 10 m; VDI 2015). Nach § 8 (2) sind B-Pläne aus dem FNP zu entwickeln, sodass die dort getroffenen Regelungen berücksichtigt werden müssen. B-Pläne bieten u.a. über folgende Festsetzungen die Möglichkeit stadtklimatischen Anforderungen zu begegnen (vgl. § 9 (1) BauGB):

- Gebäudekörperstellung und Maß der baulichen Nutzung (u.a. Grundflächenzahl, Geschoßflächenzahl, Zahl der Vollgeschosse bzw. Höhe der baulichen Anlage), jeweils auch mit dem Ziel klimarelevante Luftströmungen zu unterstützen und Belüftungsachsen zu sichern



- Öffentliche und private Grünflächen (Parkanlagen, Kleingärten, Sport-, Spielplätze, Friedhöfe, etc.)
- Begrünung von Straßenzügen, Parkplätzen und Gleistrassen
- Anpflanzen bzw. Erhalt von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen
- Dach- und Fassadenbegrünung

Ein weiteres Steuerungsinstrument ist die Erstellung von **Grünordnungsplänen** (GOP). Eine rechtliche Verpflichtung zur Aufstellung von GOP gibt es nicht, doch können ihre Inhalte durch die Integration in B-Pläne Rechtsverbindlichkeit erlangen. GOP ergeben sich aus dem Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG), in dem auf die klimatische Wirkung der Landschaft verwiesen wird: „Zur dauerhaften Sicherung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts 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 [...]“ (§ 1 (3) S. 4 BNatSchG).

Nach § 11 (1) BauGB können Gemeinden insbesondere zur Vorbereitung und Durchführung städtebaulicher Maßnahmen durch einen Vertragspartner **städtebauliche Verträge** schließen. Diese können ein geeignetes Mittel zur Umsetzung von Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen in der Bauleitplanung sein, sofern sie frühzeitig in dem öffentlich-rechtlichen Vertrag vereinbart werden. Im Zuge der **Stadtsanierung** sind auch **informelle Planungsinstrumente** wie ein **städtebaulicher Rahmenplan** denkbar (§ 140 BauGB), um städtebauliche Vorgaben und Ziele zum Klima zu definieren.

Mit der anstehenden Novellierung des *Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung* (UVPG) finden die Belange des Klimaschutzes und der Klimaanpassung verstärkt Eingang in die **Umweltverträglichkeitsprüfung** (UVP) als übergeordnetes umweltpolitisches Instrument.



## 3 Methode der modellgestützten Stadtklimaanalyse

### 3.1 DAS STADTKLIMAMODELL FITNAH 3D

Die vorliegende Klimaanalyse verwendet das mesoskalige Modell FITNAH, mit dessen Hilfe die relevanten meteorologischen Variablen numerisch berechnet und in einem entsprechend zu definierenden Raster repräsentativ dargestellt werden. Die Grundlagen dieses Modells sowie eine detaillierte Beschreibung von FITNAH ist der entsprechenden Fachliteratur zu entnehmen (Groß 1993). Nachfolgend werden lediglich die wichtigsten Rahmenbedingungen erläutert. Die Modellergebnisse liegen als punkthafte Daten in einem regelmäßigen Gitter vor. Diese Werte werden im GIS per zonaler Statistik auf geeignete Referenzflächen transformiert (vgl. Kapitel 5). Für eine Bewertung und Kategorisierung der Ergebnisse bedarf es einer Standardisierung nach geltenden Richtlinien (vgl. Kapitel 6.1).

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 mikro- und mesoskaligen 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 Stunden. Unter Verwendung des üblichen Einteilungsschemas meteorologischer Phänomene werden diese in die Meso- und Mikroskala eingeordnet. Beispiele für mesoskalige Phänomene sind der Einfluss orographischer Hindernisse auf den Wind wie Kanalisierung und Umströmungseffekte, Land-See-Winde, Flurwinde, sowie das Phänomen der urbanen Wärmeinsel. Beispiele für mikroskalige Effekte sind u. a. kleinräumige Düseneffekte in Straßenschluchten, Verwirbelungen in Innenhöfen und Luv-Lee-Effekte an linienhaften Gehölzstrukturen (Hecken) aber auch die klimaökologischen Auswirkungen von Begrünungsmaßnahmen.

#### **GRUNDGLEICHUNGEN DES MESOSKALIGEN MODELLS FITNAH**

Das mesoskalige Modell FITNAH ist in der Lage aufwändige und oft wenig repräsentative Messkampagnen zu ersetzen, indem es physikalisch fundiert die räumlichen oder zeitlichen Lücken zwischen bekannten und zur Modell-Kalibrierung verwendeten Messungen schließen kann. Dazu berechnet es Wind- und Temperaturfelder sowie weitere meteorologische Größen in ihrer raumfüllenden Struktur.

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

Je nach Problemstellung und gewünschter Anwendung kann dieses Grundgerüst noch erweitert werden um z. B. die Effekte von Niederschlag auf die Verteilung der stadtklimatologisch wichtigen Größen zu berücksichtigen. In diesem Falle müssen weitere Bilanzgleichungen für Wolkenwasser, Regenwasser und feste Niederschlagspartikel gelöst werden. Die Lösung des Gleichungssystems erfolgt in einem numerischen Raster. Die Rasterweite muss dabei so fein gewählt werden, dass die lokalklimatischen Besonderheiten des



Untersuchungsraumes vom mesoskaligen Modell erfasst werden können. Je feiner das Raster gewählt wird, umso mehr Details und Strukturen werden aufgelöst.

Allerdings steigen mit feiner werdender Rasterweite die Anforderungen an Rechenzeit und die benötigten Eingangsdaten. Hier muss ein Kompromiss zwischen Notwendigkeit und Machbarkeit gefunden werden. In der vorliegenden Untersuchung beträgt die für die Modellierung mit FITNAH 3D verwendete räumliche Maschenweite 20 m. Die vertikale Gitterweite ist dagegen nicht äquidistant d. h. die jeweilige vertikale Ausdehnung von sich überlagernden Rasterzellen ist variabel. So sind hier die Rechenflächen in der bodennahen Atmosphäre besonders dicht angeordnet, um die starke Variation der meteorologischen Parameter möglichst realitätsnah zu erfassen. Die untersten Rechenflächen liegen in Höhen von 0, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 80 und 100 m über Grund. Nach oben hin wird der Abstand ( $\Delta z$ ) zunehmend größer, wobei die Modellobergrenze in einer Höhe von 3000 m über Grund liegt. In dieser Höhe wird angenommen, dass die am Erdboden durch Orographie und Landnutzung verursachten Störungen abgeklungen sind. Die Auswertungen der FITNAH-Modellierung beziehen sich unter der gegebenen Fragestellung auf das bodennahe Niveau der Modellrechnung (2 m über Grund = Aufenthaltsbereich des Menschen).

### 3.2 PARAMETRISIERUNG DER EINGANGSVARIABLEN

Das mesoskalige Modell FITNAH berechnet alle meteorologischen Variablen als repräsentative Werte für das entsprechende Raster. Mit der Rasterweite wird somit auch die Dimension der räumlich noch auflösbaren Strukturen festgelegt. Typische Rasterweiten sind 25 m x 25 m bis 1.000 m x 1.000 m. Sie decken damit in etwa den Maßstabsbereich von 1:20.000 bis 1:100.000 ab und entsprechen somit den Planungsebenen der Flächennutzungsplanung bzw. der Regionalplanung. Sind vorhandene Strukturen von ihrer räumlichen Ausprägung her kleiner als die Rasterweite, ist das Modell nicht in der Lage diese zu berechnen (beispielsweise können einzelne Wolken in globalen Klimamodellen nicht berechnet werden). Ist nun aber bekannt, dass solche vom Modell nicht erfassbaren Strukturen relevante Auswirkungen auf die lokalklimatischen Größen haben, die berechnet werden sollen, so müssen derartige Strukturen gleichwohl 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 derart fein aufgelösten Strukturen, welche bei stadtklimatischen Fragestellungen berücksichtigt werden müssen, sind einzelne Gebäude und der Baumbestand. Diese sind in ihrer räumlichen Ausdehnung so klein, dass sie üblicherweise – und insbesondere bei der vorliegenden landesweiten Untersuchung - durch das gewählte Rechengitter nicht erfasst werden können und somit parametrisiert werden müssen. In bebautem Gelände wirken einzelne Gebäude als Strömungshindernis und verzögern diese. Lokal kann es zwar durch Düseneffekte auch zu einer Beschleunigung des Windes kommen, in der summarischen Betrachtung über eine Gebäude beinhaltende Rasterzelle überwiegt indes die Verlangsamung der Strömung. Gleichzeitig wird durch die Vielzahl der unterschiedlichen Strömungshindernisse die Turbulenz verstärkt. Darüber hinaus wird auch die Temperaturverteilung in starkem Maße modifiziert, da die in die bodennahe Atmosphäre ragenden Baukörper bis zur mittleren Bauhöhe in einem Wärmeaustausch mit der Umgebung stehen. Die Temperatur wird durch die gebäudespezifischen Parameter wie Gebäudehöhe, Überbauungsgrad oder anthropogen Abwärme bestimmt und damit das Temperaturfeld der bodennahen Atmosphäre bis in die mittlere Höhe der Bebauung modifiziert (Grundlagen und Beschreibung: Groß 1989).

Diese Effekte können in Ermangelung einer detaillierten Erfassung jedes einzelnen Gebäudes 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 einer jeden Rasterzelle (Abbildung 5). Das Rastervolumen kann folglich nur noch zu einem durch die Porosität definierten Anteil durchströmt werden, wobei die Porosität innerhalb des Raster-Körpers als gleichmäßig verteilt angenommen wird.

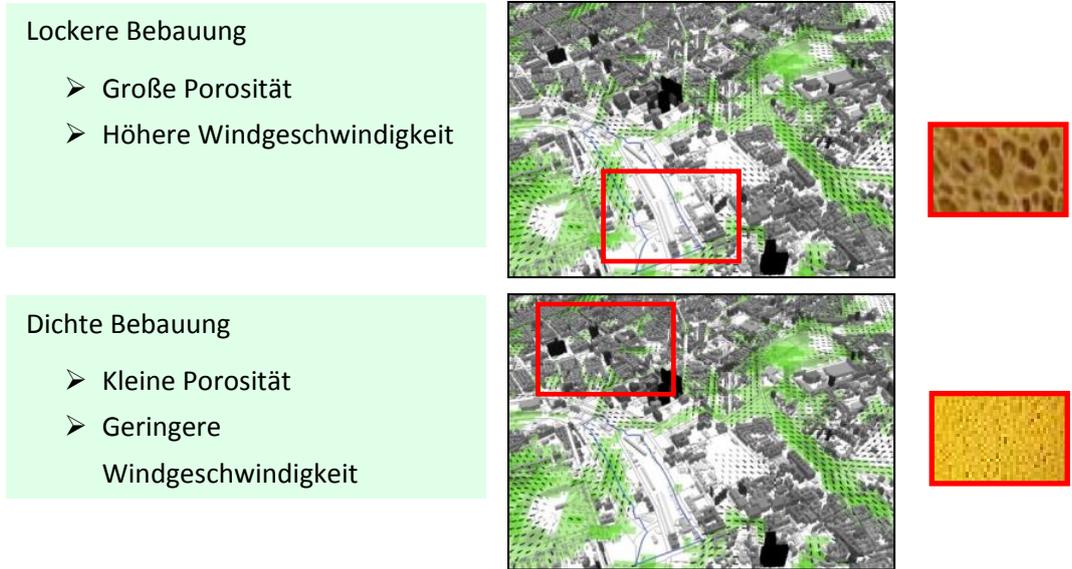


Abbildung 5 Einfluss der Bebauungsdichte auf die Strömungsgeschwindigkeit

Eine Strömung ist nur noch in den offenen Poren möglich, was für die mittlere Strömungsgeschwindigkeit eine deutliche Verlangsamung aufgrund von Stauwirkungen und Reibung bedeutet. Ein vorhandener Baumbestand kann über die Baumhöhe, die Bestandsdichte und die Baumart charakterisiert werden. Auch diese Bestandsstrukturen sind in der Regel so klein, dass sie nicht vom Raster des Modells aufgelöst werden können und damit parametrisiert werden müssen. Eine solche Parametrisierung muss in der Lage sein, die Windberuhigung im Bestand, die Erhöhung der Turbulenz im oberen Kronenraum und die nächtliche Abkühlung bzw. die mittägliche Erwärmung im oberen Kronendrittel in Übereinstimmung mit Beobachtungen zu erfassen (Abbildung 6).

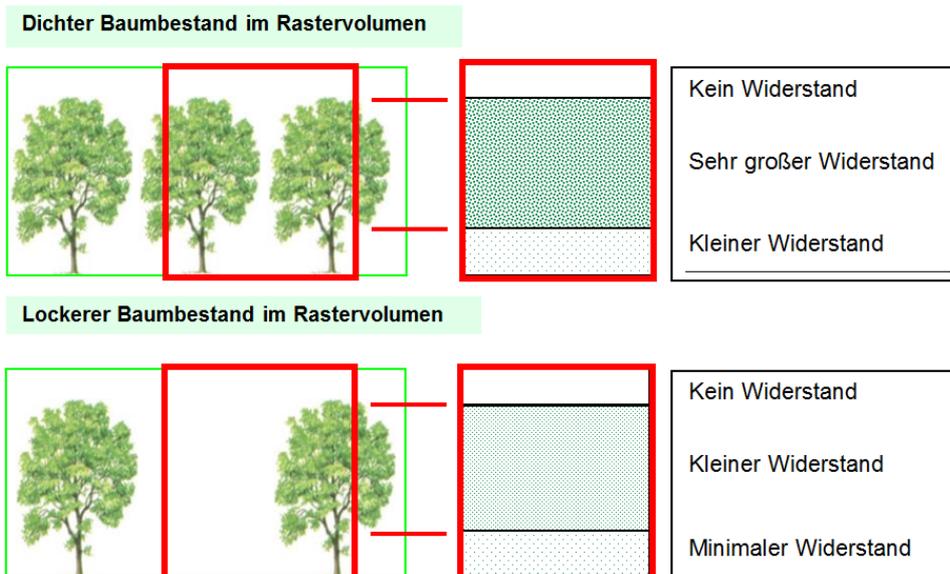


Abbildung 6 Einfluss der Vegetation auf die Durchströmbarkeit einer Rasterzelle



Bei FITNAH werden zusätzliche Terme in das Gleichungssystem eingeführt, die zum einen über einen Widerstandsterm die Modifizierung des Windfeldes gewährleistet und zum anderen den Strahlungshaushalt im Bereich eines Baumbestandes modifiziert (Grundlagen und Beschreibung: Groß 1993). 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.

### 3.3 BETRACHTETE WETTERLAGE

Die durchgeführte numerische Simulation mit FITNAH 3D legt eine autochthone Wetterlage zugrunde. Eine solche Witterung ist durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwach überlagernden synoptischen Wind gekennzeichnet, sodass sich die im Fokus stehenden lokalklimatischen Besonderheiten einer Stadt besonders gut ausprägen. Entsprechend wurden die großräumigen synoptischen Rahmenbedingungen folgendermaßen festgelegt:

- ♦ Lufttemperatur 20 °C über Freiland um 21:00 Uhr
- ♦ Relative Feuchte der Luftmasse 50 %
- ♦ Bedeckungsgrad 0/8 (d. h. wolkenloser Himmel)
- ♦ Kein überlagernder geostrophischer Wind

Die vergleichsweise geringen Windgeschwindigkeiten während der austauscharmen Wetterlage bedingen einen herabgesetzten Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht. Bei gleichzeitig hoher Ein- und Ausstrahlung können sich somit lokal bioklimatische Belastungsräume ausbilden. Diese Wettersituation stellt damit ein „Worst-Case“-Szenario dar. Charakteristisch für diese (Hochdruck-)Wetterlage ist die Entstehung von Kaltluftströmungen (Flurwinde), die durch den Temperaturgradienten zwischen kühlen Freiflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetrieben werden und zu einem Abbau der Belastungen beitragen.

In Abbildung 7 sind schematisch die für eine austauscharme sommerliche Wetterlage simulierten tageszeitlichen Veränderungen der Temperatur und Vertikalprofile der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für die Landnutzungen Freiland, Stadt und Wald dargestellt. Hinsichtlich des täglichen Temperaturverlaufs zeigt sich, dass Freiflächen wie z.B. Wiesen ähnlich hohe Temperaturen zur Mittagszeit aufweisen können wie bebauten Flächen, hingegen ist die nächtliche Abkühlung der Siedlungsflächen vor allem durch die vorhandenen Wärme speichernden Materialien deutlich herabgesetzt. Bei den durch niedrige Vegetation (u. a. Wiesen) geprägten Grünflächen trägt der Mangel an Verschattung zum hohen mittäglichen Temperaturniveau bei, während indes nachts aufgrund des geringen Bodenwärmestroms und der fehlenden Horizontüberhöhung (kaum Gegenstrahlung) die Abkühlung am stärksten ist. Waldflächen weisen im Vergleich der dargestellten Nutzungstypen eine mittlere Ausprägung mit einer geringeren Tages-Amplitude auf. Sowohl die nächtliche Auskühlung als auch die mittägliche Erwärmung werden durch das Kronendach bezogen auf das 2 m-Niveau gedämpft. Zudem werden auch hinsichtlich der Windgeschwindigkeiten die Einflüsse von Bebauung und Vegetationsstrukturen im abgebildeten Vertikalprofil deutlich.

