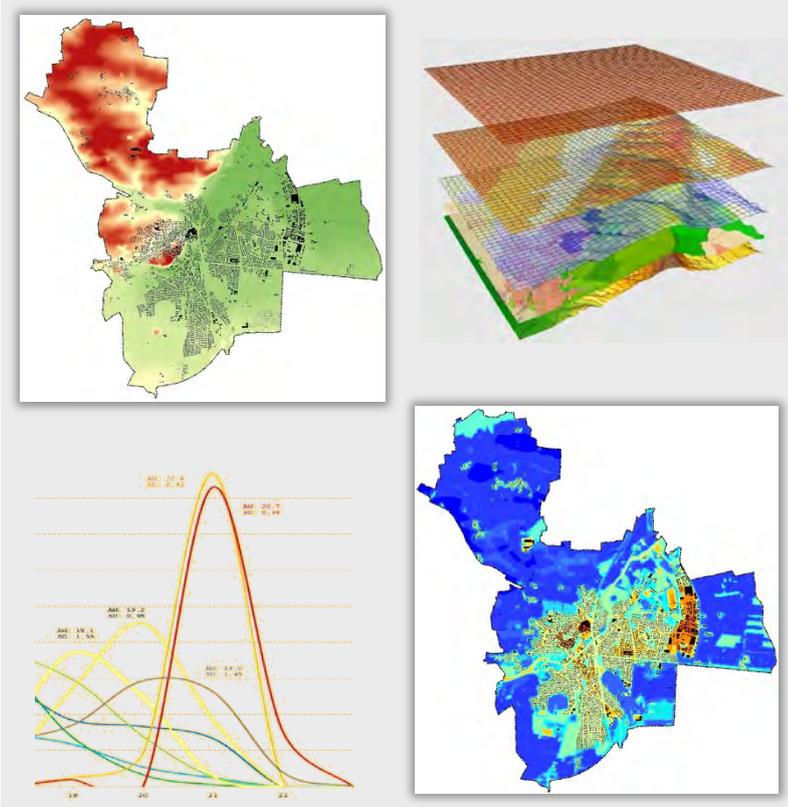


Analyse der klimaökologischen Funktionen und Prozesse für das Gebiet der großen Kreisstadt Dachau

Abschlussbericht



Auftraggeber:

Große Kreisstadt Dachau
Stadtgrün und Umwelt
Otto-Hahn-Straße 3
85221 Dachau



GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Grosse Pfahlstrasse 5a

3 0 1 6 1 Hannover

Tel. (0511) 3887200

FAX (0511) 3887201

www.geo-net.de

Auftrag: Analyse der klimaökologischen Funktionen und Prozesse für das Gebiet der großen Kreisstadt Dachau

Standort: Stadt Dachau
Bundesland: Bayern
Deutschland

Auftraggeber: Große Kreisstadt Dachau
Stadtgrün und Umwelt
Otto-Hahn-Straße 3
85221 Dachau

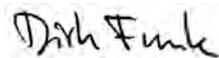
Projektnummer: 2_17_033

Berichtsnummer: 2_017_033_Dachau_Klimaanalyse_Rev00

Version: 1

Datum: 17. Mai 2018

Erstellt von:



Dipl.-Geogr. Dirk Funk

Geprüft von:



Dipl.-Geogr. Peter Trute

Unter Mitarbeit von:



Prof. Dr. Günter Groß



GEO-NET
Umweltconsulting GmbH

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

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

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

Amtsgericht Hannover
HRB 61218

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

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





Inhaltsverzeichnis

Seite:

| | |
|---|------------|
| Abbildungsverzeichnis..... | II |
| Tabellenverzeichnis..... | III |
| Glossar..... | IV |
| 1. Aufgabenstellung | 1 |
| 2 Datengrundlage und Aufbau der Geodatenbasis für die Modellrechnungen | 3 |
| 3. Methode der modellgestützten Stadtklimaanalyse | 6 |
| 3.1 Das Stadtklimamodell FITNAH 3D | 6 |
| 3.2 Synoptische Rahmenbedingungen..... | 7 |
| 3.3 Abgrenzung der klimaökologischen wirksamen Nutzungsstrukturen..... | 9 |
| 4. Ergebnisse der Klimamodellierung..... | 11 |
| 4.1 Nächtliches Temperaturfeld..... | 11 |
| 4.2 Physiologisch Äquivalente Temperatur..... | 13 |
| 4.3 Autochthones Windfeld | 14 |
| 4.4 Kaltluftvolumenstrom | 17 |
| 5 Klimaanalysekarte | 21 |
| 5.1 Grün- und Freiflächen | 21 |
| 5.2 Siedlungsräume..... | 23 |
| 5.3 Luftaustausch | 24 |
| 6 Planungshinweiskarten Stadtklima | 26 |
| 6.1 Vorgehensweise | 26 |
| 6.1.1 Bewertung der Nachtsituation..... | 26 |
| 6.1.2 Bewertung der Tagsituation..... | 30 |
| 6.2 Ergebnisse | 30 |
| 6.2.1 Nachtsituation..... | 30 |
| 6.2.2 Tagsituation..... | 34 |
| 7 Literatur | 39 |



Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abb. 1.1: Prozessorientierte Analyse..... | 1 |
| Abb. 2.1: Geländehöhe im Stadtgebiet..... | 3 |
| Abb. 2.2: Nutzungsstruktur im Stadtgebiet Dachau | 5 |
| Abb. 3.1: Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für verschiedene Landnutzungen | 8 |
| Abb. 3.2: Schema der Wertezuordnung zwischen Flächen- und Punktinformation..... | 9 |
| Abb. 3.3: Prinzipskizze Kaltluftleitbahn | 10 |
| Abb. 4.1: Temperaturfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2m ü. Grund)..... | 12 |
| Abb. 4.2: PET zum Zeitpunkt 14 Uhr mittags (2m ü. Grund) | 14 |
| Abb. 4.3: Prinzipskizze Flurwind | 15 |
| Abb. 4.4: Nächtliches Windfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2m ü. Grund)..... | 16 |
| Abb. 4.5: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom | 17 |
| Abb. 4.6: Veranschaulichung der Standardisierung zur vergleichenden Bewertung von Parametern | 18 |
| Abb. 4.7: Kaltluftvolumenstrom zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2m ü. Grund)..... | 20 |
| Abb. 5.1: Klimaanalysekarte | 24 |
| Abb. 6.1: Verknüpfungsmodell zur Ermittlung der bioklimatischen Bedeutung der Grünflächen in der Nacht | 29 |
| Abb. 6.2: Planungshinweiskarte Nachtsituation..... | 31 |
| Abb. 6.3: Flächenanteile der bewerteten Nutzungsstrukturen im Stadtgebiet Dachau (Nachtsituation) | 33 |
| Abb. 6.5: Flächenanteile der bewerteten Nutzungsstrukturen im Stadtgebiet Dachau (Tagsituation) | 35 |
| Abb. 6.4: Planungshinweiskarte Tagsituation..... | 36 |
| Abb. 6.6: Klimatisch günstige Ausgestaltung von Freiflächen | 38 |



Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tab. 2.1: Nutzungskategorien der Klimamodellierung | 4 |
| Tab. 4.1: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET während der Tagesstunden (nach VDI 2004) | 13 |
| Tab. 4.2: Qualitative Einordnung des Kaltluftvolumenstroms..... | 19 |
| Tab. 6.1: Bewertung des nächtlichen Wärmeineffekts im bebauten Siedlungsraum sowie Strassen und Plätzen..... | 27 |
| Tab. 6.2: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET während der Tagesstunden..... | 30 |
| Tab. 6.3: Flächenanteile bioklimatisch belasteter Siedlungsgebiete in der Nacht und abgeleitete Planungshinweise..... | 32 |
| Tab. 6.4: Flächenanteile bioklimatisch bedeutender Grünareale in der Nacht und abgeleitete Planungshinweise..... | 33 |
| Tab. 6.5: Flächenanteile bioklimatisch belasteter Siedlungsgebiete am Tage und abgeleitete Planungshinweise..... | 34 |
| Tab. 6.6: Flächenanteile bioklimatisch bedeutender Grünareale am Tage und abgeleitete Planungshinweise..... | 35 |



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 und lufthygienischen 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 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.

Kaltlufteinwirkungsbereich: Wirkungsbereich der lokal entstehenden Strömungssysteme innerhalb des bebauten Siedlungsraumes (Siedlungsflächen innerhalb des Stadtgebietes, die von einem klimatisch wirksamen



→ *Kaltluftvolumenstrom* $> 140 \text{ m}^3/\text{s}$ 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 Ausgleichsströmungen sowie reliefbedingte → *Kaltluftabflüsse*.

Kaltluftvolumenstrom: Vereinfacht ausgedrückt das Produkt der Fließgeschwindigkeit der → *Kaltluft*, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts einer 25 m Rasterzelle (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 ($^{\circ}\text{C}$) interpretiert werden.

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

Planungshinweiskarte: Bewertung der bioklimatischen Belastung im bebauten Siedlungsraum sowie an Strassen und Plätze im Stadtgebiet (→ *Wirkungsräume*) sowie der Bedeutung von Grünflächen als → *Ausgleichsräume* für die Tag- und die 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* sowie → *Kaltluftabflüsse* und → *Kaltluftleitbahnen* 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 oder lufthygienische Belastung auftreten kann.

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



1. Aufgabenstellung

Die Schutzgüter Klima bzw. Luft sind wichtige Aspekte der räumlichen Planung und Bestandteile der Abwägung in der Bauleitplanung und Umweltverträglichkeitsprüfung. Vor dem Hintergrund konkurrierender Planungsziele sind flächenbezogene Fachinformationen ein wichtiges Hilfsmittel zur sachgerechten Beurteilung dieser Schutzgüter. Aus der Kenntnis des in einer Stadt vorherrschenden Lokalklimas sowie der dadurch mitbestimmten lufthygienischen Situation und den klimatischen Funktionszusammenhängen lassen sich Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen zur Verbesserung von Klima und Luft ableiten. Dieser Leitgedanke gilt der Sicherung, Entwicklung und Wiederherstellung klima- und immissionsökologisch wichtiger Oberflächenstrukturen und zielt auf die Erhaltung und Verbesserung günstiger bioklimatischer Verhältnisse und die Unterstützung gesundheitlich unbedenklicher Luftqualität ab.

Im Auftrag der Großen Kreisstadt Dachau wurde vom Büro GEO-NET Umweltconsulting GmbH in Kooperation mit Prof. Dr. G. Gross (Universität Hannover, Deutschland) eine modellgestützte Analyse zu den klimaökologischen Funktionen für das Stadtgebiet durchgeführt. Im Vordergrund standen dabei austauscharme sommerliche Hochdruckwetterlagen (auch autochthone Wetterlagen genannt), die häufig mit einer überdurchschnittlich hohen Wärmebelastung in den Siedlungsräumen einhergehen. Technisch ermöglichen nur solche Wetterlagen eine Analyse der lokalklimatischen Situation, da übergeordnete Wetterphänomene aufgrund von großräumigen Luftdruckdifferenzen die zu analysierenden lokalen Phänomene nicht überlagern. Unter diesen meteorologischen Rahmenbedingungen können nächtliche Kalt- und Frischluftströmungen aus dem Umland und innerstädtischen Grünflächen zum Abbau der Belastungen beitragen (Abb. 1.1).

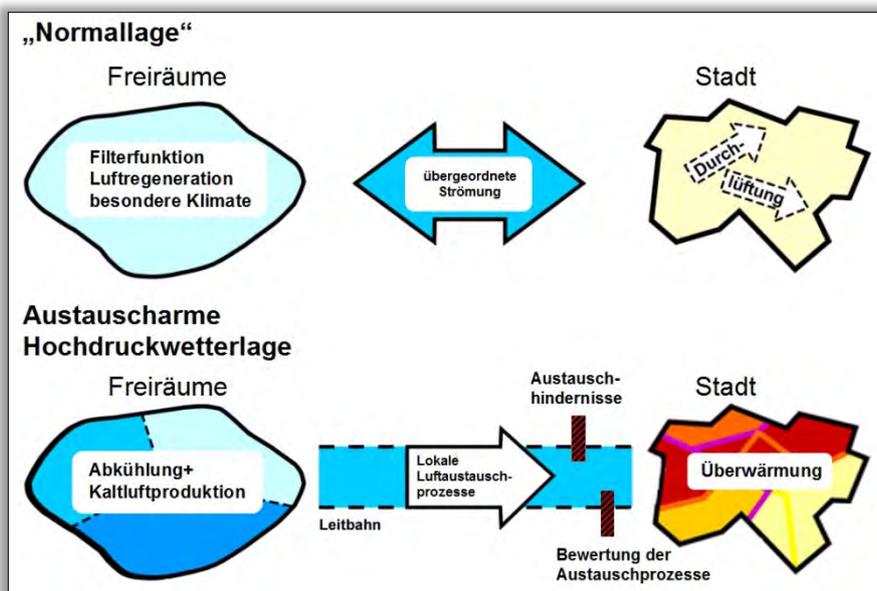


Abb. 1.1: Prozessorientierte Analyse

Zwischen klimatisch wirksamen Grün-/Freiflächen einerseits und städtisch verdichteten Bereichen andererseits sowie verbindender Strukturen ergibt sich ein komplexes Bild vom Prozesssystem der Luftaustauschströmungen im Stadtgebiet Dachau.