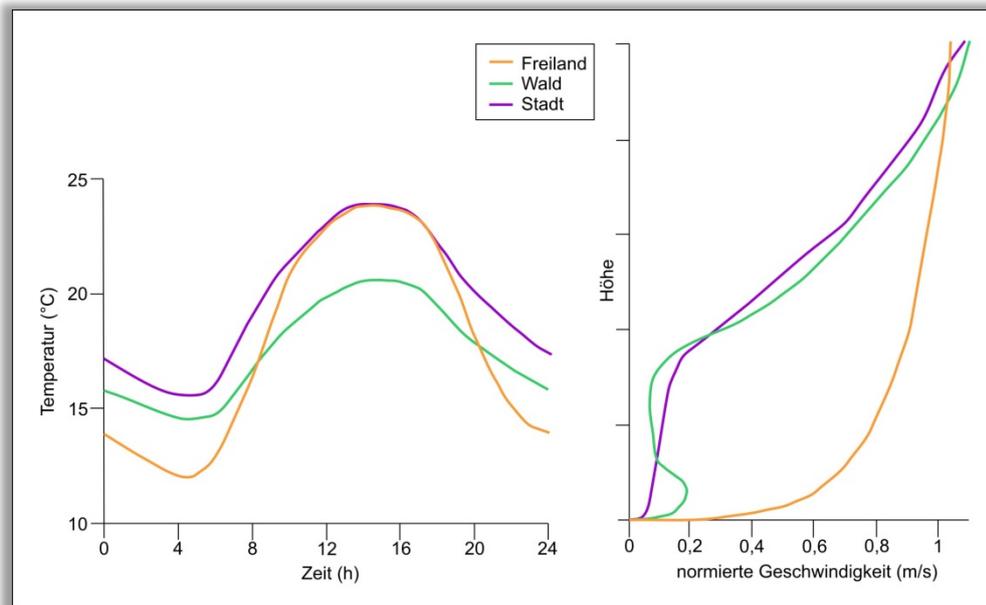


Abbildung 7 Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit über verschiedenen Landnutzungen

### 3.4 EINGANGSDATEN FÜR DIE MODELLRECHNUNG

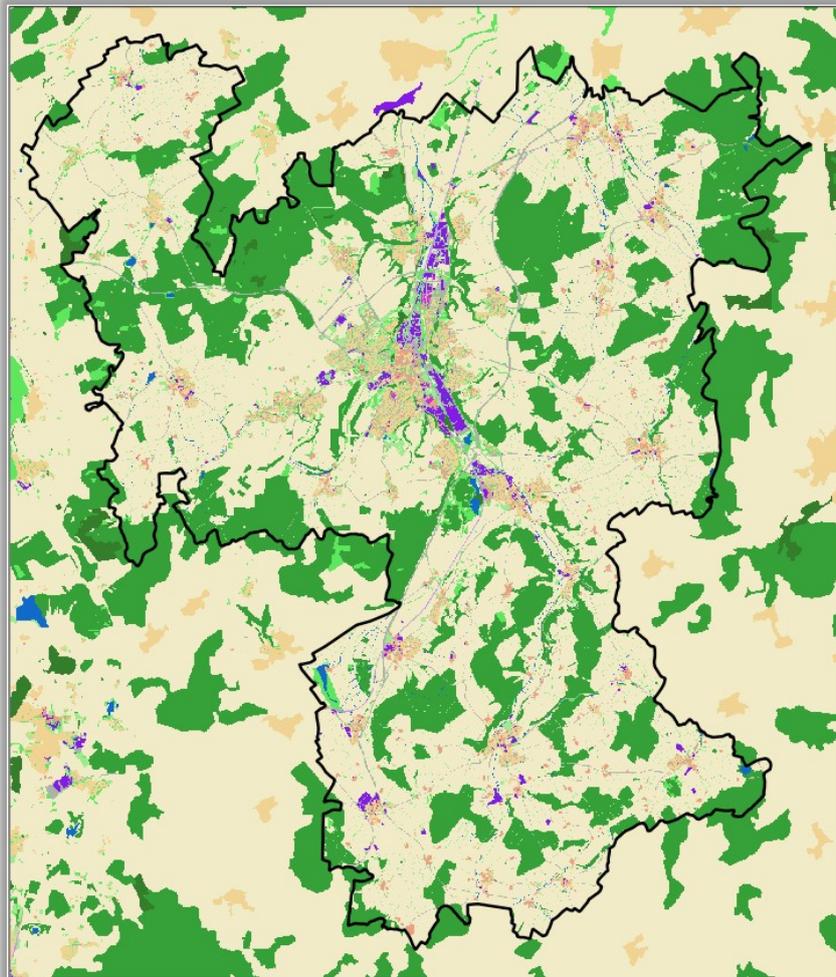
Die Nutzungsstruktur und die Geländehöhe sind die zentralen Eingangsdaten für die Klimamodellierung, da über die Oberflächengestalt, die Höhe der jeweiligen Nutzungsstrukturen sowie deren Versiegelungsgrad das Strömungs- und Temperaturfeld entscheidend beeinflusst wird. Die hierfür erforderlichen Geodaten wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt und entstammen den ALKIS-Daten (Nutzung) bzw. dem digitalen Geländemodell (DGM) in 1m Auflösung. Ausgehend von einer Fläche der Verwaltungsgemeinschaft von ca. 300 km<sup>2</sup> wurde ein Untersuchungsgebiet mit den Abmessungen 23 x 27 km gebildet, das dementsprechend eine Fläche von 621 km<sup>2</sup> umfasst. Die Modellierung der meteorologischen Parameter erfolgte für 1.552.500 Rasterzellen mit einer Zellengröße von jeweils 20 m x 20 m.

Die für die Klimaanalyse notwendigen orographischen (reliefbezogenen) Eingangsparameter wurden auf Grundlage eines digitalen Geländehöhenmodells des Landes mit einer Auflösung von 1 m abgeleitet.

Von zentraler Bedeutung für die Klimamodellierung ist die möglichst exakte Abbildung der Nutzungsstruktur. Nutzungsbedingte Veränderung des örtlichen Windfeldes und des Wärmehaushaltes sind die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Ausbildung eines gegenüber dem Umland veränderten Stadtklimas. Zahlreiche der vielen stadtklimatologisch relevanten Parameter lassen sich daher über die Strukturhöhe, die Bebauungsdichte und den Grad der Oberflächenversiegelung einer Fläche abschätzen. Die Ausprägung dieser Einflussgrößen ist nutzungsabhängig und nimmt bei gleichen Nutzungstypen ähnliche Werte an. Somit ermöglicht die Analyse der Nutzungen im Untersuchungsgebiet eine Abgrenzung von Gebieten ähnlicher stadtstruktureller Ausstattung und der damit einhergehenden stadtklimatischen Charakteristika. Hier wurde auf die ALK-Daten der Verwaltungsgemeinschaft Biberach zurückgegriffen. Auf dieser Grundlage wurden 12 Nutzungsklassen definiert, die eine unter klimatischen Gesichtspunkten sinnvolle Differenzierung der Oberflächenstruktur erlauben (Tabelle 1). Da auf Maßstabsebene einer mesoskaligen Klimamodellierung keine Einzelgebäude aufgelöst werden, kommen für die Einordnung der Strukturhöhe nutzungsklassifiziert vorliegende Literaturdaten (u. a. MOSIMANN et al. 1999) zum Einsatz, die auf empirisch gewonnenen Untersuchungsergebnissen aus mehreren deutschen Städten beruhen. Der



Versiegelungsgrad wurde ebenfalls mittels der Landnutzungsklassen parametrisiert. Aus der Verknüpfung der unterschiedlichen Quellen ist somit eine aktuelle Informationsebene zur Realnutzung, Strukturhöhe und Oberflächenversiegelung vorhanden. Eine Bilanzierung der Nutzungskategorien für das Untersuchungsgebiet zeigen Abbildung 9 und Abbildung 8. Den deutlich größten Flächenanteil weist mit etwa 63 % Freiland auf, gefolgt von Wald- und Gehölzflächen mit ca. 28 %. Der Anteil bebauter Fläche im Untersuchungsgebiet beträgt insgesamt nur etwa 5 %.



- Flächentyp
- 1 Zentrumsbebauung
  - 2 Block- und Blockrandbebauung
  - 3 Industrie- und Gewerbefläche
  - 4 Zeilen- und Hochhausbebauung
  - 5 Einzel- und Reihenhausbebauung
  - 6 Ebenerdig versiegelt / Straßenraum
  - 7 Gleisfläche
  - 8 Baulich geprägte Grünfläche
  - 9 Freiland (Wiese, Acker etc.)
  - 10 Gehölz
  - 11 Wald
  - 12 Gewässer

Abbildung 8 Nutzungsstruktur im Untersuchungsgebiet



Tabelle 1 Nutzungskategorien der Klimamodellierung

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

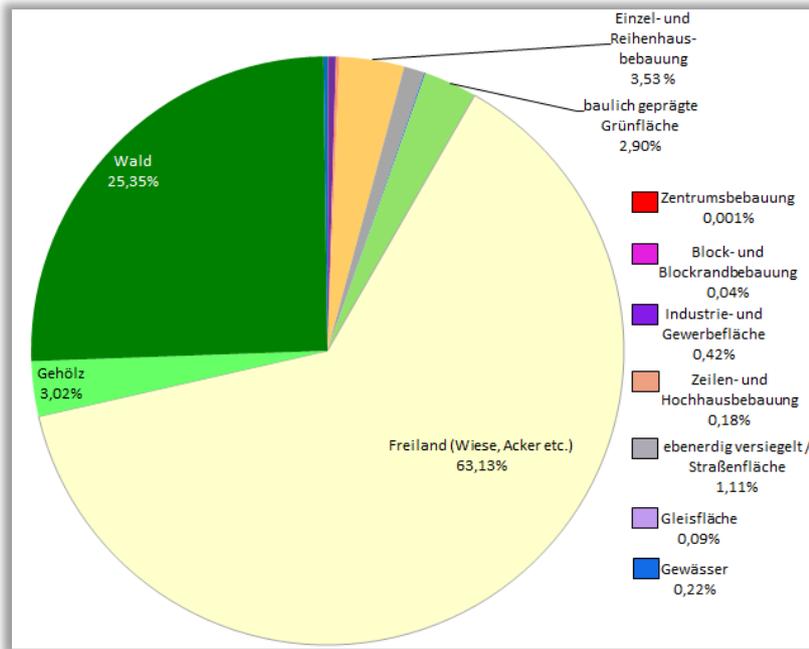


Abbildung 9 Anteile der FITNAH-Nutzungskategorien im Untersuchungsgebiet in Prozent

Sämtliche Eingangsdaten wurden anhand aktueller Luftbilder (Bezugsjahr 2016) abgeglichen und auf Plausibilität geprüft. Aktuell rechtskräftige, aber noch nicht umgesetzte Bebauungspläne wurden in Absprache mit dem Auftraggeber eingearbeitet.

**ABGRENZUNG UND BEWERTUNG DER KLIMAÖKOLOGISCH WIRKSAMEN NUTZUNGSSTRUKTUREN**

Ziel der Eingangsdatenaufbereitung ist es, aus den flächenhaft vorliegenden Nutzungsinformationen gerasterte Modelleingangsdaten mit einer Maschenweite von 20 m zu erzeugen. Aus diesen gerasterten Repräsentationen der Eingangsvariablen ergeben sich die in gleicher Weise aufgelösten Modellergebnisse in Form rasterweise berechneter Klimaparameter (Abbildung 10). Qualifizierende Aussagen zur bioklimatischen Bedeutung bestimmter Areale können sich allerdings nicht auf einzelne Rasterzellen beziehen. Hierfür muss eine Zonierung des Untersuchungsraumes in klimatisch ähnliche Flächeneinheiten erfolgen. Diese sollten in der Realität nachvollziehbar und administrativ oder nutzungstypisch abgrenzbar sein.

Um die Ausprägung der Klimaparameter auf planungsrelevante und maßstabsgerechte Einheiten zu übertragen, werden den Referenzflächen der verwendeten digitalen Nutzungsinformationen die relevanten Klimaparameter wie z.B. Lufttemperatur oder Kaltluftvolumenstrom zugeordnet. Dafür werden die Rechenergebnisse aller Rasterzellen, die von einer bestimmten Fläche überdeckt werden, mit Hilfe zentraler Analysen zusammengefasst und statistisch ausgewertet. Auf diese Weise erhält jede Fläche eine umfassende Statistik aller zugehörigen Klimaparameter, die u.a. den Mittelwert der flächenspezifischen Werteausprägungen umfasst.

Aufgrund dieser Vorgehensweise liegen die Ergebnisse der Klimaanalyse in zweifacher Form vor: Zum einen als hochaufgelöste rasterbasierte Verteilung der Klimaparameter im räumlichen Kontinuum (vgl. Kapitel 4), zum anderen als planungsrelevante und maßstabsgerechte, räumlich in der Realität abgrenzbare Flächeneinheiten (vgl. Kapitel 5 und 6). Auf diese Weise bleibt, in Ergänzung zur abstrahierten Darstellung



der klimatischen Funktionszusammenhänge (als Flächen- und Beziehungstypen in den Synthesekarten), die flächeninterne Heterogenität der Klimaparameter als Detailinformation jederzeit abrufbar.

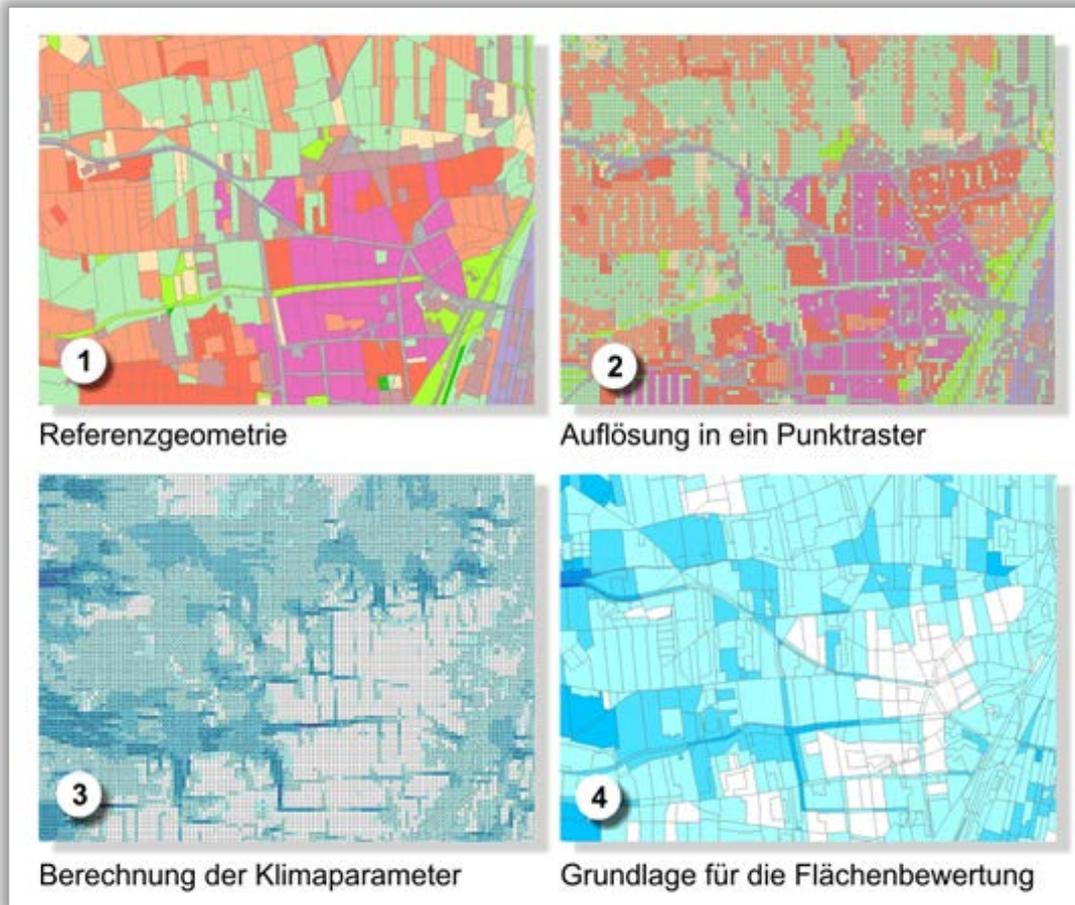


Abbildung 10 Schema der Wertezuordnung zwischen Flächen- und Punktinformation



## 4 Modellergebnisse ausgewählter Parameter

### 4.1 VORGEHENSWEISE

Im Folgenden werden die rasterbasierten Modellergebnisse der Parameter Lufttemperatur, Kaltluftströmungsfeld und Kaltluftvolumenstrom beschrieben. Sie basieren auf einer räumlichen Auflösung von 20 m (pro Rasterzelle ein Wert) und gelten für den Aufenthaltsbereich des Menschen (in 2 m ü. Gr.) sowie eine autochthone Sommerwetterlage (vgl. Kapitel 3.3).

Auslöser der ermittelten Austauschprozesse sind die Temperaturunterschiede zwischen vergleichsweise warmen Wirkungsräumen und kühleren Ausgleichsräumen. Wirkungsräume werden im Folgenden auch als Siedlungsräume bezeichnet, und umfassen alle Wohn- und Gewerbeflächen, entsprechend den Nutzungskategorien 1 bis 5 (vgl. Tabelle 1). Ausgleichsräume sind die im Folgenden auch als Grünflächen bezeichneten, außerhalb von Siedlungen gelegenen, vegetationsgeprägten, weitgehend unversiegelten Flächen sowie größere innerorts gelegene Grünflächen wie Parks, Landschaftsgärten oder Stadtwälder (Nutzungskategorien 8 bis 11, vgl. Tabelle 1).

Flächenbezogene Analysen werden im anschließenden Kapitel zur Klimaanalysekarte vorgenommen.

### 4.2 NÄCHTLICHES TEMPERATURFELD

#### ALLGEMEINES

Der Tagesgang der Lufttemperatur ist direkt an die Strahlungsbilanz eines Standortes gekoppelt und zeigt daher i.d.R. einen ausgeprägten Abfall während der Abend- und Nachtstunden. Kurz vor Sonnenaufgang des nächsten Tages wird das Temperaturminimum erreicht. Das Ausmaß der Abkühlung kann, je nach den meteorologischen Verhältnissen, der Lage des Standorts und den landnutzungsabhängigen physikalischen Boden- bzw. Oberflächeneigenschaften, große Unterschiede aufweisen sodass sich bereits auf kleinem Raum ein differenziertes Temperaturfeld mit großen Temperaturabweichungen einstellen kann. Besonders auffällig ist das thermische Sonderklima der Siedlungsräume („städtische Wärmeinsel“), dessen gegenüber dem Umland modifizierten klimatischen Verhältnisse sich auf einige wesentliche Faktoren zurückführen lassen. Hierzu gehören:

- die erhöhte Absorption der solaren Strahlung durch versiegelte Oberflächen im Vergleich zu Grünflächen
- die herabgesetzte Verdunstung durch den hohen Versiegelungsgrad und die direkte Einleitung des Niederschlagswassers in die Kanalisation oder die Vorflut,
- die über die vermehrte Emission von Gasen und Aerosolen zugunsten eines langwelligen Strahlungsgewinns veränderte Strahlungsbilanz (lokaler Treibhauseffekt),
- die Wirkung der Stadt als Strömungshindernis mit hoher aerodynamischen Rauigkeit (vgl. Glossar) und die damit verbundene Behinderung der Durchlüftung und des Luftaustausches mit dem Umland,
- die erhöhte anthropogen bedingte Wärmeproduktion.

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

Doch auch über **grünbestimmten Flächen** weisen Luftvolumina keinen einheitlichen Wärmezustand auf. Die Abkühlungsrate natürlicher Oberflächen wird insbesondere von ihren thermischen Bodeneigenschaften



(u. a. ihrer Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität) sowie von eventuell vorhandenen Oberflächenbedeckungen (Bewuchs, Laubstreu, etc.) bestimmt. Das Relief (Exposition, Geländeneigung) und die Lage im Mosaik der Nutzungen und ihrer dynamischen Luftaustauschprozesse üben einen weiteren Einfluss aus.

Eine Sonderstellung nehmen Wald- und Gewässerflächen ein. Der gedämpfte, insgesamt vermittelnde Tagesgang der Temperatur im **Wald** beruht zu einem großen Teil auf dem zweischichtigen Strahlungsumsatz zwischen Atmosphäre und Kronendach sowie zwischen Kronendach und Stammraum. Größere Waldgebiete sind wichtige Frischluftproduktionsgebiete, wobei hier sauerstoffreiche und wenig belastete Luft bereitgestellt wird. Während im Stammraum tagsüber durch Verschattung und Verdunstung relativ geringe Temperaturen bei hoher Luftfeuchtigkeit vorherrschen, treten nachts durch die abschirmende Wirkung des Kronendachs vergleichsweise milde Temperaturen auf. Stadtnahe Wälder können demnach auch am Tage Kaltluft zugunsten des Siedlungsraumes erzeugen, nachts fällt deren Kaltluftproduktion dagegen geringer aus als über unversiegelten Freiflächen – außerdem können sie ein Strömungshindernis darstellen.

Im Falle der Wasserflächen sorgen die hohe spezifische Wärmekapazität des Wassers, seine Art der Strahlungsabsorption und die im Wasserkörper stattfindenden turbulenten Durchmischungsvorgänge für eine (von hohen Absolutwerten ausgehend) deutlich verringerte tagesperiodische Temperaturamplitude, insbesondere über größeren Gewässern. Da hier die Lufttemperaturen im Sommer tagsüber niedriger und nachts höher als in der Umgebung sind, wirken größere **Gewässer** auf bebaute Flächen am Tage klimatisch ausgleichend, während sie in der Nacht deren Abkühlung zusätzlich verringern.

Die Ermittlung des bodennahen Temperaturfeldes ermöglicht es, Bereiche mit potenziellen bioklimatischen Belastungen abzugrenzen, Aussagen zum Auftreten thermisch und/oder orographisch induzierter Ausgleichsströmungen zu treffen sowie die räumliche Ausprägung und Wirksamkeit von Kaltluftströmungen abzuschätzen. Die aufgeführten Absolutwerte der Lufttemperatur sind exemplarisch für eine autochthone Sommernacht als besondere Wetterlage zu verstehen. Die daraus abgeleiteten relativen Unterschiede innerhalb des Stadtgebiets bzw. zwischen den Nutzungsstrukturen gelten dagegen weitestgehend auch während anderer Wetterlagen. Sie sind die Basis für die Flächenbewertung in der Planungshinweiskarte. Kapitel 6).

#### **ERGEBNISSE TEMPERATURFELD**

Das sich um 04:00 Uhr in der Nacht einstellende Lufttemperaturfeld im Untersuchungsraum umfasst bei Minimalwerten von ca. 12 °C über stadtfernen Freiflächen und Maximalwerten von mehr als 20 °C im Stadtkern eine Spannweite von ca. 8 K (Abbildung 12 und im Anhang). Die mittlere Temperatur im Untersuchungsgebiet liegt unter den angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen bei 13,9 °C (Mittelwert über alle Rasterzellen).

Das Temperaturfeld ist auch innerhalb der bebauten Gebiete räumlich differenziert, weil Areale mit Einzelhaus- oder Blockbebauung und Verkehrsanlagen unterschiedliche Boden- und Oberflächeneigenschaften aufweisen (Abbildung 11).

Die höchsten Temperaturen treten mit knapp über 20 °C in den Industriegebieten entlang des Rißtals auf, und mit knapp unter 20 °C in den Kernbereichen der Innenstadt. Sie resultieren aus dem hohem Oberflächenversiegelungsgrad und vor allem in der Innenstadt aus dem hohen Bauvolumen. Die sich an den Innenstadtbereich anschließende und in den Stadtteilzentren auftretende Block- und Blockrandbebauung besitzt mit ca. 19 °C ebenfalls ein erhöhtes Temperaturniveau. Die durch Abstandsflächen geprägte Zeilen-



und Hochhausbebauung tritt nur sehr vereinzelt auf und hat ein mittleres Temperaturniveau von ca. 18 °C. Der deutlich größte Teil der Siedlungsflächen besteht sowohl im Stadtgebiet Biberach als auch in den umliegenden Gemeinden aus ausgedehnter Einzel- und Reihenhausbauung. Diese weisen unter den bebauten Flächen mit durchschnittlich 16,2 °C das geringste Temperaturniveau auf, Werte über 18 °C werden nur sehr vereinzelt erreicht.

Im Temperaturfeld treten unbebaute, vegetationsgeprägte Freiflächen mit deutlich geringeren Werten hervor. Die niedrigsten Temperaturen im Untersuchungsgebiet sind mit weniger als 13 °C über ausgedehnten landwirtschaftlich genutzten Arealen im Umland zu verzeichnen. Ähnlich geringe Werte können in Senkenbereichen auftreten, in denen sich Kaltluft aufgrund ihrer im Vergleich zu wärmeren Luftmassen höheren Dichte sammelt. In Wäldern dämpft das Kronendach die nächtliche Ausstrahlung und damit auch ein stärkeres Absinken der bodennahen Lufttemperatur, sodass in 2 m ü. Gr. Temperaturwerte um knapp 16 °C erreicht werden. Verglichen mit den weitläufigen Freiräumen des Umlandes weisen innerstädtische Grünflächen mit ca. 16 - 17 °C ein höheres Wertespektrum auf, wobei eine Abhängigkeit von ihrer Größe und Grünstruktur besteht. So sinkt die Temperatur über kleineren Grünflächen nur selten unter 17 °C, da sie in eine insgesamt wärmere Umgebung eingebettet sind. Größere vegetationsgeprägte Areale treten dagegen im Stadtgebiet mit vergleichsweise niedrigen Temperaturen deutlich hervor und stellen demnach potentielle Entlastungsräume für die umliegenden Siedlungsflächen dar, so z. B. die Freiflächen entlang der Riß und das Wolfental (Abbildung 11).

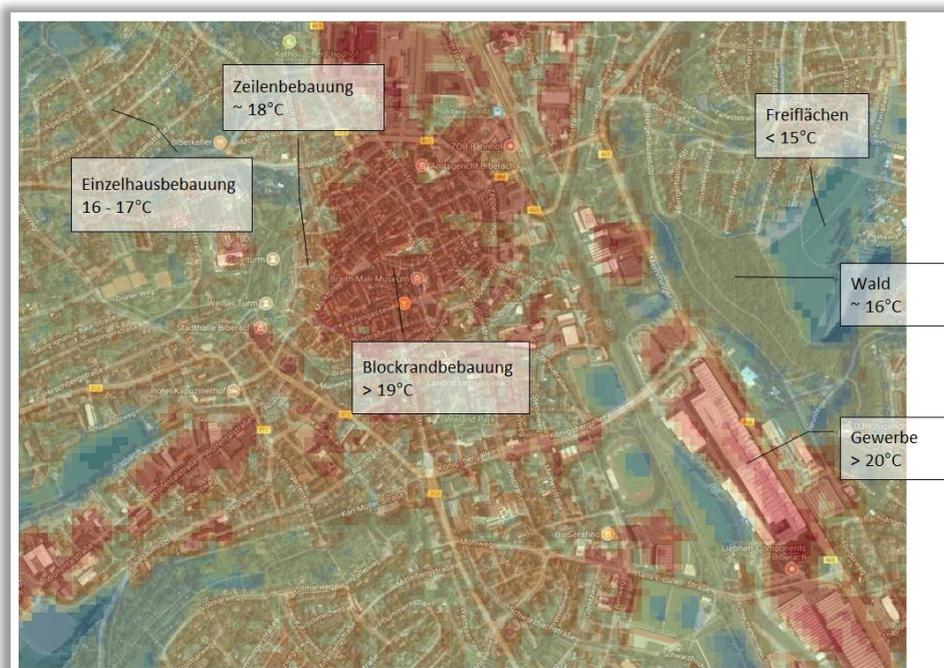


Abbildung 11 Nächtliches Temperaturfeld in einem Ausschnitt des Stadtgebiets Biberach mit beispielhaften Werten verschiedener Nutzungsstrukturen (im Hintergrund: Satellitenbild)

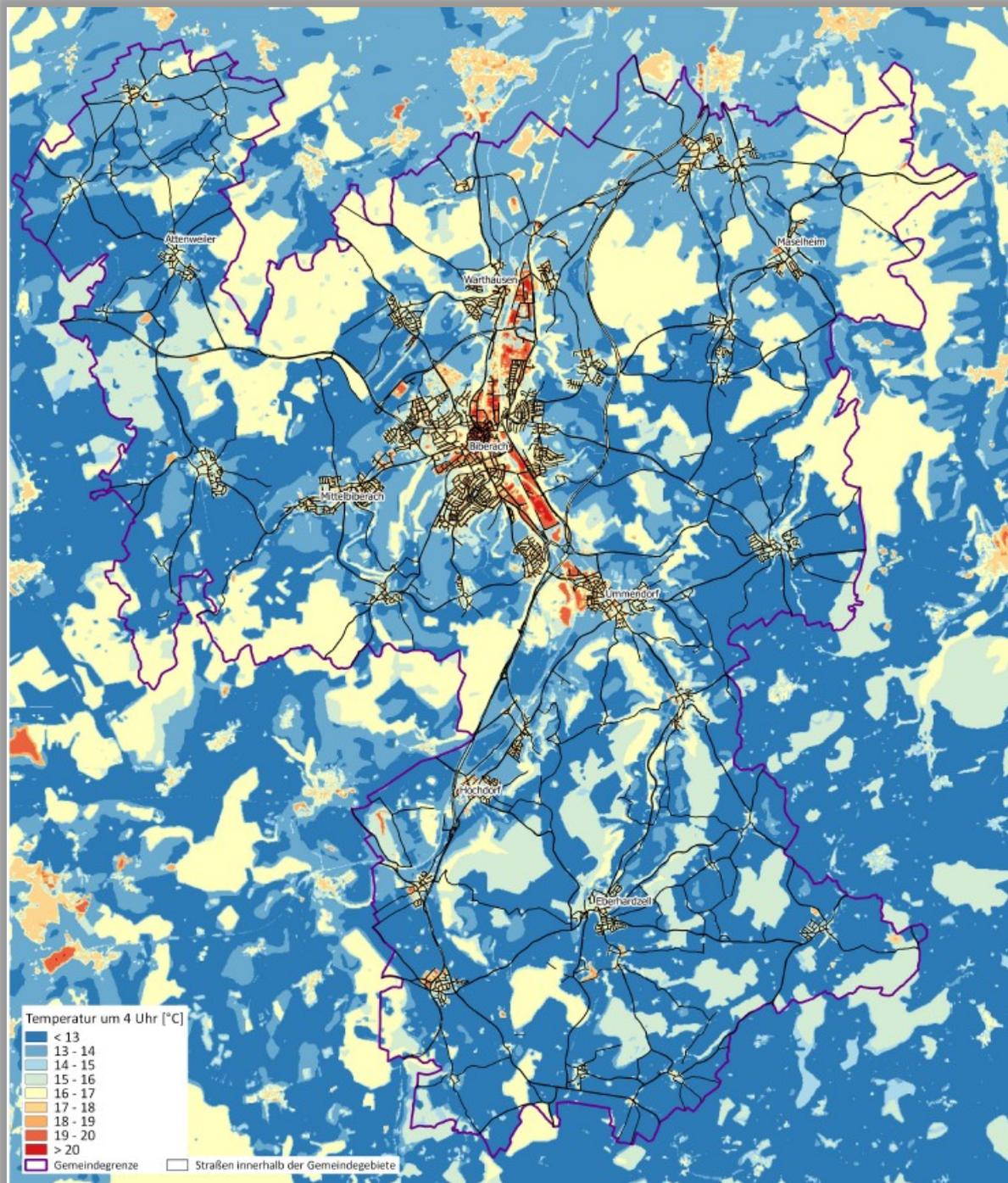


Abbildung 12 Nächtliches Temperaturfeld. In höherer Auflösung (Format DIN A3) als Anhang 1.

### 4.3 KALTLUFTSTRÖMUNGSFELD

#### ALLGEMEINES

Die variable bodennahe Lufttemperaturverteilung bedingt horizontale und vertikale Luftdruckunterschiede, welche wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind. Die wichtigsten nächtlichen Luftströmungen dieser Art sind Hangabwinde und Flurwinde.

Ab einer Geländeneigung von ein bis zwei Grad setzen nach Sonnenuntergang über natürlichen Oberflächen abwärts gerichtete Strömungen ein, weil die hangnahe Luft durch nächtliche Ausstrahlung



stärker abkühlt als die freie Luft in gleicher Höhe. Aufgrund ihrer höheren Dichte fließt die kühlere Bodenluft hangabwärts. Die Ausprägung dieses kleinräumigen Phänomens wird in erster Linie durch das Temperaturdefizit zur umgebenden Luft und durch die Neigung des Geländes bestimmt (Mosimann et al. 1999). **Hangabwinde** erreichen maximale Abflussgeschwindigkeiten von etwa 3 m/s, ihre vertikale Mächtigkeit liegt zumeist unterhalb von 10 m (Hergert 1991). In ebenen Lagen bilden sich unter günstigen Bedingungen sogenannte **Flurwinde** aus, die radial auf einen überwärmten Raum ausgerichtet sind. Flurwinde entstehen, wenn sich infolge der Überwärmung von überbauten oder versiegelten Gebieten gegenüber dem Umland ein lokales thermisches Tief aufbaut. Der resultierende Druckgradient kann daraufhin durch einströmende kühlere Luftmassen aus dem Umland ausgeglichen werden (Kiese et al. 1988). Flurwinde sind eng begrenzte, oftmals nur gering ausgeprägte Strömungsphänomene (Geschwindigkeit i.d.R. deutlich  $< 2$  m/s.), die bereits durch einen schwachen überlagernden Wind überdeckt werden können. Kleinräumige Strömungsphänomene, die zwischen einzelnen strukturellen Elementen innerhalb der Stadt auftreten, werden **Strukturwinde** genannt.

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 Bebauungsart und -dichte deutlich eingeschränkt sein. Speziell bei austauschschwachen Wetterlagen wirken sich diese Faktoren bioklimatisch zumeist ungünstig aus. Daher können die genannten Strömungssysteme durch die Zufuhr frischer und kühlerer Luft eine bedeutende klima- und immissionsökologische Ausgleichsleistung für die Belastungsräume erbringen.

#### **ERGEBNISSE KALTLUFTSTRÖMUNGSFELD**

Die Kaltluftströmung ist in der vorliegenden Untersuchung ein wichtiger Parameter zur Beurteilung des Kaltluftthaushaltes, wobei sich vor allem die Luftaustauschprozesse am Stadtrand erst in der zweiten Nachthälfte vollständig entwickeln (Abbildung 14 und im Anhang).

Abbildung 13 zeigt das für den Zeitpunkt 04:00 Uhr modellierte Strömungsfeld für einen Ausschnitt des Biberacher Stadtgebiets, das sich während einer sommerlichen austauscharmen Strahlungswetternacht herausgebildet hat. Die momentane Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit wird über die Pfeilrichtung und Pfeillänge in Form von Vektoren dargestellt.

Die unterlegten Farben stellen die Windgeschwindigkeit flächenhaft dar. Abgebildet sind alle Rasterzellen mit einer Windgeschwindigkeit von mindestens 0,1 m/s, für die unter Berücksichtigung der gebietstypischen Ausprägung eine potenzielle klimaökologische Wirksamkeit angenommen werden kann.

Die für das 2 m-Niveau wiedergegebenen Strömungsgeschwindigkeiten reichen von vollkommener Windstille bis zu reliefbedingten Maximalwerten von ca. 1,5 m/s auf den unbewaldeten Teilen der steilsten Hangflächen (Abbildung 14). Insgesamt ist das Strömungsfeld durch die hohe Reliefenergie vorwiegend durch Hangabwinde bestimmt; Thermisch induzierte Flurwinde treten nur in ebenen Flächen sowie im Umfeld von stark erwärmten Siedlungsgebieten auf. Im Stadtgebiet treten Werte von mehr als 0,5 m/s insbesondere dort auf, wo größere Grünzüge bis in die bebauten Gebiete hineinreichen (vor allem im Wolfental), und wo große Gefälle auftreten (z. B. östlich der Industriegebiete entlang der Riß). In Richtung des Zentrums nimmt die Strömungsgeschwindigkeit ab, vornehmlich aufgelockerte Siedlungsbereiche werden noch wirksam durchlüftet ( $> 0,1$  m/s), während in weiten Teilen des Stadtkerns keine wirksame Strömung mehr erreicht wird.

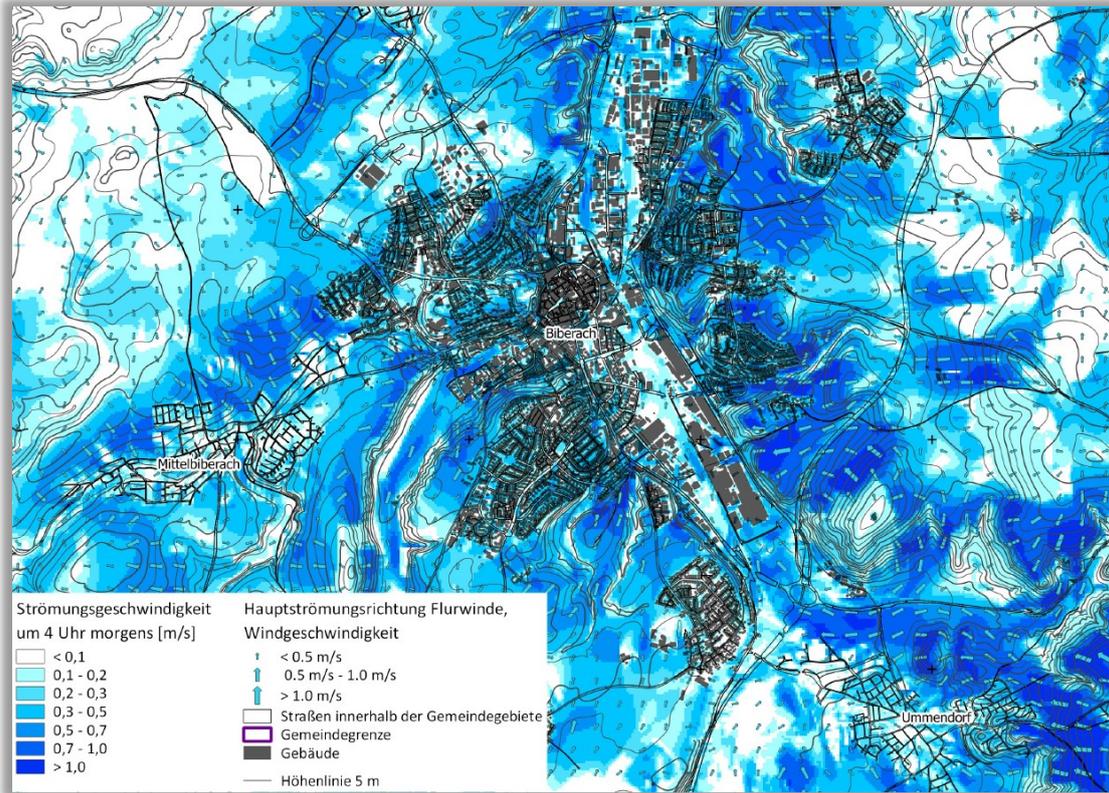


Abbildung 13 Nächtliches Strömungsfeld in einem Ausschnitt des Stadtgebiets Biberach