Die mit der Anwendung des Klimamodells FITNAH (Flow over Irregular Terrain with Natural and Anthropogenic Heat Sources) gewonnenen Ergebnisse der Klimaanalyse haben zu einer umfassenden Bestandsaufnahme der klimatischen Situation im Stadtgebiet von Dachau geführt. Die durchgeführten Untersuchungen haben darüber hinaus zum Ziel, klimaökologisch wichtige und bioklimatisch belastete Raumstrukturen herauszuarbeiten und darzustellen. Es werden Kaltluftentstehungsgebiete, Flächen für den Luftaustausch und Flächen mit Wärmeinseleffekt als wichtige Bausteine für die Landschaftsplanung erarbeitet.

Das Ergebnis ist eine aktuelle, komplexe und hochauflösende Karte der klimaökologischen Funktionen. Als Grundlage für die Bewertung dienen die modellierten meteorologischen Parameter der Klimaanalyse. Methodischer Ausgangspunkt für die Analyse der klimaökologischen Funktionen ist die Gliederung des Stadtgebietes in:

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

Aus der Abgrenzung der unterschiedlich wärmebelasteten Siedlungsflächen, den Grünräumen sowie der verbindenden Strukturen ergibt sich somit ein komplexes Bild vom Prozesssystem der Luftaustauschströmungen in Form einer *Klimaanalysekarte*. Dieses Vorgehen unterscheidet sich damit von der früher verbreiteten - und sich im Wesentlichen auf die VDI Richtlinie 3787 Blatt 1 stützenden - statischen Betrachtung auf der Basis von Klimatopen, in welchen ein, den unterschiedlichen Nutzungen entsprechendes, einheitliches Mikroklima unabhängig von der Lage des Klimatops angenommen wird (VDI 1997). Während eine Thermalscannerbefliegung lediglich die Oberflächentemperatur darstellt, nicht aber die eigentliche Lufttemperatur oder Kaltluftströmungen erfasst, bietet die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung eingesetzte Methode den Vorteil, dass das Luftaustauschgeschehen und die Verhältnisse der bodennahen Atmosphäre umfassend abgebildet werden.

Die Ergebnisse spiegeln neben der Nacht-Situation auch die bioklimatische Belastung am Tage wider. Darüber hinaus werden, getrennt für die Nacht- und Tagsituation, eine Bewertung der bioklimatischen Belastung in den Siedlungsräumen bzw. der Bedeutung von Grünflächen als Ausgleichsräume vorgenommen und entsprechende *Planungshinweiskarten* abgeleitet.



2 Datengrundlage und Aufbau der Geodatenbasis für die Modellrechnungen

Bei einer Gesamtgröße des Untersuchungsraums von ca. 115,5 km² geht die Abgrenzung des Simulationsraumes deutlich über das Stadtgebiet hinaus und zielt darauf ab, auch außerhalb des Stadtgebietes vorhandene Strukturen wie Wald- und Ackerflächen in die Klimamodellierung zu integrieren. Somit ist gewährleistet, dass alle für den Kaltlufthaushalt relevanten Struktureinheiten - insbesondere des Reliefs - berücksichtigt werden. Die für die FITNAH-Modellierung vorgesehene Rasterzellenauflösung beträgt 20 m. Zur Bereitstellung der orographischen Eingangsparameter für die Klimaanalyse konnte auf eine digitale Höhenkarte zurückgegriffen werden (Abb. 2.1). Für das nähere Umland wurde das Geländemodell durch DTED-Höhendaten ergänzt (Digital Terrain Elevation Data - NGA 2004).

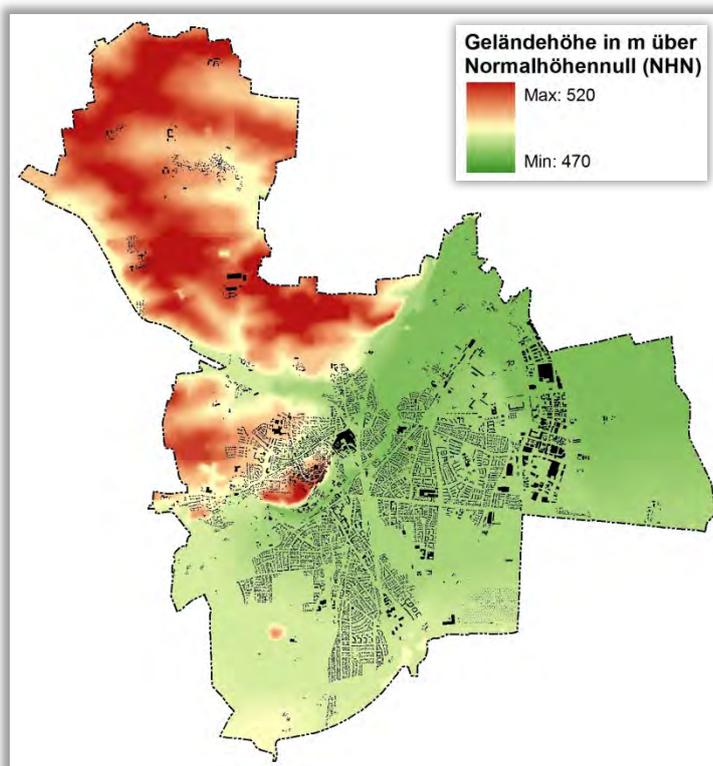


Abb. 2.1: Geländehöhe im Stadtgebiet

Für die Aufbereitung der Nutzungsstrukturen wurden im Wesentlichen Daten aus dem ATKIS Basis-DLM sowie die tatsächliche Nutzung aus ALKIS (Datenstand 2017) verwendet. Ein wichtiger Modelleingangsparameter stellt darüber hinaus die Höhe der Baustrukturen dar, welche einen wesentlichen Einfluss auf das lokale Windfeld ausüben. Da auf der gesamtstädtischen Maßstabsebene keine Einzelgebäude aufgelöst wurden, sind für die Einordnung der Strukturhöhe und des Oberflächenversiegelungsgrades nutzungsklassifizierte vorliegende Literaturdaten (u.a. MOSIMANN et al. 1999) genutzt worden, die auf empirisch gewonnenen Untersuchungsergebnissen aus mehreren deutschen Städten beruhen. Um den speziellen Anforderungen der Modellanalyse gerecht werden zu können, wurde bei der Aufbereitung der Nutzungsstrukturen ein 11-klassiger Nutzungsschlüssel verwendet.

Der Schlüssel wurde vor allem auch dahingehend definiert, eine problemlose Zuweisung des mittleren Versiegelungsgrades auf Basis der in den Eingangs- und Literaturdaten vorkommenden Nutzungsklassifizierungen zu ermöglichen. In einem weiteren Schritt sind unter Verwendung von Luftbildern die Datenpunkte der Modellrechnung überprüft und gegebenenfalls ergänzt worden



(LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, BREITBAND UND VERMESSUNG 2017). Damit war es beispielsweise möglich, über die in den Nutzungsdaten enthaltenen Informationen hinaus zusätzliche Grünanteile innerhalb von Siedlungsbereichen zu erfassen und deren klimatische Wirkung zu berücksichtigen. Die verwendeten Nutzungskategorien zeigt Tab. 2.1.

| Klasse | Flächentyp | Beschreibung | Mittlerer Versiegelungsgrad (%) | Mittlere Strukturhöhe (m) |
|--------|--------------------------------|---|---------------------------------|---------------------------|
| 1 | 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 |
| 2 | Industrie- und Gewerbefläche | Sie weist einen hohen Versiegelungsgrad auf, gleichzeitig ist der versiegelte Flächenanteil oft grösser als der mit Gebäuden bestandene. | 87 | 10.0 |
| 3 | 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 |
| 4 | 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 |
| 5 | Straßenraum | Ebenerdig versiegelte Fläche des Straßenraums. | 95 | 0.0 |
| 6 | Gleisfläche | Schienenverkehrsfläche mit geringer Strukturhöhe. | 25 | 0.5 |
| 7 | Baulich geprägte Grünfläche | Unter diesem Flächentyp sind vegetationsgeprägte Flächen zusammengefasst, welche zugleich auch einen gewissen Anteil an versiegelter Fläche (Zuwegungen) und/oder Bebauung aufweisen. Dazu zählen z.B. Kleingartenanlagen und Gartenbauflächen, sowie Spiel- und Sportplätze. Es überwiegt aber letztlich die Eigenschaft als Grünfläche. | 25 | 5.0 |
| 8 | Freiland | Beinhaltet vor allem landwirtschaftlich genutzte Wiesen und Weiden sowie ackerbaulich genutzte Flächen. Innerstädtisch handelt es sich meist um Rasenflächen mit geringem Gehölzanteil. | 5 | 1.0 |
| 9 | Gehölz | Diese Nutzungskategorie umfasst sowohl innerstädtische Parkareale und Gehölzflächen als auch Obstbauflächen, Baumschulen und Straßenbegleitgrün. | 5 | 2.0 |
| 10 | Wald | Waldflächen sowie waldartige Bestände im Siedlungsbereich. | 5 | 12.5 |
| 11 | Wasserfläche | Still- und Fließgewässer. | 0 | 0.0 |

Tab. 2.1: Nutzungskategorien der Klimamodellierung

Für die Klimamodellierung ist weniger die Nutzungsart relevant als vielmehr die Nutzungsstruktur und damit der Flächentyp, da Modellrechnungen rasterhafte Repräsentationen von Eingangsvariablen verwenden. Für die Bereitstellung der Modelleingangsdaten muss die Flächengeometrie daher auf Rasterzellen jeweils einheitlicher Nutzungsstruktur – hier mit einer Maschenweite von 20 m – übertragen



werden. Da bei dieser Auflösung Einzelgebäude noch nicht explizit aufgelöst werden können, gehen sie entsprechend parametrisiert durch die Definition der Nutzungsklassen in die Modellierung ein.

Sie werden daher je Rasterzelle über eine mittlere Rauigkeit und Hindernishöhe repräsentiert. Die Nutzungsstruktur im Stadtgebiet zeigt Abbildung 2.2 als Datenpunkte der Modellrechnung mit einer Auflösung von 20 m x 20 m.