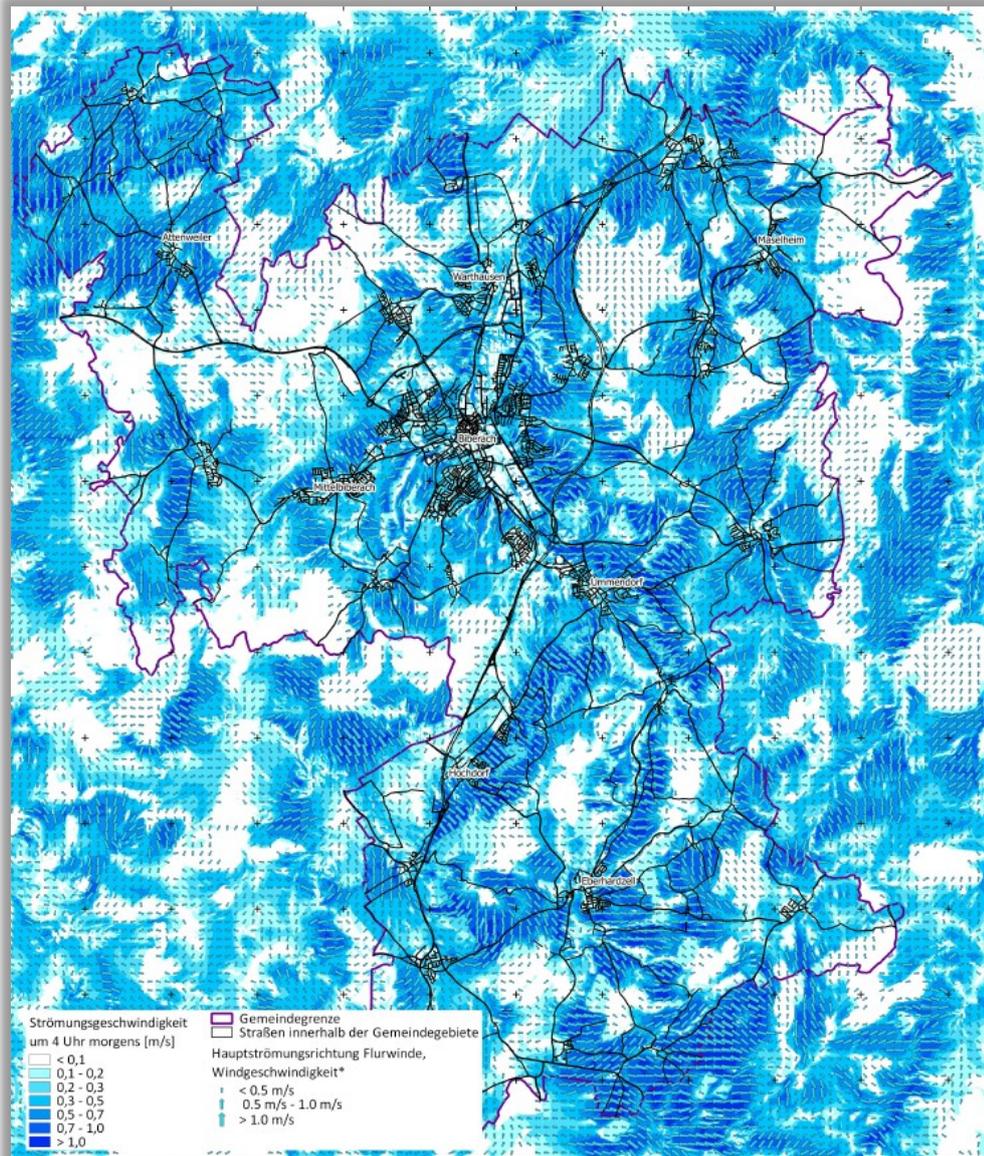


Abbildung 14 Nächtliche Strömungsgeschwindigkeit im Untersuchungsgebiet. In höherer Auflösung (Format DIN A3) als Anhang 2.

#### 4.4 KALTLUFTVOLUMENSTROM

##### ALLGEMEINES

Wie bereits im Vorkapitel zum autochthonen Windfeld erläutert, kommt den lokalen thermischen Windsystemen eine besondere Bedeutung beim Abbau von Wärme- und Schadstoffbelastungen größerer Siedlungsräume zu. Weil die potenzielle Ausgleichsleistung einer grünbestimmten Fläche aber nicht allein aus der Geschwindigkeit der Kaltluftströmung resultiert, sondern zu einem wesentlichen Teil durch ihre Mächtigkeit mitbestimmt wird (d.h. durch die Höhe der Kaltluftschicht), muss zur Bewertung der Grünflächen ein umfassenderer Klimaparameter herangezogen werden: der sogenannte Kaltluftvolumenstrom.

Vereinfacht ausgedrückt stellt der Kaltluftvolumenstrom das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen



Querschnitts (Durchflussbreite) dar. Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit  $\text{m}^3$ , die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer Leitbahn fließt (Abbildung 15). Da sich die Modellergebnisse auf den Strömungsdurchgang der gleichbleibenden Rasterzellenbreite (hier 20 m) beziehen, ist der resultierende Parameter streng genommen nicht als Volumenstrom, sondern als rasterbasierte Volumenstrom-*Dichte* aufzufassen.

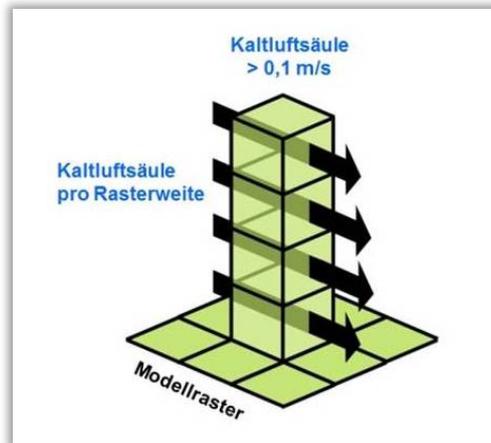


Abbildung 15 Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom

Dieser Wert kann über ein 20 m breites, quer zur Luftströmung hängendes Netz veranschaulicht werden, das ausgehend von der Obergrenze der Kaltluftschicht bis hinab auf die Erdoberfläche reicht. Wird nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft bestimmt, ist diese als rasterbasierte Volumenstromdichte zu verstehen.

Wie auch die anderen Klimaparameter ist der Kaltluftvolumenstrom eine Größe, die während der Nachtstunden in ihrer Stärke und Richtung veränderlich ist. Der jeweilige Beitrag beschleunigender und bremsender Faktoren zur Dynamik der Strömung wird unter anderem stark von der bisherigen zeitlichen Entwicklung des Abflusses beeinflusst. So können sich beispielsweise die Kaltluftströmungen über einer Fläche im Laufe der Nacht dadurch ändern, dass die Fläche zunächst in einem Kaltluftabflussgebiet und später in einem Kaltluftammelgebiet liegt. Letzteres kann als Hindernis auf nachfolgende Luftmassen wirken und von diesen über- oder umströmt werden. Die sich im Verlauf der Nacht einstellenden Strömungsgeschwindigkeiten hängen im Wesentlichen von der Temperaturdifferenz der Kaltluft gegenüber der Umgebungsluft, der Hangneigung und der Oberflächenrauigkeit ab – wobei die Kaltluft selber auf alle diese Parameter modifizierend einwirken kann.

Gebäude, Mauern oder Straßendämme können als Strömungshindernisse wirken und luvseitig markante Kaltluftstaus auslösen. Werden die Hindernisse von größeren Luftvolumina über- oder umströmt, kommt es im Lee zu bodennahen Geschwindigkeitsreduktionen, die in Verbindung mit vertikalen oder horizontalen Verlagerungen der Strömungsmaxima stehen kann. Die Eindringtiefe von Kaltluft in bebautes Gebiet hängt wesentlich von der Siedlungsgröße, Bebauungsdichte, anthropogenen Wärmefreisetzung und der Menge einströmender Kaltluft ab.

#### **ERGEBNISSE KALTLUFTVOLUMENSTROM**

Die räumliche Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Untersuchungsraum folgt im Wesentlichen dem Muster des Kaltluftströmungsfeldes, weicht an einigen Stellen jedoch von diesem ab.

Die geringsten Werte finden sich abermals im Stadtkern, der aufgrund der Hinderniswirkung der Bebauung nur beschränkt durchlüftet wird und in dem nur wenige Grünflächen hohen Kaltluftentstehungspotenzials



vorhanden sind (Abbildung 17). Die über Freiflächen mit Siedlungsbezug entstehende Kaltluft strömt als Ausgleichsleistung in Richtung der Siedlungsgebiete und sorgt für die höchsten Werte. Insbesondere entlang von Grünachsen dringt die Kaltluft auch in die Bebauung ein und kann dort die thermische Belastung senken. Im Laufe einer (autochthonen) Sommernacht steigt die Kaltluftmächtigkeit i.d.R. an, sodass geringe Hindernisse überwunden werden können. Beispielsweise können einzelne Grünflächen, die zwar nicht zusammen hängen, aber räumlich nahe liegen und durch nur wenige Hindernisse getrennt sind, als Trittsteine für Kaltluft dienen. Folglich sind die in das Siedlungsgebiet reichenden Kaltluftvolumenströme ausgeprägter als die Windgeschwindigkeiten in der Darstellung des Kaltluftströmungsfeldes.

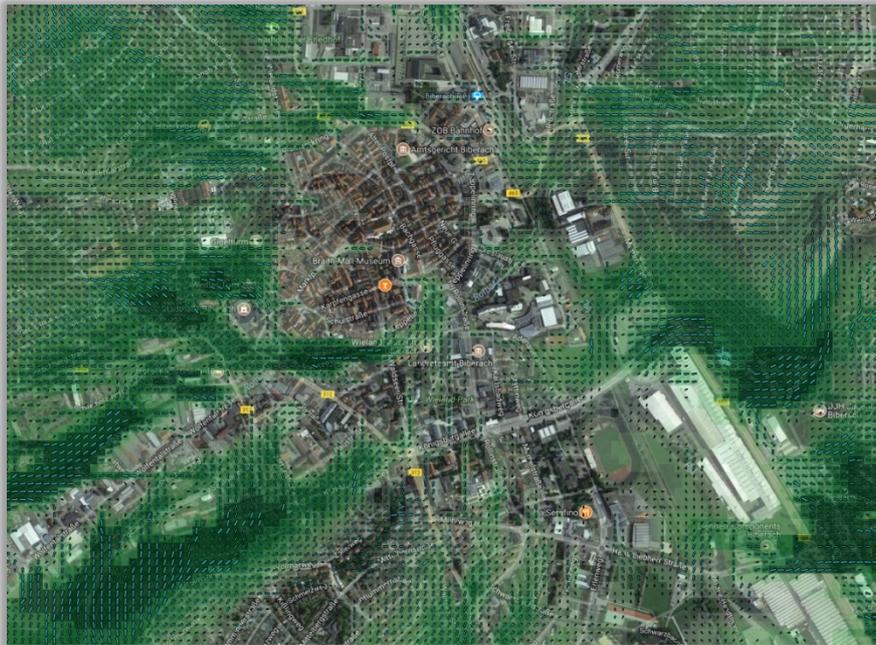


Abbildung 16 Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom in einem Ausschnitt des Stadtgebiets, im Hintergrund Luftbild (google earth)

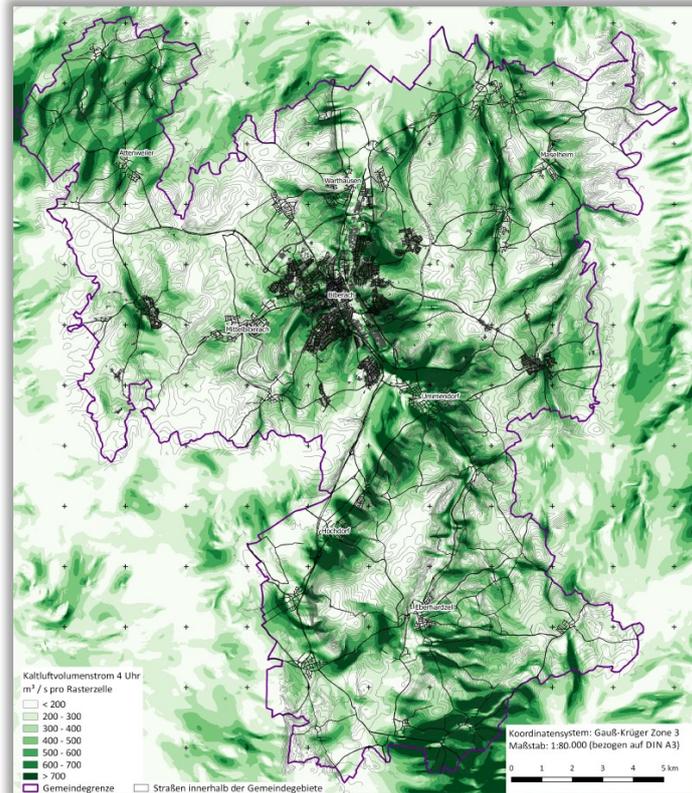


Abbildung 17 Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom im Untersuchungsgebiet. In höherer Auflösung (Format DIN A3) als Anhang 3.

Über Waldarealen treten geringe Kaltluftvolumenströme auf, doch können diese in Siedlungsnähe ebenfalls Ausgleichsleistungen bereitstellen, wenngleich weniger stark ausgeprägt als über Freiflächen. Dies trifft in besonderem Maße für die bewaldeten Hänge im östlichen Stadtgebiet Biberachs zu. Analog zu den Ergebnissen des Strömungsfelds weisen siedlungserne Freiflächen im Kontext autochthoner Bedingungen geringe Werte auf (Abbildung 17; und im Anhang).



#### 4.5 VERGLEICH DER MODELLERGEBNISSE MIT DEN MESSERGEBNISSEN AUS 1992

Im Rahmen der Untersuchung *‘Klimaökologische Analyse im nördlichen Stadtgebiet von Biberach unter besonderer Berücksichtigung des Strömungsgeschehens’* (Seitz & Burst, 1992) aus dem Jahre 1992 wurden Messungen an verschiedenen Stellen im Stadtgebiet Biberach durchgeführt. Die Messzeiträume waren von Juli bis September 1991 sowie von April bis August 1992. Vier der zwölf Messstationen befanden sich an Orten, für die sich seit dem Messzeitraum bis heute die Umgebungsbedingungen (Strömungshindernisse, thermische Beeinflussungen) nicht verändert haben, so dass die Messergebnisse mit den aktuellen Modellergebnissen von FITNAH 3D verglichen werden können. Diese Stationen sind auf der Klimaanalysekarte für das Stadtgebiet Biberach markiert (Anhang 5). Die Windrichtungsverteilung und für jeden Windrichtungssektor die Windgeschwindigkeit zeigen eine zufriedenstellende Übereinstimmung (Abbildung 19). Zu beachten ist, dass die Messungen permanent durchgeführt wurden, während die Modellrechnung FITNAH 3D lediglich die autochthone Wetterlage (siehe Kapitel 2.1) abbildet. Zusätzlich sind auf der folgenden Abbildung Vertikalprofile von vier Ballonaufstiegs-Standorten in einer Nacht mit Strahlungswetterlage dargestellt (Abbildung 18). Die Windrosen sowie die Vertikalprofile sind auf der Klimaanalysekarte für das Stadtgebiet Biberach im Format DIN A0 dargestellt.