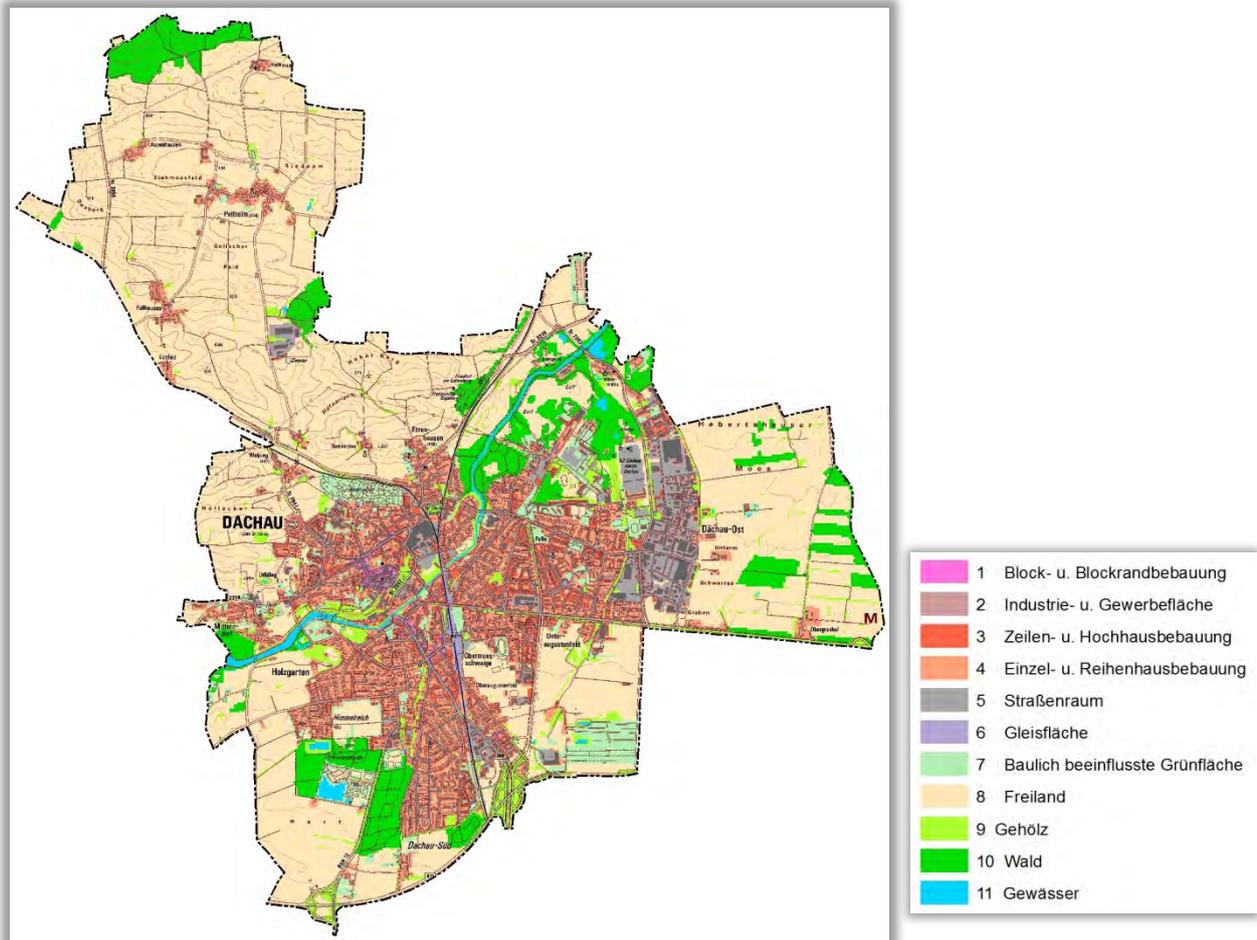


Abb. 2.2: Nutzungsstruktur im Stadtgebiet Dachau

Maßgeblichen Einfluss auf die meteorologischen Parameter üben die Flächeneigenschaften wie z.B. Versiegelungsgrad, Bebauungsdichte und Strukturhöhe aus. Daher gilt es eine Einstufung zu finden, welche am ehesten die strukturelle Eigenschaft einer Fläche widerspiegelt. Aus der Verknüpfung der unterschiedlichen Quellen ist somit eine aktuelle Informationsebene zur Realnutzung, Strukturhöhe und Oberflächenversiegelung aufgebaut worden.



3. Methode der modellgestützten Stadtklimaanalyse

3.1 Das Stadtklimamodell FITNAH 3D

Neben globalen Klimamodellen und regionalen Wettervorhersagemodellen wie sie zum Beispiel vom Deutschen Wetterdienst (DWD) 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 bzw. 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 Land-See-Winde, Flurwinde oder die Ausbildung einer städtischen Wärmeinsel, wobei der Übergang zur Mikroskala fließend ist (bspw. der Einfluss von Hindernissen auf den Wind wie Kanalisierung, Umströmung bzw. Düseneffekte, aber auch die klimaökologischen Auswirkungen von Begrünungsmaßnahmen).

Obwohl die allgemeine Struktur und physikalischen Ursachen dieser lokalklimatischen Phänomene im Wesentlichen bekannt sind, gibt es nach wie vor offene Fragen hinsichtlich der räumlichen Übertragbarkeit auf andere Standorte oder der Sensitivität bezüglich der Wechselwirkungen einzelner Strömungssysteme untereinander. Ein Grund hierfür sind die relativ kleinen und kurzen Skalen dieser Phänomene und deren unterschiedliches Erscheinungsbild in komplexem Gelände. Entsprechend ist es schwierig aus einer beschränkten Anzahl von Beobachtungen eine umfassende Charakterisierung zu erhalten, jedoch kann dieser Nachteil mit Hilfe ergänzender Modelluntersuchungen überwunden werden.

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

GRUNDLAGEN MESO- UND MIKROSKALIGER MODELLE

Die Verteilung lokalklimatisch relevanter Größen wie Wind und Temperatur können mit Hilfe von Messungen ermittelt werden. Aufgrund der großen räumlichen und zeitlichen Variation der meteorologischen Felder im Bereich einer komplexen Umgebung sind Messungen allerdings nur punktuell repräsentativ und eine Übertragung in benachbarte Räume selten möglich. Stadtklimamodelle wie FITNAH 3D können zu entscheidenden Verbesserungen dieser Nachteile herangezogen werden, indem sie



physikalisch fundiert die räumlichen und/oder zeitlichen Lücken zwischen den Messungen schließen, weitere meteorologische Größen berechnen und Wind- bzw. Temperaturfelder in ihrer raumfüllenden Struktur ermitteln. Die Modellrechnungen bieten darüber hinaus den Vorteil, dass Planungsvarianten und Ausgleichsmaßnahmen in ihrer Wirkung und Effizienz studiert und auf diese Art und Weise optimierte Lösungen gefunden werden können.

Für jede meteorologische Variable wird eine physikalisch fundierte mathematische Berechnungsvorschrift aufgestellt. Die Modelle basieren daher, genauso wie Wettervorhersage- und Klimamodelle, 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 erweitert werden, um z.B. die Effekte von Niederschlag auf die Verteilung stadtklimatologisch wichtiger Größen zu berücksichtigen. In diesem Falle müssen weitere Bilanzgleichungen für Wolkenwasser, Regenwasser und feste Niederschlagspartikel gelöst werden. Die Lösung der Gleichungssysteme erfolgt in einem numerischen Raster. Die Rasterweite muss dabei so fein gewählt werden, dass die lokalklimatischen Besonderheiten des Untersuchungsraumes vom jeweiligen 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 horizontale räumliche Maschenweite 25 m. Die vertikale Gitterweite ist dagegen nicht äquidistant und in der bodennahen Atmosphäre besonders dicht angeordnet, um die starke Variation der meteorologischen Größen realistisch zu erfassen. So liegen die untersten Rechenflächen in Höhen von 4, 10, 15, 20, 30, 40, 50 und 70 m über Grund (ü. Gr.). Nach oben hin wird der Abstand immer grösser und die Modellobergrenze liegt in einer Höhe von 3000 m ü. Gr. In dieser Höhe wird angenommen, dass die am Erdboden durch Orographie und Landnutzung verursachten Störungen abgeklungen sind. Die Auswertungen der FITNAH-Modellierung beziehen sich auf das bodennahe Niveau der Modellrechnung (2 m ü. Gr. = Aufenthaltsbereich der Menschen).

3.2 Synoptische Rahmenbedingungen

Während sogenannter autochthoner („eigenbürtiger“) Wetterlagen können sich die lokalklimatischen Besonderheiten in einer Stadt besonders gut ausprägen, da es nur eine geringe „übergeordnete“ Windströmung gibt. Eine solche Wetterlage wird durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwachen überlagernden synoptischen Wind gekennzeichnet, sodass sich die lokalklimatischen Besonderheiten einer Stadt besonders gut ausprägen. Dahingehend wurden die großräumigen synoptischen Rahmenbedingungen folgendermaßen festgelegt:

- Relative Feuchte der Luftmasse 50 %
- Bedeckungsgrad 0/8
- Kein überlagernder geostrophischer Wind
- 20°C Lufttemperatur über Freiland zum Zeitpunkt 21:00 Uhr

Die vergleichsweise geringen Windgeschwindigkeiten bei einer austauscharmen Wetterlage bedingen einen herabgesetzten Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht und tragen zur Anreicherung von Luftschadstoffen bei. Bei gleichzeitiger Wärmebelastung in den Siedlungsflächen können sich lokal bioklimatische und lufthygienische Belastungsräume ausbilden. Diese Wettersituation stellt damit ein „Worst-Case“-Szenario dar. Charakteristisch für diese (Hochdruck-) Wetterlage ist hingegen die Entstehung eigenbürtiger Kaltluftströmungen (Flurwinde und Kaltluftabflüsse), die durch den Temperaturgradienten zwischen kühlen Freiflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetrieben werden und zu einem Abbau der Belastungen beitragen. In Abb. 3.1 sind schematisch die für eine austauscharme sommerliche Wetterlage simulierten tageszeitlichen Veränderungen der Temperatur und Vertikalprofile der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für die Landnutzungen Freiland, Stadt und Wald dargestellt.

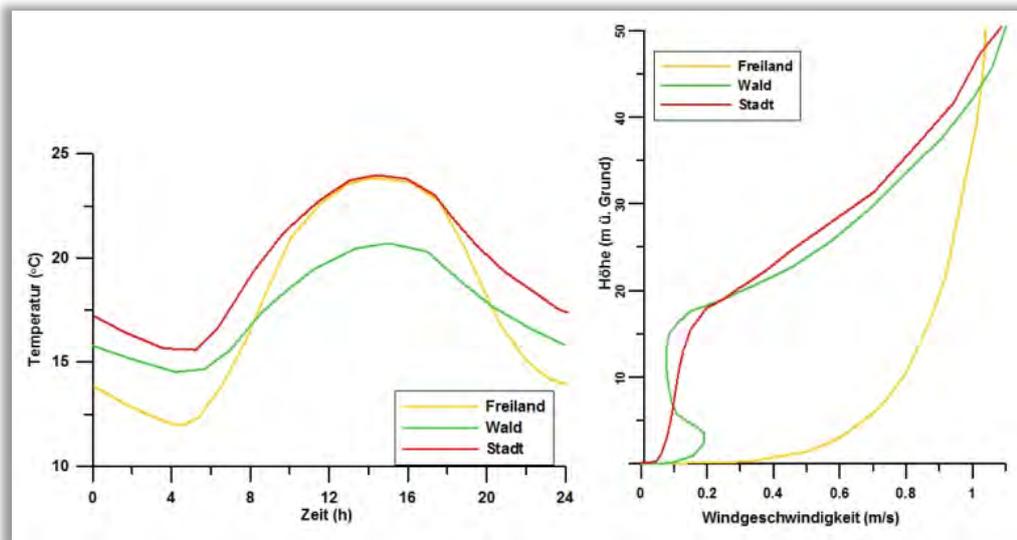


Abb. 3.1: Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für verschiedene Landnutzungen

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



3.3 Abgrenzung der klimaökologischen wirksamen Nutzungsstrukturen

Ziel der Eingangsdatenaufbereitung ist es, aus den flächenhaft vorliegenden Nutzungsinformationen punkthaft gerasterte Modelleingangsdaten mit einer Maschenweite von 20 m zu erzeugen. Aus diesen punkthaften Repräsentationen der Eingangsvariablen ergeben sich die in gleicher Weise aufgelösten Modellergebnisse in Form flächenhaft berechneter Klimaparameter (Abb. 3.2). 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, wurden den Referenzflächen der verwendeten digitalen Nutzungsinformationen die relevanten Klimaparameter wie z.B. Lufttemperatur oder Kaltluftvolumenstrom zugeordnet. Dafür wurden alle Rasterzellen, die von einer bestimmten Fläche überdeckt werden, mit Hilfe zonaler Analysen zusammengefasst und statistisch ausgewertet. Auf diese Weise erhält jede Fläche den Mittelwert der für eine Bewertung relevanten Klimaparameter, welcher die flächenspezifische Werteausprägung repräsentiert. So führt beispielsweise die hohe Oberflächenversiegelung einer Gewerbebebauung in den Nachtstunden zu einem höheren Flächenmittelwert der Lufttemperatur als eine stark durchgrünte Wohnbebauung am Ortsrand.

Aufgrund dieser Vorgehensweise liegen die Ergebnisse der Klimaanalyse in zweifacher Form vor: Zum einen als hochaufgelöste rasterbasierte Verteilung der Klimaparameter im räumlichen Kontinuum (vgl. Kap. 4), zum anderen als planungsrelevante und maßstabsgerechte, räumlich in der Realität abgrenzbare Flächeneinheiten (vgl. Kap. 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.

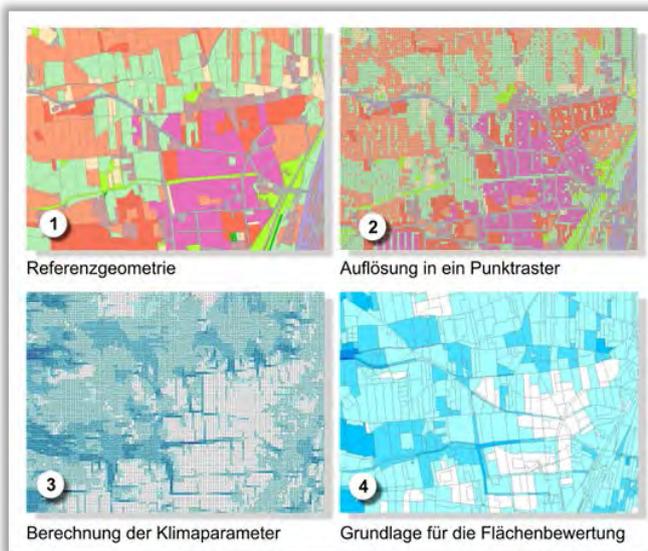
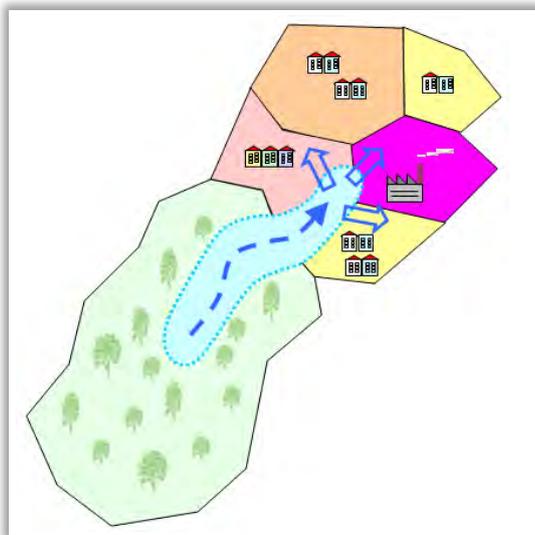