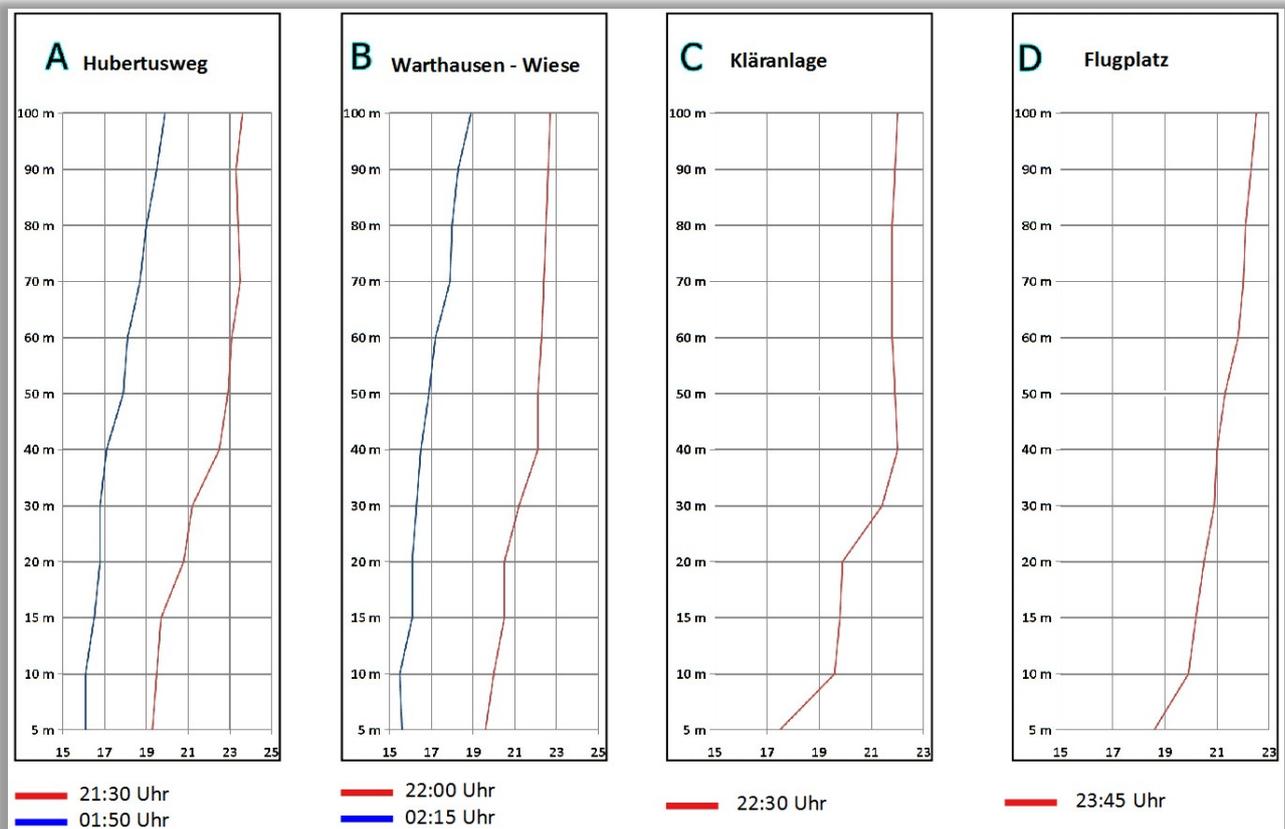
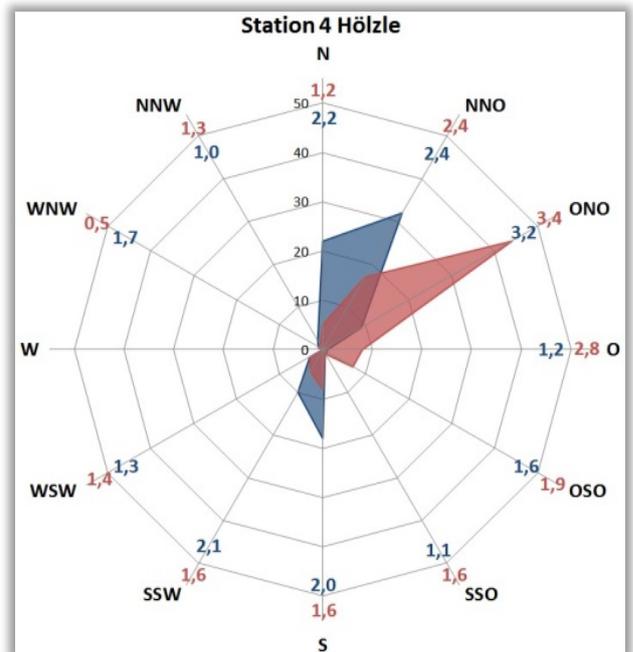
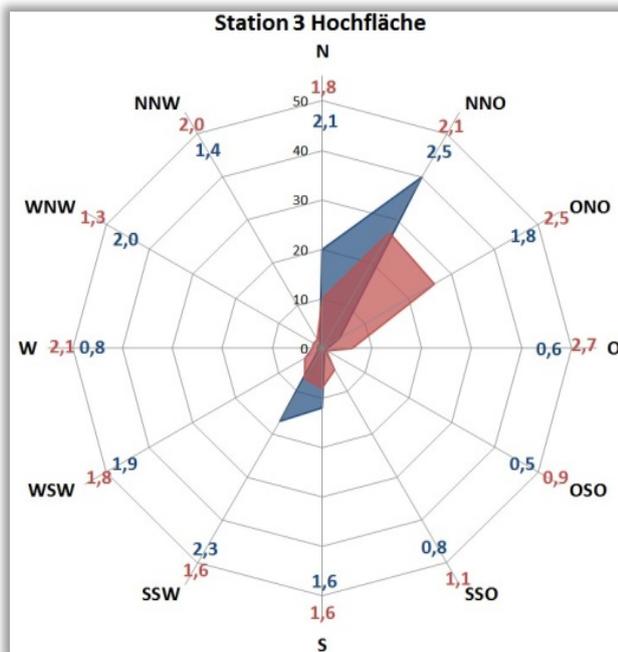
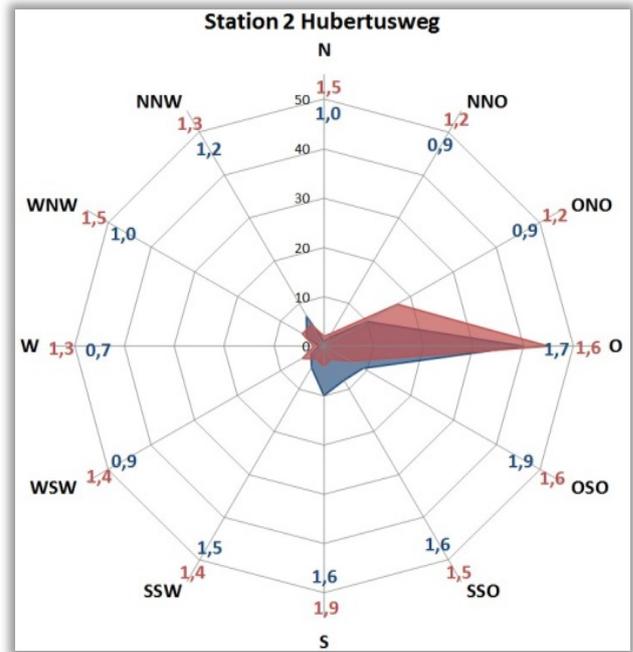
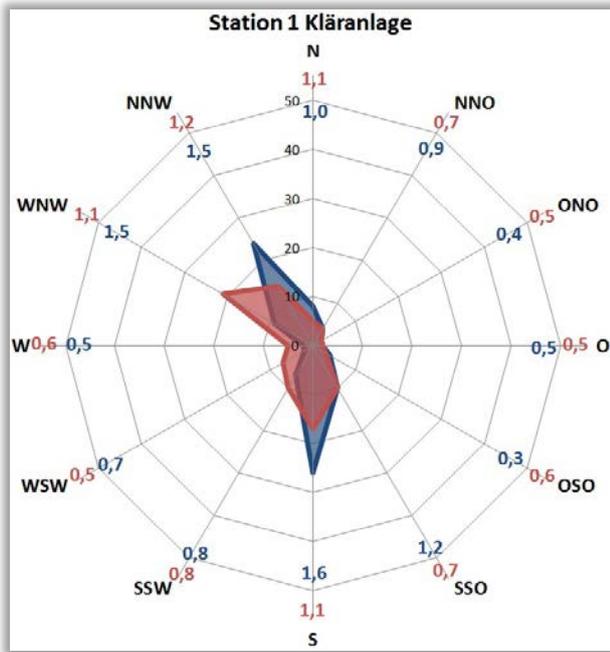


Abbildung 18 Vertikalprofile der Temperatur [°C] aus Messungen mittels Ballonaufstiegen in der Nacht 5./6. August 1992 (Strahlungswetterlage) an 4 Standorten (eigene Darstellung nach Seitz & Burst 1992)



mittlere Windgeschwindigkeit 19 - 23 Uhr

mittlere Windgeschwindigkeit 0 - 6 Uhr

Abbildung 19 Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und - Geschwindigkeit aus Messungen in den Zeiträumen Juli - September 1991 und April - August 1992 während Nächten mit Strahlungswetterlage (30% der Tage) an 4 Standorten. (eigene Darstellung nach Seitz & Burst 1992)



## 5 Klimaanalysekarte

### 5.1 VORGEHENSWEISE

Um Aussagen über Funktionszusammenhänge treffen zu können, müssen unterschiedliche Flächeneinheiten von Grünarealen einerseits und bebauten Bereichen andererseits in ihren klimatischen Merkmalen untereinander abgrenzbar sein. Zum Beispiel ist die Kaltluftlieferung von Grünflächen sehr unterschiedlich ausgeprägt, auch in den Siedlungsflächen kann die bioklimatische Situation je nach Baustruktur und Lage im Raum stark variieren. Um diese Heterogenität in der Klimaanalyse- bzw. Planungshinweiskarte darstellen zu können, wurden Blockflächen anhand ihrer Nutzungsinformationen unterschieden und ihnen jeweils die Ergebnisse der Klimaparameter aus der Modellrechnung zugeordnet (Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Kaltluftvolumenstrom).

Die Klimaanalysekarte<sup>2</sup> für die Nachtsituation bildet die Funktionen und Prozesse des nächtlichen Luftaustausches im gesamten Untersuchungsraum ab (Strömungsfeld, Kaltluftleitbahnen). Für Siedlungs- und Gewerbeflächen stellt sie die nächtliche Überwärmung dar, basierend auf der bodennahen Lufttemperatur in einer autochthonen Sommernacht um 04:00 Uhr morgens. Außerhalb des Stadtgebiets erlauben die Ergebnisse der Modellrechnung aufgrund der geringeren räumlichen und qualitativen Auflösung der Eingangsdaten zwar eine Darstellung des Prozessgeschehens, lassen jedoch keine tiefergehende Analyse bzw. Ableitung flächenkonkreter Maßnahmen zu (insbesondere am Rand des Untersuchungsgebiets).

### 5.2 ERGEBNISSE

#### BIOKLIMATISCHE BELASTUNG IN DEN SIEDLUNGS- UND GEWERBEFLÄCHEN

Die nächtliche Überwärmung beruht auf dem Temperaturunterschied zu unversiegelten Grünflächen im Untersuchungsgebiet, die unter den angenommenen Bedingungen eine mittlere Lufttemperatur von 13,1 °C aufweisen. Der **Wärmeineleffekt** ergibt sich als Abweichung von diesem Bezugswert und stellt somit eine geeignetere Kenngröße zur Erfassung des Stadtklimaeffekts dar als absolute Temperaturwerte.

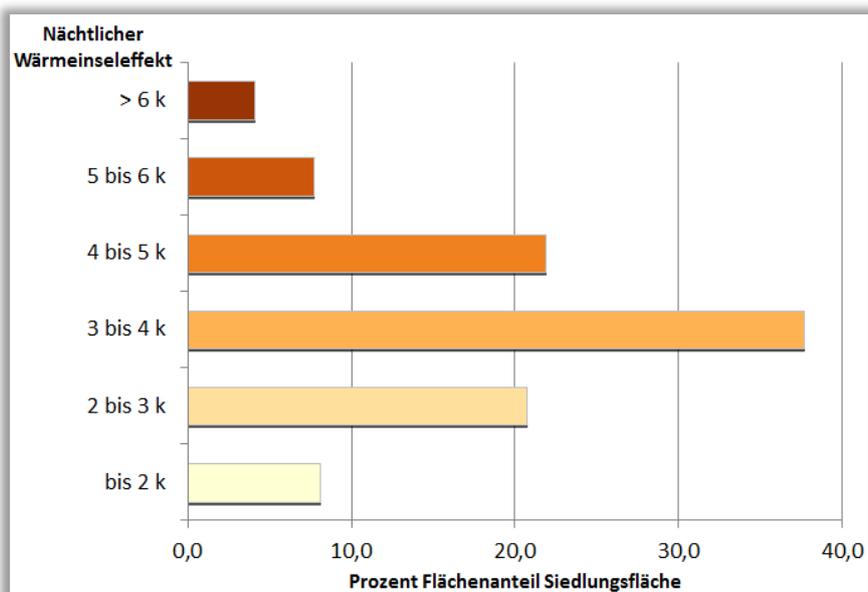


Abbildung 20 Flächenanteile der nächtlichen Überwärmung im Siedlungs- und Gewerbeaum.

<sup>2</sup> Die Klimaanalysekarte ersetzt nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1 die ehemalige synthetische Klimafunktionskarte (VDI 2015).



Die mittlere nächtliche Lufttemperatur über allen Siedlungs- und Gewerbeflächen im Gebiet der Verwaltungsgemeinschaft Biberach liegt bei 16,3 °C. Bei Betrachtung der Flächenanteile zeigt sich, dass nahezu alle bebauten Flächen eine Überwärmung > 2 K aufweisen, und ein Drittel sogar > 4 K (Abbildung 21). Die Anteile beziehen sich auf Siedlungs- und Gewerbeflächen innerhalb des Stadtgebiets, wobei aufgelockerte Areale mit Einzel- und Reihenhausbauung tendenziell durch eine geringere und Gewerbeflächen sowie Zentrums- bzw. Block(rand)bebauung durch eine stärkere Überwärmung geprägt sind (Abbildung 21).

#### **KALTLUFTPROZESSGESCHEHEN ÜBER GRÜN- UND FREIFLÄCHEN**

In der Klimaanalysekarte werden Grün- und Freiflächen hinsichtlich ihres Kaltluftliefervermögens charakterisiert. Als Kaltluft produzierende Bereiche gelten insbesondere unversiegelte Freiflächen (z.B. Ackerflächen) sowie durch aufgelockerten Vegetationsbestand geprägte Grünflächen wie z.B. Parkareale, Kleingärten und Friedhofsanlagen (sowohl innerhalb als auch außerhalb der Siedlungsräume), doch auch Wälder können als Kaltluftentstehungsgebiete fungieren. Für die Charakterisierung der Ausgleichsleistung wird in der Klimaanalysekarte der Kaltluftvolumenstrom herangezogen. Er drückt den Zustrom von Kaltluft aus den benachbarten Rasterzellen aus (vgl. Kapitel 4.4). Auf den Grünflächen im Gebiet der Verwaltungsgemeinschaft Biberach beträgt der durchschnittliche Kaltluftvolumenstrom 414 m<sup>3</sup>/s.

In der Klimaanalysekarte wird das Prozessgeschehen des Kaltlufthaushalts dargestellt, d.h. der Kaltluftvolumenstrom wird in Form quantitativer Angaben in abgestufter Flächenfarbe abgebildet, ohne eine Bewertung vorzunehmen. Zudem werden über Grünflächen **Flurwinde** ab einer (als wirksam angesehenen) Windgeschwindigkeit von 0,1 m/s durch Pfeilsignatur in Hauptströmungsrichtung gezeigt, sofern sie eine bedeutende Rolle für das Kaltluftprozessgeschehen spielen. Der Übersichtlichkeit halber sind nur Flurwinde über Grünflächen ab 1 ha Größe aufgeführt.

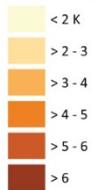
#### **PROZESSRÄUME**

Die Prozessräume wurden auf der Basis einer Einzugsgebietsanalyse ausgewiesen. Als klimaökologische Prozessräume werden größere zusammenhängende Gebiete mit einem einheitlichen übergeordneten Strömungsmuster definiert. Die Prozessräume im Untersuchungsgebiet werden überwiegend durch das Relief geprägt, die thermischen Verhältnisse spielen bei der großräumigen Betrachtung der Strömungsfelder nur eine untergeordnete Rolle. In der Klimaanalysekarte wurden die Prozessräume flächendeckend für das gesamte Gebiet der Verwaltungsgemeinschaft Biberach definiert, während in der Planungshinweiskarte nur ein Prozessraum mit planerisch relevantem Stadtklimaeffekt dargestellt ist (vgl. Kapitel 6.1.1).



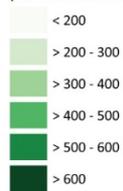
**Siedlungsräume**

Wärmeineffekt:  
Temperaturabweichung gegenüber  
Mittelwert der Freiflächen [Kelvin]



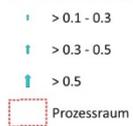
**Grün- und Freiflächen**

Kaltluftvolumenstrom  
pro Rasterzelle [ $m^3/s$ ]



**modelliertes Kaltluftströmungsfeld**

Hauptströmungsrichtung, Geschwindigkeit



**sonstiges**



Abbildung 21 Klimaanalysekarte Nachtsituation für einen Ausschnitt des Biberacher Stadtgebiets (gesamte Darstellung im Format DIN A3 als Anhang 4 und nur für den Bereich Biberach als Anhang 5).



## 6 Planungshinweiskarte

### 6.1 VORGEHENSWEISE

Im Anschluss an die Ergebnisse aus der Klimaanalysekarte wurde die Planungshinweiskarte (PHK) erstellt. In Anlehnung an die VDI-Richtlinien 3785, Blatt 1 bzw. 3787, Blatt 1 erfolgte eine Bewertung der bioklimatischen Belastung in Siedlungsflächen als **Wirkungsraum** bzw. der Bedeutung von Grünflächen als **Ausgleichsraum** (VDI 2008a, VDI 2015). Ausgehend von ihren Bewertungen werden den Flächen allgemeine Planungshinweise zugeschrieben.

#### 6.1.1 FESTLEGUNG DES PROZESSRAUMS MIT PLANUNGSRELEVANTEM STADTKLIMA

Der Siedlungsraum stellt den primären Wirkungsraum des stadtklimatischen Prozessgeschehens dar. Im Folgenden wird die Herleitung der bioklimatischen Belastungssituation geschildert. Grundsätzlich wurden nur diejenigen Ortslagen bewertet, welche einen planungsrelevanten Stadtklimaeffekt aufweisen. Auch andere Aspekte, welche den Kaltlufthaushalt betreffen (Leitbahnen, Kaltluftabflüsse, Einwirkbereiche), wurden nur für Ortslagen ermittelt, welche ein relevantes Stadtklima aufzeigen. Im so festgelegten stadtklimatischen Prozessraum *Verdichtungsraum Biberach* befinden sich die Ortslagen Biberach, Mittelbiberach, Ummendorf, Warthausen, Birkenhard, Mettenberg, Oberhöfen, Reute, Rindenmoos und Rissegg. Das folgende Diagramm zeigt, dass sämtliche Ortslagen außerhalb dieses Prozessraums ausnahmslos eine Flächengröße von unter 0,6 km<sup>2</sup> und einer mittleren Temperatur < 17°C (entspricht einem Wärmeinselintensität von unter 4 K) aufweisen (Abbildung 22). Sämtliche Ortslagen innerhalb dieses Prozessraums werden als planungsrelevant für dessen Stadtklimaeffekt betrachtet.

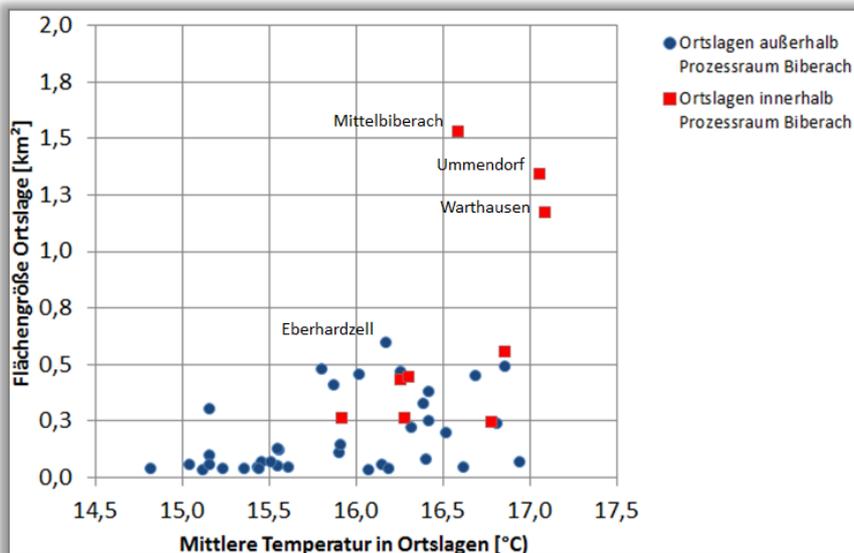


Abbildung 22 Auswahl von Ortslagen für den planungsrelevanten Stadtklimaeffekt. Die Ortslagen-Flächengröße von Biberach beträgt 7,9 km<sup>2</sup> bei einer Temperatur von 17,3 °C und ist aus Gründen der besseren Lesbarkeit nicht im Diagramm dargestellt

#### 6.1.2 BEWERTUNG DER SIEDLUNGS- UND GEWERBEFLÄCHEN (WIRKUNGSRAUM)

In der Nacht ist weniger der Aufenthalt im Freien Bewertungsgegenstand, sondern vielmehr die Möglichkeit eines erholsamen Schlafes im Innenraum. Die VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 weist darauf hin, dass die „Lufttemperatur der Außenluft die entscheidende Größe“ für die Bewertung der Nachtsituation darstellt und näherungsweise ein direkter Zusammenhang zwischen Außen- und Innenraumlufte unterstellt werden kann (VDI 2008b, 25). Als optimale Schlafertemperaturen werden gemeinhin 16 - 18 °C angegeben (UBA 2016), während *Tropennächte* mit einer Minimumtemperatur  $\geq 20$  °C als besonders belastend gelten.



Für die Planungshinweiskarte erfolgte die räumlich differenzierte Bewertung der Nachtsituation daher über die nächtliche Überwärmung (Tabelle 2). Auch Gewerbeflächen wurden hinsichtlich ihrer bioklimatischen Situation klassifiziert, doch spielt deren Belastungssituation aufgrund der geringen Betroffenenzahlen in der Nacht eine untergeordnete Rolle im Vergleich zu Wohnbauflächen.

Tabelle 2: Einordnung der bioklimatischen Belastung im Siedlungsraum in der Nacht (Lufttemperatur) für die entsprechenden Flächen im Gebiet des *Verdichtungsraums Biberach*.

$T_a$ [°C] (04:00 Uhr)	Qualitative Einordnung
<= 16,0	1 = Sehr günstig
> 16,0 bis 17,0	2 = Günstig
> 17,0 bis 18,0	3 = Weniger günstig
> 18,0 bis 19,0	4 = Ungünstig
> 19,0	5 = Sehr ungünstig
16,8 (± 1,0)	

### 6.1.3 BEWERTUNG DER GRÜN- UND FREIFLÄCHEN (AUSGLEICHSPAZIUM)

Im Gegensatz zur Klimaanalysekarte stehen in der Planungshinweiskarte die stadtklimatische Bedeutung von Grünflächen sowie die Ableitung deren Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen im Mittelpunkt. Zur Bewertung der klimaökologischen Charakteristika bedarf es in Hinblick auf planungsrelevante Belange einer Analyse der vorhandenen Wirkungsraum-Ausgleichsraum-Systeme im Untersuchungsgebiet. Kaltluft, die während einer Strahlungsnacht innerhalb der Freiräume entsteht, kann nur dann von planerischer Relevanz sein, wenn den Flächen ein entsprechender Siedlungsraum zugeordnet ist, der von ihren Ausgleichsleistungen profitieren kann. Für die Bewertung der bioklimatischen Bedeutung von grünbestimmten Flächen wurde ein teilautomatisiertes Verfahren angewendet, das sich wie folgt skizzieren lässt.

Die Grünflächen wurden in fünf Stufen von *Keine* bis *Sehr hohe bioklimatische Bedeutung* eingeteilt. Die Bewertung ist anthropozentrisch und auf den *Prozessraum Verdichtungsraum Biberach* ausgerichtet (vgl. Kapitel 6.1.1), d.h. Flächen, die für die Siedlungsflächen in diesem Prozessraum keine Funktion erfüllen bzw. keinen Ausgleichsraum darstellen, wurden mit „keine bioklimatische Bedeutung“ bewertet. Für alle Grünflächen gilt dass im Falle zusätzlicher Bebauung im unmittelbaren Bereich dieser Flächen sich deren Funktion ändern kann und muss ggf. neu bewertet werden.

#### BEWERTUNG DER GRÜNFLÄCHEN

Für die Bewertung von Grünflächen in der Nacht rückt der Kaltlufthaushalt in den Fokus. So erhielten Kaltlufteinzugsgebiete bzw. Grünflächen als Teil einer Kaltluftleitbahn die höchste Bedeutung. Auch die Menge der über einer Fläche produzierten Kaltluft spielt eine Rolle. Zusätzlich wurde die Entfernung zu belasteten Siedlungsräumen berücksichtigt – da in der Nachtsituation die Möglichkeit eines erholsamen Schlafs im Vordergrund steht, wurden dabei der Bewertung nur Siedlungsflächen ohne Gewerbe zugrunde gelegt.

Im Einzelnen wurde folgender Bewertungsschlüssel verwendet (vgl. vereinfachte Darstellung in Abbildung 23):



#### **Sehr hohe bioklimatische Bedeutung (4)**

- a) Grünflächen, die Teil einer *Leitbahn* bzw. des dazugehörigen *Kaltluftentstehungsgebietes* sind.  
Leitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete (Ausgleichsräume) und Belastungsbereiche und sind somit elementarer Bestandteil des Luftaustausches. Die Ausweisung der Leitbahnbereiche erfolgte manuell und orientierte sich an der Ausprägung des autochthonen Strömungsfeldes der FITNAH-Simulation. Auch Grünflächen, die als Kaltluftentstehungsgebiete auf das Stadtgebiet ausgerichtete Leitbahnen speisen, sind von besonderer Bedeutung.
- b) Grünflächen im Nahbereich von Siedlungsflächen mit *Sehr ungünstiger* oder *Ungünstiger* (bis 250 m Entfernung) bzw. *Mittleren bioklimatischen Situation* (bis 100 m) mit überdurchschnittlicher Kaltluftproduktion.  
Grünflächen im Umfeld belasteter Siedlungsräume kommt grundsätzlich eine hohe Bedeutung zu. Zusätzlich zu ihrem Kaltluftliefervermögen wirken sie ausgleichend auf das thermische Sonderklima im meist dicht bebauten Umfeld. Je stärker der Siedlungsraum belastet ist, desto wichtiger sind Grünflächen als Ausgleichsräume, sodass die tolerierbare Entfernung zu diesen gewichtet wurde. Umso größer eine Grünfläche ist, desto weiter reichen ihre ausgleichenden Effekte in das angrenzende Siedlungsgebiet (vgl. Kuttler 2011).

#### **Hohe bioklimatische Bedeutung (3)**

- c) Grünflächen im Umfeld von Siedlungsflächen mit *Sehr ungünstiger* oder *Ungünstiger* (bis 250 m Entfernung) bzw. *Mittleren bioklimatischen Situation* (bis 100 m) mit unterdurchschnittlicher Kaltluftproduktion.  
Innerhalb vom Belastungsräumen sind auch Grünflächen ohne Funktion für den Kaltfluthaushalt wertvoll, da sie sich am Tage weniger stark aufheizen und entsprechend in der Nacht weniger Wärme abgeben.
- d) Grünflächen im Umfeld von Siedlungsflächen mit *Sehr ungünstiger* oder *Ungünstiger* (bis 500 m Entfernung) bzw. *Mittleren bioklimatischen Situation* (bis 250 m) mit überdurchschnittlicher Kaltluftproduktion.

#### **Mittlere bioklimatische Bedeutung (2)**

- e) Grünflächen im Umfeld von Siedlungsflächen mit *Sehr ungünstiger* oder *Ungünstiger* (bis 500 m Entfernung) bzw. *Mittleren bioklimatischen Situation* (bis 250 m) mit unterdurchschnittlicher Kaltluftproduktion.  
Innerhalb vom Belastungsräumen sind auch Grünflächen ohne Funktion für den Kaltfluthaushalt wertvoll, da sie sich am Tage weniger stark aufheizen und entsprechend in der Nacht weniger Wärme abgeben.

#### **Geringe bioklimatische Bedeutung (1)**

- f) Übrige Grünflächen im Stadtklimatischen *Prozessraum Verdichtungsraum Biberach*.

#### **Keine bioklimatische Bedeutung (1)**

- g) Grünflächen außerhalb des Stadtklimatischen *Prozessraums Verdichtungsraum Biberach*.

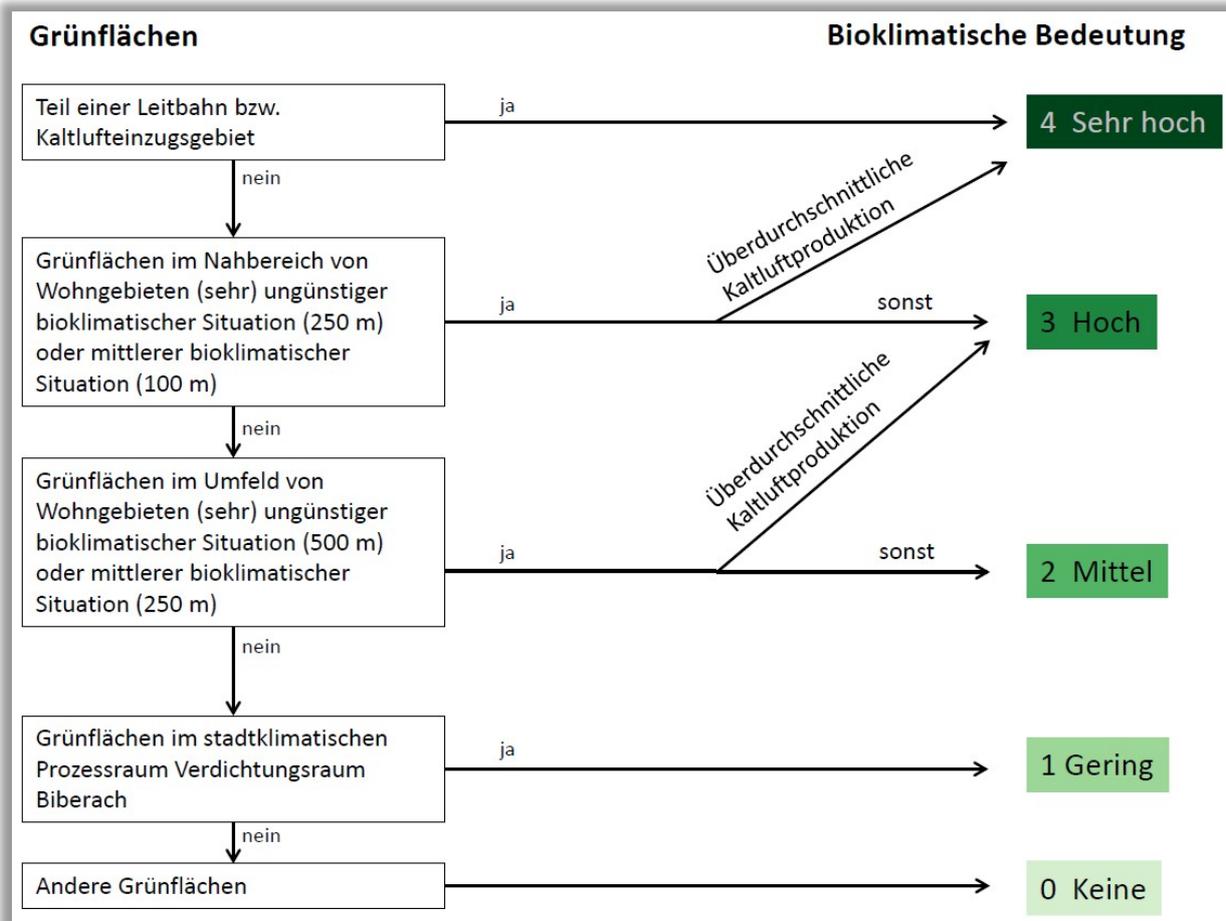


Abbildung 23 Bewertungsschema zur bioklimatischen Bedeutung von Grünflächen

**KALTLUFTLEITBAHNEN**

**Kaltluftleitbahnen** verbinden Kaltluftentstehungsgebiete (Ausgleichsräume) und Belastungsbereiche (Wirkungsräume) miteinander und sind somit elementarer Bestandteil des Luftaustausches. Die Ausweisung der Leitbahnbereiche orientiert sich am autochthonen Strömungsfeld der FITNAH-Simulation. Als geeignete Oberflächenstrukturen innerhalb von Siedlungsräumen, die ein Eindringen von Kaltluft in die Bebauung erleichtern, dienen sowohl gering bebaute vegetationsgeprägte Freiflächen, Kleingärten und Friedhöfe als auch Gleisareale, Wasserflächen und breite Straßenräume. Da Leitbahnen selbst ebenfalls Kaltluft produzieren können, lassen sich Freiflächen, von denen Kaltluft direkt in die Bebauung strömt, nicht immer trennscharf abgrenzen von Leitbahnen, die als mehr oder weniger reine „Transportwege“ fungieren. Kaltluftleitbahnen sind auf das Siedlungsgebiet ausgerichtete linienhafte Strukturen, die Flurwinde in das Stadtgebiet hineinragen, während Kaltluftabflüsse flächenhaft über unbebauten Hangbereichen auftreten.

Die Kaltluftleitbahnen in der Planungshinweiskarte sind in zwei Kategorien eingeteilt: Die Priorisierung erfolgte anhand von der jeweils transportierten Kaltluftmenge sowie anhand von Größe und Wärmestress der profitierenden Siedlungsgebiete. Die Kaltluftleitbahnen sind auf der Karte namentlich beschriftet. Wichtigste Kaltluftleitbahn für den Kernstadtbereich von Biberach ist das Wolfental. Hier fließen große Mengen an Kaltluft aus Südwest – die auch die Hauptwindrichtung ist – über die grünen Freiflächen entlang des Wolfenbachs. Beim Zusammentreffen der Kaltluftmasse mit dem Siedlungsgebiet verringert das Gewerbegebiet entlang der Wolfentalstraße die Breite dieser Leitbahn erheblich. Südöstlich von selbigem entsteht eine Leitbahn 2. Priorität (Leitbahn Kanonenberg), welche sich über die Kleingärten in Richtung Waldseer Straße zieht. Die Leitbahn Reichenbach ist ebenso eine prägnante Leitbahnen



1. Priorität, ihr Einzugsgebiet ist bis ins Reichenbachtal zurückzuverfolgen. Sie sorgt im südlichen Stadtgebiet Biberachs entlang der Riß für Abkühlung. Die dritte der drei Leitbahnen 1. Priorität transportiert Kaltluft von Süden entlang der Fischbacher Straße (Umlachtal) nach Ummendorf. Die östlich und westlich gelegenen Hänge im Tal der Umlach sorgen für die Kaltluftproduktion.

Die Leitbahnen 2. Priorität versorgen – wie oben beschrieben – weniger belastete Siedlungsgebiete oder nicht wohnlich genutzte Siedlungsgebiete (Gewerbe- oder Sportflächen sowie Bildungsstätten). Die Leitbahn Schloßhalde verläuft entlang der Birkenharder Straße in Richtung Warthausen. Die Leitbahn Mettenberger Graben transportiert Kaltluft vom Westen her in Richtung des Industriegebiets an der Ulmer Straße. Entlang des Bachlanger Tals versorgt die dortige Leitbahn das Industriegebiet in Biberach – Süd mit Kaltluft. Die Leitbahnen Schlierenbach und Mumpfental zielen von Südwest in Richtung Siedlungs- und Industriegebiete in Biberach – Süd.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Biberach durch seine Lage entlang des Rißtals eine sehr gute Kaltluftversorgung erhält. Aus fast allen Himmelsrichtungen strömt Kaltluft in Richtung der Wohn- als auch der Gewerbegebiete. Die Strömung ist fast ausschließlich reliefbedingt (kalte Luft ist dichter und fließt bergab, vgl. Kapitel 2.1). Obwohl die Hangflächen in Innenstadtnähe größtenteils bewaldet sind – und Waldflächen nachts deutlich weniger abkühlen als Freiflächen – ist hier aufgrund des großen Gefälles teilweise der stärkste Kaltluftvolumenstrom zu verzeichnen (vgl. Klimaanalysekarte).

Das in der vorliegenden Klimaanalyse beschriebene Kaltluftprozessgeschehen und damit auch die ausgewiesenen Kaltluftleitbahnen basieren auf der Annahme einer autochthonen Wetterlage. Während allochthoner Wetterlagen mit übergeordneten Windfeldern treten stadtklimatische Belastungssituationen i.d.R. weniger häufig in Erscheinung, doch gibt es auch unter diesen Bedingungen Bereiche, die als wichtige Strömungsachsen für das Stadtgebiet fungieren (Ventilationsbahnen) – zuvorderst sind hier die in Richtung der süd- bis südwestlichen Hauptanströmungsrichtung orientierten Kaltluftleitbahnen zu nennen.

#### **KALTLUFTEINWIRKBEREICH**

Siedlungsräume lassen sich in ausreichend durchlüftete Areale und damit meist klimatisch günstige Siedlungsstrukturen sowie klimatische Belastungsbereiche untergliedern. Der **Kaltlufteinwirkungsbereich** kennzeichnet das bodennahe Ausströmen der Kaltluft aus den Grünflächen in die angrenzende Bebauung während einer autochthonen Sommernacht. Damit geht einher, dass die im Einwirkungsbereich befindliche Bebauung in der Nacht vergleichsweise günstigere Verhältnisse aufweist. Als Kaltlufteinwirkungsbereich sind Siedlungs- und Gewerbeflächen innerhalb des Stadtgebiets gekennzeichnet, die von einem überdurchschnittlich hohen Kaltluftvolumenstrom  $> 449 \text{ m}^3/\text{s}$  durchflossen werden (Mittelwert des Kaltluftvolumenstroms über alle Flächen im Siedlungsgebiet). Dabei erfolgt die Darstellung rastergenau auf Ebene der Modellergebnisse, d.h. ggf. werden nur Teile einer Blockfläche als Kaltlufteinwirkungsbereich ausgewiesen.

## **6.2 ERGEBNISSE**

Im *Verdichtungsraum Biberach* liegen knapp zwei Drittel der Siedlungsflächen der Verwaltungsgemeinschaft Biberach. Das Bioklima der Flächen außerhalb dieses Bereiches ist in der Planungshinweiskarte insofern bewertet, als dass diese kein planungsrelevantes Stadtklima aufweisen (vgl. Kapitel 6.1.1). Flächen mit einer *Sehr ungünstigen bioklimatischen Situation* machen unter reinen (Wohn-) Siedlungen nur einen geringen Anteil von 0,9 % aus (Tabelle 3), betreffen allerdings ausschließlich den



kompletten Bereich der Innenstadt von Biberach. Im schmalen Ringgebiet um die Innenstadt ist ebenfalls eine hohe nächtliche Überwärmung vorzufinden (gesamstädtisch 1,2 % Anteil *Ungünstig* bewerteter Flächen), während sich die bioklimatische Situation mit zunehmender Entfernung zum Kernbereich tendenziell verbessert. 28,8 % der Wohnflächen unterliegen einer *mittleren* bioklimatischen Belastung, und 37,8 % der Wohnflächen weisen eine *Günstige* bis *Sehr günstige bioklimatische Situation* auf. Letztgenannte Flächen sind vorwiegend im gering besiedelten und durch einen höheren Grünanteil geprägten Rand- und Außenbereich sowie in kleineren Ortslagen zu finden.

Tabelle 3: Flächenanteile bioklimatisch belasteter Siedlungsgebiete in der Nacht und abgeleitete Planungshinweise.

Bewertung der Siedlungsflächen	Flächenanteil im Gebiet der Verwaltungsgemeinschaft Biberach [%]		Allgemeine Planungshinweise
	Siedlung	Gewerbe	
	Nicht bewertet	37,1	
1 = Sehr günstig	9,0	5,9	Vorwiegend offene Siedlungsstruktur mit guter Durchlüftung und einer geringen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung unter Beachtung klimaökologischer Belange. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht erforderlich. Bei baulichen Maßnahmen sollte der Vegetationsanteil soweit möglich erhalten werden, um das sehr günstige Bioklima zu sichern.
2 = Günstig	28,8	6,0	Geringe bis mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung unter Beachtung klimaökologischer Belange. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht erforderlich. Bei baulichen Maßnahmen sollte der Vegetationsanteil möglichst wenig vermindert werden, um das günstige Bioklima zu sichern.
3 = Mittel	23,1	12,4	Mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. <b>Maßnahmen</b> zur Verbesserung der thermischen Situation werden empfohlen: <b>Entsiegelung, Erhöhung des Vegetationsanteils, Erhalt und Entwicklung von Grünflächen, Verschattung von Straßenraum und Plätzen, günstige Baukörperstellung, bauliche Maßnahmen wie Wärmedämmung, Fassaden- und Dachbegrünung.</b>
4 = Ungünstig	1,2	23,9	Hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig (Maßnahmen: siehe oben). Es sollte keine weitere Verdichtung (besonders zu Lasten von Grün-/Freiflächen) erfolgen und eine Verbesserung der Durchlüftung angestrebt werden.
5 = Sehr ungünstig	0,9	15,3	Sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig und prioritär (Maßnahmen: siehe oben). Es sollte keine weitere Verdichtung (besonders zu Lasten von Grün-/ Freiflächen) erfolgen und eine Verbesserung der Durchlüftung angestrebt werden.