Abb. 3.2: Schema der Wertzuzuordnung zwischen Flächen- und Punktinformation



KALTLUFTLEITBAHNEN

Leitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete (Ausgleichsräume) und Belastungsbereiche (Wirkungsräume) miteinander und sind somit elementarer Bestandteil des Luftaustausches (Abb. 3.3). Die Ausweisung der Leitbahnbereiche orientiert sich am autochthonen Strömungsfeld der FITNAH-Simulation und wird sowohl in der Klimafunktionskarte als auch der Planungshinweiskarte dargestellt. Als geeignete Oberflächenstrukturen innerhalb von Siedlungsräumen, die ein Eindringen von Kaltluft in die Bebauung erleichtern, dienen sowohl gering bebaute vegetationsgeprägte Freiflächen, Kleingärten und Friedhöfe als auch Gleisareale und breite Straßenräume. Kaltluftabflüsse treten über unbebauten Hangbereichen auf, sofern sie Neigungen von $\geq 1^\circ$ aufweisen. Aufgrund der vergleichsweise höheren Dichte von Kaltluft setzt sie sich, dem Gefälle folgend, hangabwärts in Bewegung.



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

Abb. 3.3: Prinzipskizze Kaltluftleitbahn



4. Ergebnisse der Klimamodellierung

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

4.1 Nächtliches Temperaturfeld

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. Dieser erreicht kurz vor Sonnenaufgang des nächsten Tages ein Maximum. Das Ausmaß der Abkühlung kann, je nach meteorologischen Verhältnissen, Lage des Standorts und landnutzungsabhängigen physikalischen Boden- bzw. Oberflächeneigenschaften, große Unterschiede aufweisen. Besonders auffällig ist das thermische Sonderklima der Siedlungsräume mit seinen gegenüber dem Umland modifizierten klimatischen Verhältnissen.

Das Ausmaß der Temperaturabweichung im **Siedlungsbereich** ist 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 insb. von ihren thermischen Bodeneigenschaften (Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität) sowie eventuell vorhandenen Oberflächenbedeckungen bestimmt (Bewuchs, Laubstreu, etc.). Dynamische Luftaustauschprozesse zwischen den Flächen, das Relief in Form von Geländehöhe, Exposition sowie Geländeneigung und die Lage im Mosaik der Landnutzungen üben weiteren Einfluss aus (bspw. macht es einen Unterschied, ob sich eine Freifläche neben einem Gewässer, Waldgebiet oder dicht versiegelten Bereich befindet).

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, in denen sauerstoffreiche und wenig belastete Luft entsteht. 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. Die hohe spezifische Wärmekapazität von Wassern, seine besondere Art der Strahlungsabsorption und die im Wasserkörper stattfindenden turbulenten Durchmischungsvorgänge sorgen für eine (von hohen Absolutwerten ausgehend) deutlich verringerte tägliche Temperaturamplitude 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 verringern. Die Ermittlung des bodennahen Temperaturfeldes ermöglicht



es, Bereiche mit potenziellen bioklimatischen Belastungen abzugrenzen, Aussagen zum Auftreten thermisch und/oder orographisch induzierter Ausgleichsströmungen zu treffen und die räumliche Ausprägung sowie Wirksamkeit von Kalt- bzw. Frischluftströmungen abzuschätzen.

Das sich um 4 Uhr in der Nacht einstellende Temperaturfeld im Untersuchungsraum umfasst zwischen Minimalwerten von 12,8 °C und Maximalwerten von bis zu 19,8 °C eine Spannweite von etwa 7 °C. Die mittlere Temperatur innerhalb des Stadtgebietes liegt bei den angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen bei 15,1 °C. Innerhalb der bebauten Gebiete ist die Temperaturverteilung räumlich differenziert, da Areale mit Einzelhausbebauung, Kernbebauung und Verkehrsanlagen unterschiedliche Boden- und Oberflächeneigenschaften aufweisen. Im Rahmen der durchgeführten Klimamodellierung weisen die die Dachauer Innenstadt sowie größere Gewerbeflächen die höchsten Temperaturen von mehr als 19 °C auf, was mit dem hohen Bauvolumen und der hohen Oberflächenversiegelung von bis zu 95% einher geht (Abb. 4.1). Zur Peripherie hin nehmen Bebauungsdichte und auch die Lufttemperatur tendenziell ab, was sich deutlich im Temperaturfeld zeigt. In der durchgrünte Bebauung z.B. in Himmelreich sind Werte zwischen 17 °C und 18 °C zu beobachten. Innerhalb größerer Hausgärten gehen die Temperaturen 2 m lokal auch weiter zurück. Lokale Kaltluftabflüsse führen im nördlichen Stadtgebiet zu einer zusätzlichen Abkühlung.