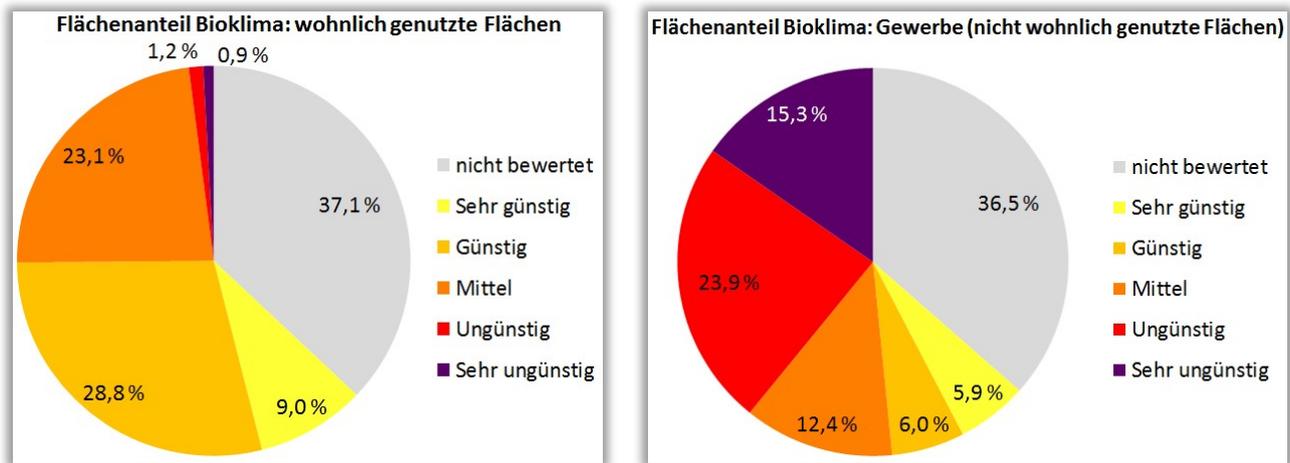


Abbildung 24 Flächenanteile der Bioklima Kategorien in der Planungshinweiskarte für Siedlung (links) und Gewerbe (rechts)

Unter dem Begriff „Gewerbeflächen“ versammeln sich neben den Industrie- und Gewerbeflächen auch sämtliche nicht wohnlich genutzten Flächen, wie z. B. Schulen und Sportanlagen. Hier verschieben sich die Flächenanteile deutlich. Der typischerweise hohe Versiegelungsgrad und geringe Grünanteil (ausgenommen Sportanlagen) sorgen nachts für eine starke Überwärmung, sodass knapp 40 % dieser Flächen eine mindestens *Ungünstige Bioklimatische Situation* aufweisen. Die ca. 12 % mit *günstig* oder *sehr günstig* bewerteten Flächen sind vor allem Sportflächen, der Verkehrslandeplatz oder Flächen mit landwirtschaftlichen Anlagen außerhalb der Kernstadt (Tabelle 3 und Abbildung 24). Wie bereits erwähnt, steht nachts die Belastung in Wohnsiedlungsflächen im Vordergrund und Maßnahmen sind vor allem für den Erhalt bzw. möglichst die Verbesserung der Situation in belasteten Flächen nötig. Doch sollten aufgrund der hohen Belastungen Gewerbeflächen nicht außer Acht gelassen werden, insbesondere wenn sie einen räumlichen Bezug zu Wohnbebauungen aufweisen.

Der weitaus größte Teil der Grünflächen im Gebiet der Verwaltungsgemeinschaft Biberach kommt keine Bedeutung als Ausgleichsfläche für die Flächen mit planungsrelevantem Stadtklima zu (76,5 %, Tabelle 4). Von den verbleibenden 23,5 % sind knapp zwei Drittel mit Grünflächen *geringer* Bedeutung belegt d.h. sie erfüllen für den derzeitigen Siedlungsraum keine Funktion bzw. stellen für diesen keinen Ausgleichsraum dar – mehrheitlich handelt es sich dabei um siedlungsferne Wald- und Ackerflächen. Die Flächen mit *Hoher bis Sehr hoher bioklimatischer Bedeutung* liegen entweder in direktem Umfeld mit nachts stark erwärmten Wohngebieten, oder sind Teile von Kaltluftleitbahnen und deren Einzugsgebieten. Generell gilt, dass im Falle einer Bebauung der Flächen selbst bzw. in ihrer Umgebung die Bewertung neu vorgenommen werden muss.



Tabelle 4: Flächenanteile der Kategorien für bioklimatische Bedeutung der Grünareale in der Nacht und abgeleitete Planungshinweise.

<b>Bedeutung der Grünflächen</b>	<b>Flächenanteil im Gebiet der Verwaltungsgemeinschaft Biberach [%]</b>	<b>Flächenanteil im Gebiet des Verdichtungsraums Biberach [%]</b>	<b>Allgemeine Planungshinweise</b>
0 = Keine	76,5	-	Flächen stellen für die gegenwärtige Siedlungsstruktur des Verdichtungsraums Biberach keine relevanten Klimafunktionen bereit und weisen eine geringe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung auf. Bauliche Eingriffe sollten unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen.
1 = Geringe	14,9	63,7	Flächen stellen für die gegenwärtige Siedlungsstruktur des Verdichtungsraums Biberach geringe relevante Klimafunktionen bereit und weisen eine geringe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung auf. Bauliche Eingriffe sollten unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen.
2 = Mittlere	1,4	6,1	Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur des Verdichtungsraums Biberach ergänzende klimaökologische Ausgleichsräume mit einer mittleren Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Die angrenzende Bebauung profitiert von den bereit gestellten Klimafunktionen, ist in aller Regel aber nicht auf sie angewiesen, da sie entweder bereits ein günstiges Bioklima aufweist oder nicht wohnlich genutzt wird. Bauliche Eingriffe sollten unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Funktion als bioklimatische Ausgleichsfläche erfolgen.
3 = Hohe	3,5	14,8	Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur des Verdichtungsraums Biberach wichtige klimaökologische Ausgleichsräume mit einer hohen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Bauliche Eingriffe sollten unter Auflage von Maßnahmen zum größtmöglichen Erhalt der Ausgleichsfunktion erfolgen und es sollte eine gute Durchströmbarkeit der angrenzenden Bebauung angestrebt werden.
4 = Sehr hohe	3,6	15,3	Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur des Verdichtungsraums Biberach besonders wichtige klimaökologische Ausgleichsräume mit einer sehr hohen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Bauliche Eingriffe sollten vermieden werden bzw. unter Auflage von Maßnahmen zum größtmöglichen Erhalt der Ausgleichsfunktion erfolgen. Eine gute Durchströmbarkeit der angrenzenden Bebauung ist anzustreben und zur Optimierung der Ökosystemdienstleistung sollte eine Vernetzung mit benachbarten Grün-/ Freiflächen erreicht werden (Grünverbindungen).

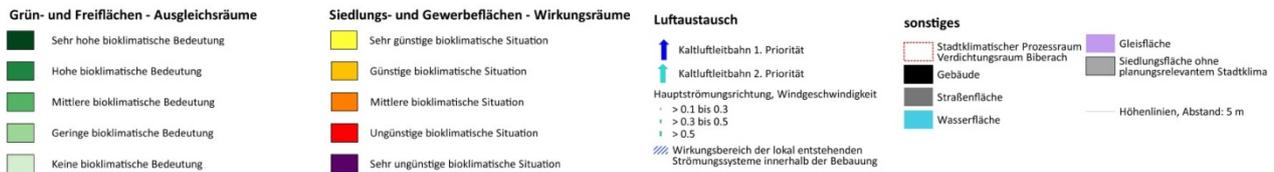


Abbildung 25 Ausschnitt aus der Planungshinweiskarte (gesamstädtische Darstellung im Format DIN A3 im Anhang (Anhang 5))

### 6.3 PLANUNGSHINWEISE UND MAßNAHMEN

Im Gebiet des Verwaltungsraums Biberach wurden die Siedlungsflächen hinsichtlich ihrer Belastungssituation sowie die Grünflächen hinsichtlich ihrer Ausgleichsfunktion bewertet. Dabei wurden die Prozessräume außerhalb des Verdichtungsraums Biberach als Flächen ohne planungsrelevantes Stadtklima bewertet und somit in der Planungshinweiskarte nicht berücksichtigt.

Die Ergebnisse bestätigen, dass es trotz der grundsätzlich relativ günstigen bioklimatischen Lage thermisch belastete Siedlungsbereiche im Verdichtungsraum Biberach gibt. Deren bioklimatische Situation sollte mindestens erhalten, möglichst jedoch durch geeignete Maßnahmen verbessert werden. Vor allem die Innenstadt, mit ihrem großen Anteil an Wohnnutzung bedarf Maßnahmen zur Reduzierung der Hitzebelastung. Weite Teile des Stadtgebiets werden über die aufgezeigten Kaltluftleitbahnen bzw. kleinräumige Ausgleichsströmungen durchströmt, doch nimmt die Durchlüftung in Richtung des Stadtkerns ab bzw. ist teilweise nicht mehr gegeben. Eine ausreichende Belüftung kann nicht nur die thermische Belastung mildern, sondern sich auch positiv auf, die in diesem Gutachten nicht näher betrachtete, Luftqualität auswirken. Entsprechend sollte der Erhalt bzw. die Verbesserung der Durchlüftung durch geeignete Maßnahmen im Fokus stehen und insbesondere die Funktion der Kaltluftleitbahnen erhalten,



d.h. auf deren Bebauung verzichtet werden. Generell ist aus humanbioklimatischer Sicht eine bauliche Verdichtung in die Höhe dem Bau von zusätzlichen Gebäuden vorzuziehen.

Die vorliegende Untersuchung bewertet nur die nächtliche Situation, da (aufgrund größerer Temperaturunterschiede) in der Nacht die signifikanten Austauschprozesse ablaufen. Die Tagsituation ist demnach nicht direkt berücksichtigt.

Bei Planungsvorhaben sollte deshalb beachtet werden, dass Ausgleichsflächen in der Tagsituation andere Bedeutungen zugeordnet werden als in der Nacht. So steht beispielsweise die günstige Wirkung von unversiegelten Freiflächen (vor allem Ackerflächen) in der Nacht (Abkühlung, Durchströmbarkeit) einer meist sehr geringen Aufenthaltsqualität am Tage gegenüber (fehlende Verschattung, wenig Aufenthalts- und Erholungsqualität). Innerstädtische Parkareale sind dagegen sowohl in der Nacht als auch am Tage i.d.R. positiv zu sehen.

Den bewerteten Siedlungs- und Grünflächen sind jeweils allgemeine Planungshinweise zugeordnet, die eine erste Einschätzung möglicher Maßnahmen erlauben, doch bezogen auf den Einzelfall genauer betrachtet werden müssen. Soweit möglich sollte der Grünanteil im Kernstadtgebiet erhöht werden, insbesondere in thermisch belasteten Bereichen (Verschattung / Begrünung der Altstadt, Pocket-Parks, Entsiegelung, großflächige Grünanlagen). Im Vergleich zu wärmespeichernden städtischen Baumaterialien kühlen Grünflächen nachts deutlich schneller ab und können (ab einer gewissen Größe) als Kaltluftentstehungsgebiete auf ihr (nahes) Umfeld wirken. Gleichzeitig erfüllen sie viele weitere Funktionen wie die Möglichkeit zur Erholung, die Erhöhung der Biodiversität und Synergieeffekten zum Niederschlagsmanagement (Versickerung) und Luftreinhaltung (Deposition von Luftschadstoffen). Auch Dach- und Fassadenbegrünung wirkt sich kühlend auf die nahe Umgebung aus. Möglichkeiten für die empirische Bewertung von Stadtgrünmaßnahmen werden in 'Handlungsziele für Stadtgrün und ihre empirische Evidenz' (BBR 2017) beschrieben.

Neben ihres Potenzials zur Verringerung der thermischen Belastung am Tage und in der Nacht (Schattenwurf, Verdunstung, etc.), übernehmen Bäume (und Sträucher) im Straßenraum die Funktion der Deposition und Filterung von Luftschadstoffen und verbessern dadurch die Luftqualität. Bei der Umsetzung entsprechender Maßnahmen sollte darauf geachtet werden, dass der vertikale Luftaustausch erhalten bleibt, um Schadstoffe abzutransportieren und die nächtliche Ausstrahlung zu gewährleisten.

Klimaangepasstes Bauen ist am einfachsten bei Neubauten umzusetzen, doch auch im Bestand und bei der Verdichtung sind entsprechende Maßnahmen möglich. Im Neubau bietet sich die Chance, die Gebäudeausrichtung zu optimieren und damit den direkten Hitzeeintrag zu reduzieren. Unter Berücksichtigung der Sonnen- und Windexposition sollten Gebäude so ausgerichtet werden, dass in sensiblen Räumen wie z.B. Schlaf- bzw. Arbeitszimmern der sommerliche Hitzeeintrag minimiert wird.

Durch geeignete Gebäudeausrichtung kann darüber hinaus eine gute Durchlüftung mit kühlender Wirkung beibehalten bzw. erreicht werden (Ausrichtung parallel zur Kaltluftströmung, (grüne) Freiflächen zwischen den Gebäuden). Auch die Verwendung geeigneter Baumaterialien lässt sich im Wesentlichen nur bei Neubauten realisieren. Dabei ist auf deren thermische Eigenschaften zu achten – natürliche Baumaterialien wie Holz haben einen geringeren Wärmeumsatz und geben entsprechend nachts weniger Energie an die Umgebungsluft ab als z.B. Stahl oder Glas. Bautechnische Maßnahmen zur Verbesserung des Innenraumklimas wie Dach- und Fassadenbegrünung, Verschattungselemente oder Wärmedämmung sind auch im Bestand umsetzbar und bieten vielfach Synergieeffekte zum Energieverbrauch der Gebäude.



Bei Nachverdichtungen im Stadtgebiet sollten die Belange klimaangepassten Bauens berücksichtigt werden (insbesondere die Gewährleistung einer guten Durchlüftung). In der Regel stellt die vertikale Nachverdichtung dabei die aus stadtklimatischer Sicht weniger belastende Lösung dar, wobei die genaue Ausgestaltung jeweils im Einzelfall geprüft werden muss.



## 7 Demographische Betroffenheit

### 7.1 VORGEHENSWEISE

Die Planungshinweiskarte (PHK) Stadtklima stellt gemäß VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1 das Endprodukt der gesamtstädtischen Klimaanalyse dar (VDI 2015). Gleichzeitig weist die Richtlinie darauf hin, dass das Planwerk seine wirkliche Bedeutung und Stärke erst durch die Verknüpfung zu den vom Stadtklimaphänomen betroffenen Themenfeldern entfalten kann. Die PHK bildet damit die aus fachgutachterlicher Perspektive bewertete meteorologische bzw. humanbioklimatische Basis, die als „Belastungsanalyse“ bezeichnet werden kann.

Die in der PHK vorgenommenen Bewertungen müssen zunächst von der aktuellen Flächen- bzw. Gebäudenutzung, den demographischen Verhältnissen und zukünftig geplanten Stadtentwicklungsvorhaben abstrahiert werden. Denn diese Punkte unterliegen einem stetigen Wandel, während die PHK eine Gültigkeit von 5 bis 10 Jahren besitzt (je nach Entwicklungsdynamik der Stadt bzw. der Analysemethoden). Durch die regelmäßige Rückkopplung zwischen den relativ konstant gültigen Aussagen zur stadtklimatischen Belastungen und den dynamischen Empfindlichkeiten innerhalb der Stadtbevölkerung (demographische Betroffenheit) bzw. des gebauten Stadtkörpers können in Form von Momentaufnahmen räumlich differenzierte Betroffenheitsanalysen durchgeführt werden. Die statistischen Angaben zu den Bevölkerungsgruppen pro 100 m \* 100 m Rasterzelle wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt (Stadtplanungsamt Biberach, 2018).

### 7.2 VULNERABLE ALTERSGRUPPEN IN BIBERACH

Biberach hat gegenwärtig 33.488 Einwohnerinnen und Einwohner (Stand 31.12.2017). Unter der Stadtbevölkerung gehört mehr als jede vierte Person einer gemeinhin als hitzesensibel definierten Alterskategorie an (ca. 8.700 Personen, Abbildung 26). Zu dieser Risikogruppe zählen aufgrund ihrer noch nicht vollständig ausgeprägten Thermoregulation Kleinkinder ≤ 5 Jahre sowie aufgrund einer zunehmend geringeren Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems ältere Menschen ≥ 65 Jahre). Die letztgenannte Altersgruppe ist hier von herausragender Bedeutung da sie über 22 % der Einwohnerzahl Biberachs ausmacht. Aber auch die mehr als 1.500 Kleinkinder sollten als relevante thermisch sensible Gruppe wahrgenommen werden.

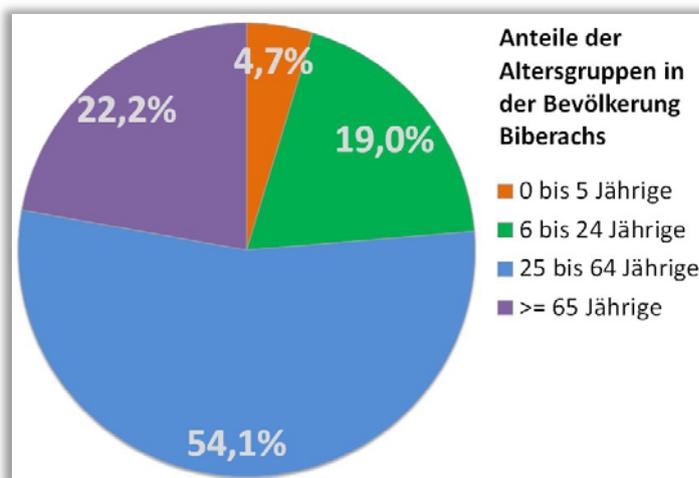


Abbildung 26 Prozentuale Verteilung der Altersgruppen in der Bevölkerung für die Stadt Biberach

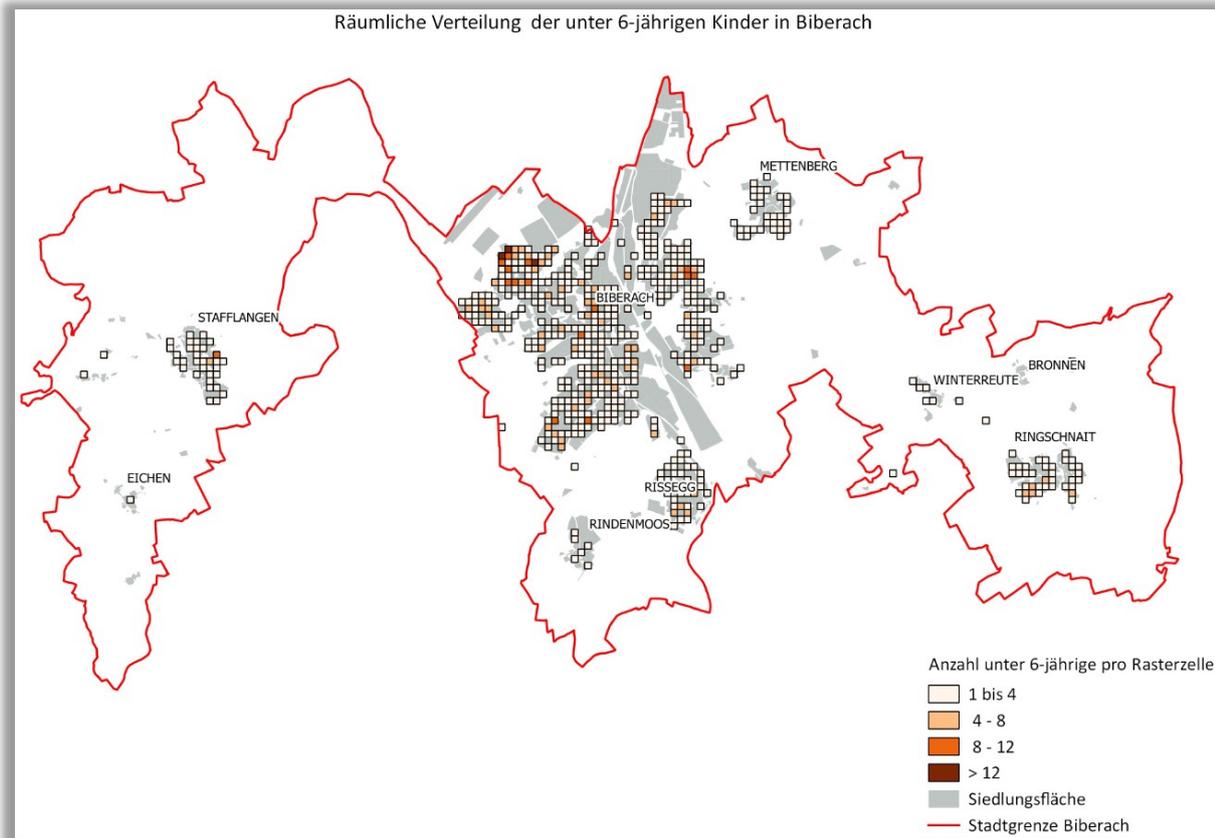


Abbildung 27 Räumliche Verteilung der unter 6- jährigen Kinder in der Stadt Biberach

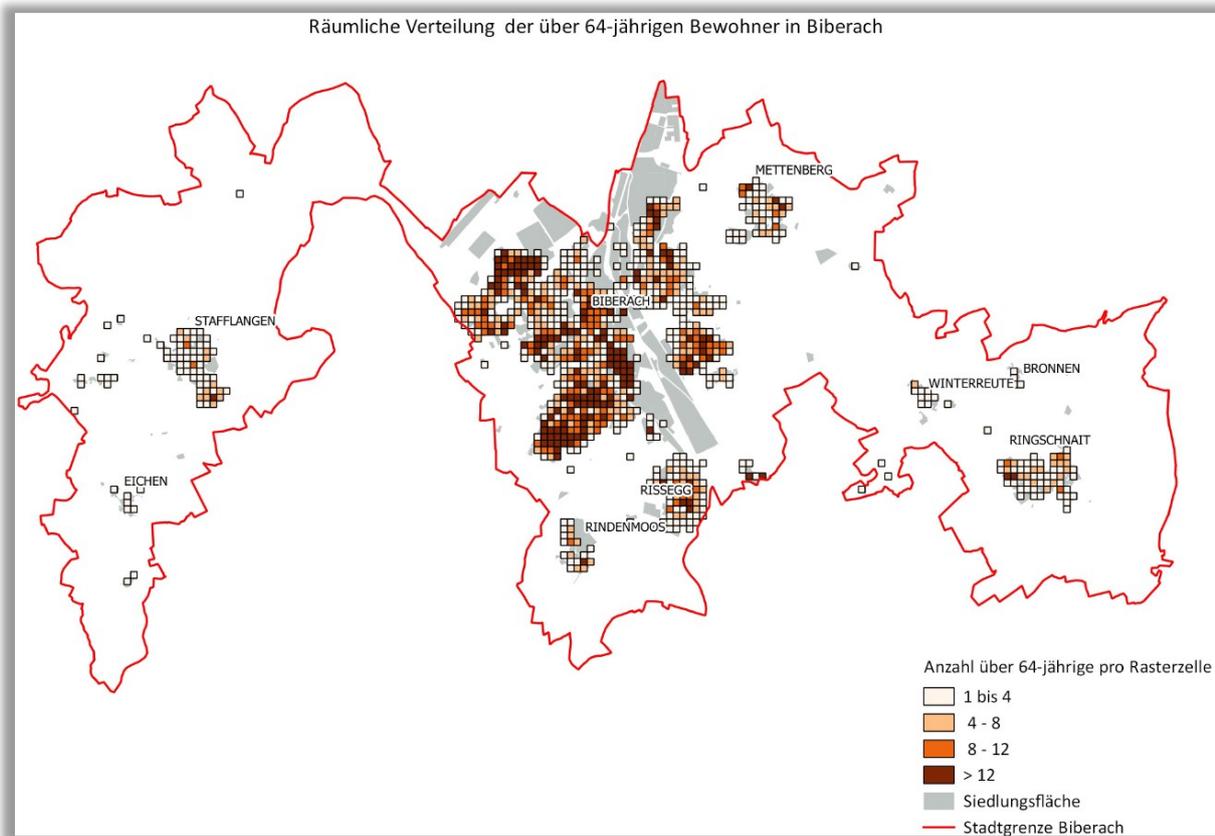


Abbildung 28 Räumliche Verteilung der über 64- jährigen Bewohner in der Stadt Biberach



Abbildung 27 und Abbildung 28 zeigen jeweils die räumliche Verteilung der vulnerablen Bevölkerungsgruppen im Stadtgebiet von Biberach auf der Ebene der 100 m \* 100 m großen Rasterzellen. Eine hohe Dichte an Kindern unter 6 Jahren ist besonders im Stadtteil Weißes Bild zu finden. Dort ist auch die Einwohnerdichte von Erwachsenen im Alter von mindestens 65 Jahren sehr hoch. Weitere Gebiete mit hoher Dichte an über- 64-jährigen Bewohnern sind über das gesamte Stadtgebiet der Kernstadt verteilt (Abbildung 28).

### 7.3 KONFLIKTBEREICHE / BETROFFENHEITSANALYSE

Konflikte entstehen dort, wo eine *Ungünstige* oder *Sehr ungünstige* thermische Situation (vgl. Kapitel 6.2) auf eine hohe Dichte an vulnerabler Bevölkerung (unter 6- jährige bzw. über 64- jährige Personen) trifft. So wurden die Informationen aus der modellgestützten Klimaanalyse mit den Rasterzellen der demographischen Daten überlagert, und die thermisch (sehr) ungünstigen Bereiche hervorgehoben, in denen die Dichte zumindest einer Risikogruppe mehr als 12 Personen pro Hektar (eine Rasterzelle hat die Fläche von einem Hektar) beträgt. Die so erhaltenen Konfliktbereiche sind nur im Kernstadtbereich von Biberach zu finden. Abbildung 29 zeigt sie in rot umrandet. Handlungsbedarf besteht vor allem in den Wohnbereichen um den Altstadtkern, wo sich mehrere Konfliktbereiche konzentrieren.

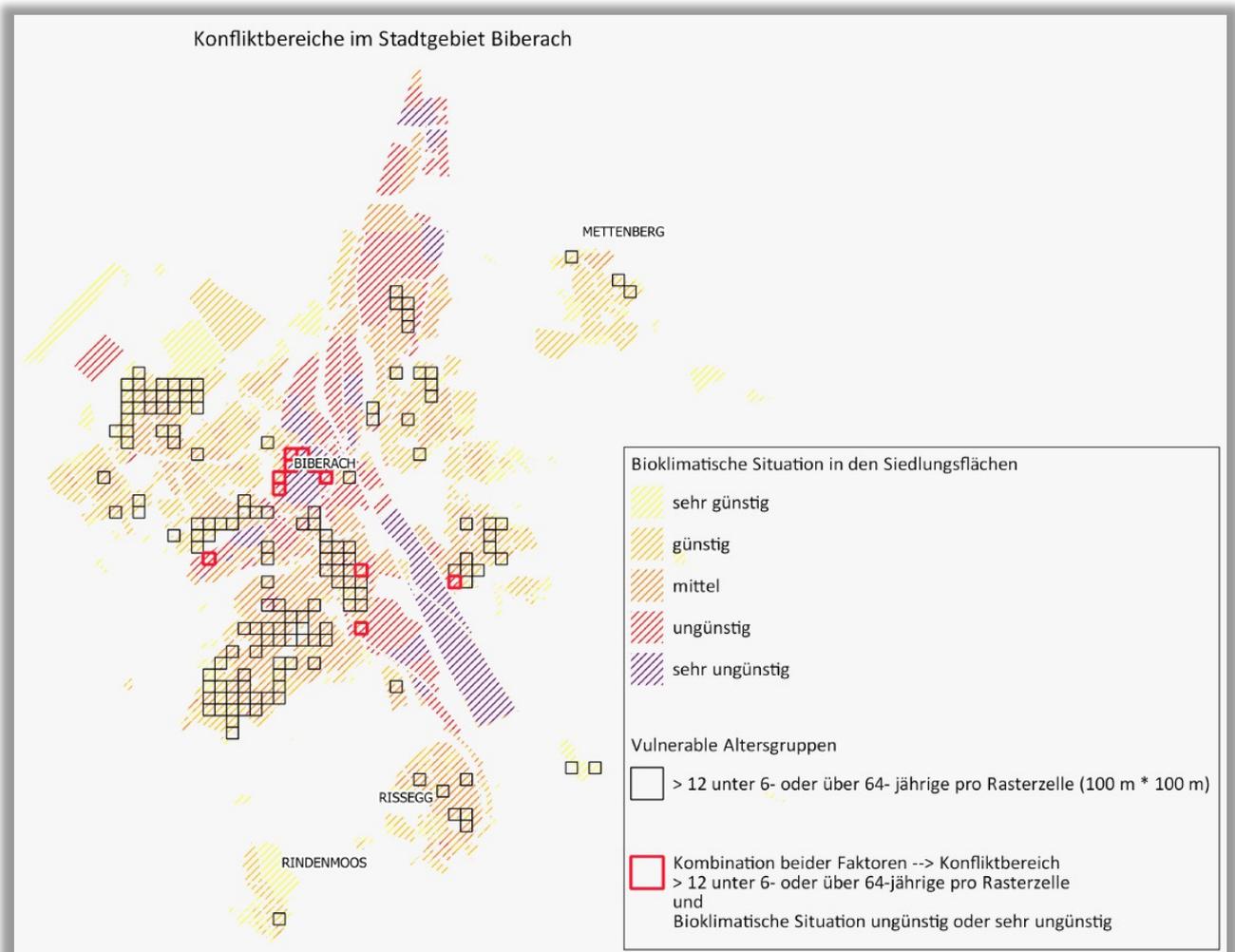


Abbildung 29 Konfliktbereiche für die Nachtsituation im Stadtgebiet Biberach



## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Stadtklimaanalyse für die Verwaltungsgemeinschaft Biberach konzentriert sich auf den thermischen Wirkkomplex zwischen der städtischen Bebauung als Wirkungsraum und den Grünflächen als Ausgleichsraum für die Nachtsituation. Dabei wird das auf den Menschen wirkende Bioklima in den Fokus gestellt.

Mit Hilfe des Stadtklimamodells FITNAH 3D wurden flächendeckende Ergebnisse der wichtigsten meteorologischen Parameter Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit sowie Windrichtung und Kaltluftvolumenstrom für die Nachtsituation berechnet. Der Simulation liegt eine autochthone sommerliche Wetterlage zugrunde (herabgesetzter Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht, hohe Ein- und Ausstrahlung bei wolkenlosem Himmel). Zur Inwertsetzung und Erstellung von Planungskarten wurden die rasterbasierten Ergebnisse auf die Flächen einzelner Nutzungsstrukturen übertragen.

Die Klimaanalysekarte spiegelt die Überwärmung der Siedlungsflächen und das Kaltluftprozessgeschehen für das gesamte Untersuchungsgebiet wider. Sie veranschaulicht die strukturellen Unterschiede auf das Temperaturfeld sowie den städtischen Wärmeineffekt (bis zu 7 K höhere Temperaturen im Stadtkern verglichen mit siedlungsfernen Freiflächen) und bildet die in einer autochthonen Sommernacht entstehenden Ausgleichsströmungen ab (Flurwinde).

Die Planungshinweiskarte quantifiziert die Belastung in den Siedlungsflächen (Wirkungsraum) sowie die Bedeutung von Grünflächen als Ausgleichsräume. Dabei wurden nur die Siedlungsflächen mit planungsrelevantem Stadtklima bewertet, d. h. solche Ortslagen, die entsprechende Überwärmung und Flächengröße aufweisen. Zur Abgrenzung dieser Siedlungsräume wurde ein Prozessraum festgelegt, der die Stadt Biberach sowie das direkte Umland umfasst. Außerdem werden mehrere für die Durchströmung des Stadtgebiets besonders wichtige Kaltluftleitbahnbereiche identifiziert. In der Nacht ist ein erholsamer Schlaf von besonderer Bedeutung, sodass in der Bewertung die reinen Wohngebiete im Vordergrund stehen.

In der Nacht belastete Siedlungsflächen treten insbesondere in der Innenstadt Biberachs sowie den umliegenden Ringgebieten auf, während sich die bioklimatische Situation mit zunehmender Entfernung zum Kernbereich tendenziell verbessert. In der Nacht weisen etwa 30 % der Grünflächen im *Prozessraum Verdichtungsraum Biberach* eine hohe oder sehr hohe Bedeutung in Bezug auf das Kaltluftprozessgeschehen auf. Dies sind zum einen innerstädtische Parkareale, zum anderen aber besonders die stadtnahen Flächen die als Einzugsgebiete für die Kaltluftleitbahnen dienen.

Im Vergleich zu anderen deutschen Groß- und Mittelstädten weist der Verdichtungsraum Biberach ein großflächig gesundes Stadtklima auf. Andererseits kann aus den Ergebnissen der Stadtklimaanalyse festgehalten werden, dass es im Stadtgebiet von Biberach thermisch belastete Siedlungsbereiche gibt, deren bioklimatische Situation mindestens erhalten, möglichst durch geeignete Maßnahmen verbessert werden sollte. Konfliktbereiche, in denen besonders hitzeempfindliche Altersgruppen auf belastete Gebiete treffen, wurden anhand von demographischen Daten identifiziert. Weite Teile des Stadtgebiets werden über die aufgezeigten Kaltluftleitbahnen – deren Funktion durch Bebauung nicht eingeschränkt werden sollte – bzw. kleinräumige Ausgleichsströmungen durchströmt, doch nimmt die Durchlüftung in Richtung des Stadtkerns ab und fällt in der Innenstadt sowie den meisten zentrumsnahen Bereichen nur noch gering aus bzw. ist teilweise nicht mehr gegeben. Eine ausreichende Belüftung kann nicht nur die thermische Belastung mildern, sondern sich auch positiv auf - die in diesem Gutachten nicht näher betrachtete - Luftqualität auswirken. Entsprechend sollte der Erhalt bzw. die Verbesserung der Durchlüftung und die verstärkte Durchgrünung verdichteter Siedlungsbereiche durch geeignete Maßnahmen im Fokus stehen.



Den bewerteten Siedlungs- und Grünflächen sind jeweils allgemeine Planungshinweise zugeordnet, die eine erste Einschätzung möglicher Maßnahmen bzw. Gebote erlauben, doch bezogen auf den Einzelfall genauer betrachtet werden müssen. Empfohlene Maßnahmenbereiche sind vor allem

- Erhöhung des Grünanteils vor allem in den belasteten Gebieten: Entsiegelung, Verschattung, Pocket-Parks, Grünanlagen, Straßenbäume, Dach- und Fassadenbegrünung
- Erhalt und Entwicklung von Kaltluftleitbahnen
- Klimaangepasstes Bauen: durchlüftungsfördernde Gebäudeausrichtung, Wärmedämmung, Dach- und Fassadenbegrünung, Verschattung



## Quellenverzeichnis

- BBSR Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2017): Handlungsziele für Stadtgrün und deren empirische Evidenz. Bonn
- DFG (1988) – Deutsche Forschungsgemeinschaft: Physikalische Grundlagen des Klimas und Klimamodelle. Abschlussbericht. Bonn.
- 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.
- Häckel, H. (2012): Meteorologie. 7. Auflage. Stuttgart.
- Hergert (1991): Klimatische und lufthygienische Situation am Kronsberg und die Beeinträchtigung der klimaökologischen Ausgleichswirkung durch Bebauung. Diplomarbeit an der Universität Hannover.
- Kiese, O. (1988): Die Bedeutung verschiedenartiger Freiflächen für die Kaltluftproduktion und die Frischluftversorgung von Städten. Landschaft + Stadt 20, H.2: S. 67-71.
- Kuttler, W. (1999): Human-biometeorologische Bewertung stadtklimatologischer Erkenntnisse für die Planungspraxis. In: Wissenschaftliche Mitteilungen aus dem Institut für Meteorologie der Universität Leipzig und dem Institut für Troposphärenforschung e. V. Leipzig. Band 13.
- Kuttler, W. (2009): Klimatologie. Paderborn.
- LUBW – Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (2018): Klimaatlas Baden-Württemberg. Mannheim. Online-Version: [www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de).
- Malberg, H. (2002): Meteorologie und Klimatologie-Eine Einführung. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg.
- Mosimann et al. (1999): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen. Heft 4/99: S. 202-275.
- Oke, T. R. (1973): City size and the urban heat island. Atmospheric Environment (1967), Volume 7, Issue 8: S. 769-779.
- Regionalverband Donau – Iller (2015): Regionale Klimaanalyse Donau – Iller, Wissenschaftlicher Abschlussbericht. Ulm
- SCHÖNWIESE, C.- D. (2008): Klimatologie. 3. Auflage. Stuttgart.
- SEITZ, Dr. R und BURST, Dr. A. (1992): Klimaökologische Analyse im nördlichen Stadtgebiet von Biberach unter besonderer Berücksichtigung des Strömungsgeschehens. Mannheim.
- STADTPLANUNGSAMT BIBERACH (2018): Geoeingangsdaten für die Modellrechnung, flächendeckend für das Gebiet der Verwaltungsgemeinschaft Biberach: ATKIS-Polygone, DGM (1 m Auflösung), Gebäude, aktuelle B-Pläne, Statistikraster mit Einwohnerzahlen (letzteres nur für das Gemeindegebiet Biberach)
- UBA (2016) - Umweltbundesamt: Heizen, Raumtemperatur.  
Online: [www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaftskonsum/umweltbewusstleben/heizen-raumtemperatur](http://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaftskonsum/umweltbewusstleben/heizen-raumtemperatur)
- VDI (2004): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 9. Umweltmeteorologie. Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene.
- Van den Bosch et al. (2015): Development of an urban green space indicator and the public health rationale. Scandinavian Journal of Public Health 10/2015, Göteborg.
- VDI (2008a): VDI-Richtlinie 3785 Blatt 1. Umweltmeteorologie. Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima.
- VDI (2008b): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2. Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil I: Klima.
- VDI (2015): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1. Umweltmeteorologie. Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen.



## Anhang 1 - 7