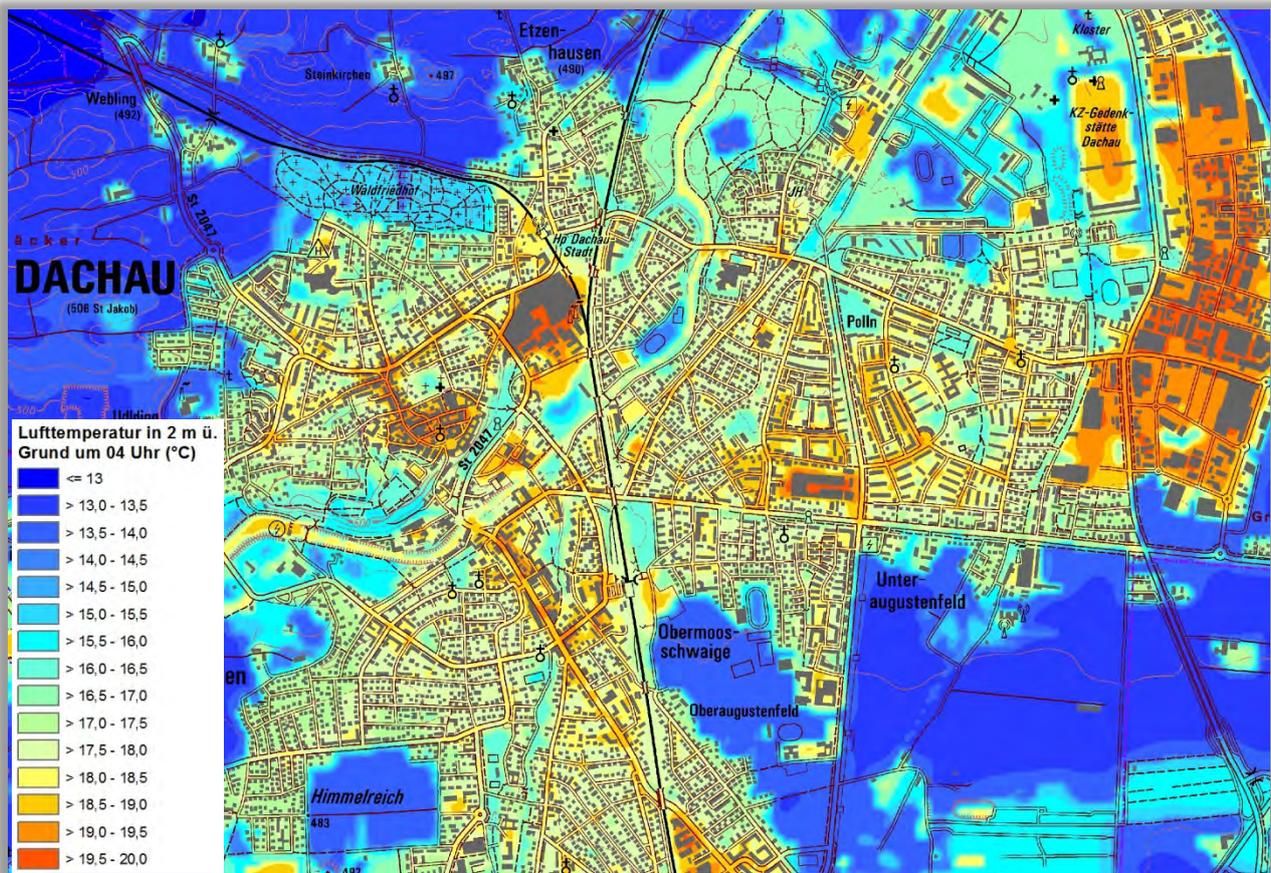


Abb. 4.1: Temperaturfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2m ü. Grund)

Die innerstädtischen Grünflächen zeichnen sich, abhängig von ihrer Größe und Lage, mit einem niedrigeren Wertenniveau ab. So weisen die den Mühlkanal begleitenden Grünräume Temperaturen zwischen 16 °C und 17 °C auf. Die Abkühlung über den landwirtschaftlich genutzten Flächen ist stark ausgeprägt und führt zu Minimumtemperatur von weniger als 14,0 °C.



4.2 Physiologisch Äquivalente Temperatur

Meteorologische Parameter wirken nicht unabhängig voneinander, sondern in biometeorologischen Wirkungskomplexen auf das Wohlbefinden des Menschen ein. Zur Bewertung werden Indizes verwendet (Kenngrößen), die Aussagen zur Lufttemperatur und Luftfeuchte, zur Windgeschwindigkeit sowie zu kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombinieren. Wärmehaushaltsmodelle berechnen den Wärmeaustausch einer „Norm-Person“ mit seiner Umgebung und können so die Wärmebelastung eines Menschen abschätzen¹. Beispiele für solche Kenngrößen sind die PET (Physiologisch Äquivalente Temperatur), der PMV-Wert (Predicted Mean Vote) und der UTCI (Universal Thermal Climate Index).

In der vorliegenden Arbeit wird zur Bewertung der Tagsituation der humanbioklimatische Index PET um 14:00 Uhr herangezogen (vgl. Höppe und Mayer 1987). Gegenüber vergleichbaren Indizes hat dieser den Vorteil, aufgrund der °C-Einheit auch von Nichtfachleuten besser nachvollzogen werden zu können. Darüber hinaus handelt es sich bei der PET um eine Größe, die sich in der Fachwelt zu einer Art „Quasi-Standard“ entwickelt hat, sodass sich die Ergebnisse aus dem Stadtgebiet Dachau mit denen anderer Städte vergleichen lassen. Wie die übrigen humanbiometeorologischen Indizes bezieht sich die PET auf außenklimatische Bedingungen und zeigt eine starke Abhängigkeit von der Strahlungstemperatur (Kuttler 1999). Mit Blick auf die Wärmebelastung ist sie damit vor allem für die Bewertung des Aufenthalts im Freien am Tage sinnvoll einsetzbar

Für die PET existiert in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 9 eine absolute Bewertungsskala, die das thermische Empfinden und die physiologischen Belastungsstufen quantifizieren (z.B. Starke Wärmebelastung ab PET 35 °C; Tab. 4.1; VDI 2004).

| PET | Thermisches Empfinden | Physiologische Belastungsstufe |
|-------|-----------------------|--------------------------------|
| 4 °C | Sehr kalt | Extreme Kältebelastung |
| 8 °C | Kalt | Starke Kältebelastung |
| 13 °C | Kühl | Mäßige Kältebelastung |
| 18 °C | Leicht kühl | Schwäche Kältebelastung |
| 20 °C | Behaglich | Keine Wärmebelastung |
| 23 °C | Leicht warm | Schwache Wärmebelastung |
| 29 °C | Warm | Mäßige Wärmebelastung |
| 35 °C | Heiß | Starke Wärmebelastung |
| 41 °C | Sehr heiß | Extreme Wärmebelastung |

Tab. 4.1: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET während der Tagesstunden (nach VDI 2004)

Zum Zeitpunkt 14 Uhr zeigt sich, dass die auftretende Wärmebelastung am Tage vor allem über die Verschattung beeinflusst wird.

¹ Energiebilanzmodelle für den menschlichen Wärmehaushalt bezogen auf das Temperaturempfinden einer Durchschnittsperson („Klima-Michel“ mit folgenden Annahmen: 1,75 m, 75 kg, 1,9 m² Körperoberfläche, etwa 35 Jahre; vgl. Jendritzky 1990).



Eine mäßige Wärmebelastung mit einer PET von 29°C bis 32°C ist insbesondere unter den größeren Waldbeständen zu beobachten (grüne Farben; Abb. 4.2). Aber auch im Bereich grösser Baumgruppen von innerstädtischen Grünflächen sind günstige Aufenthaltsbedingungen anzutreffen.

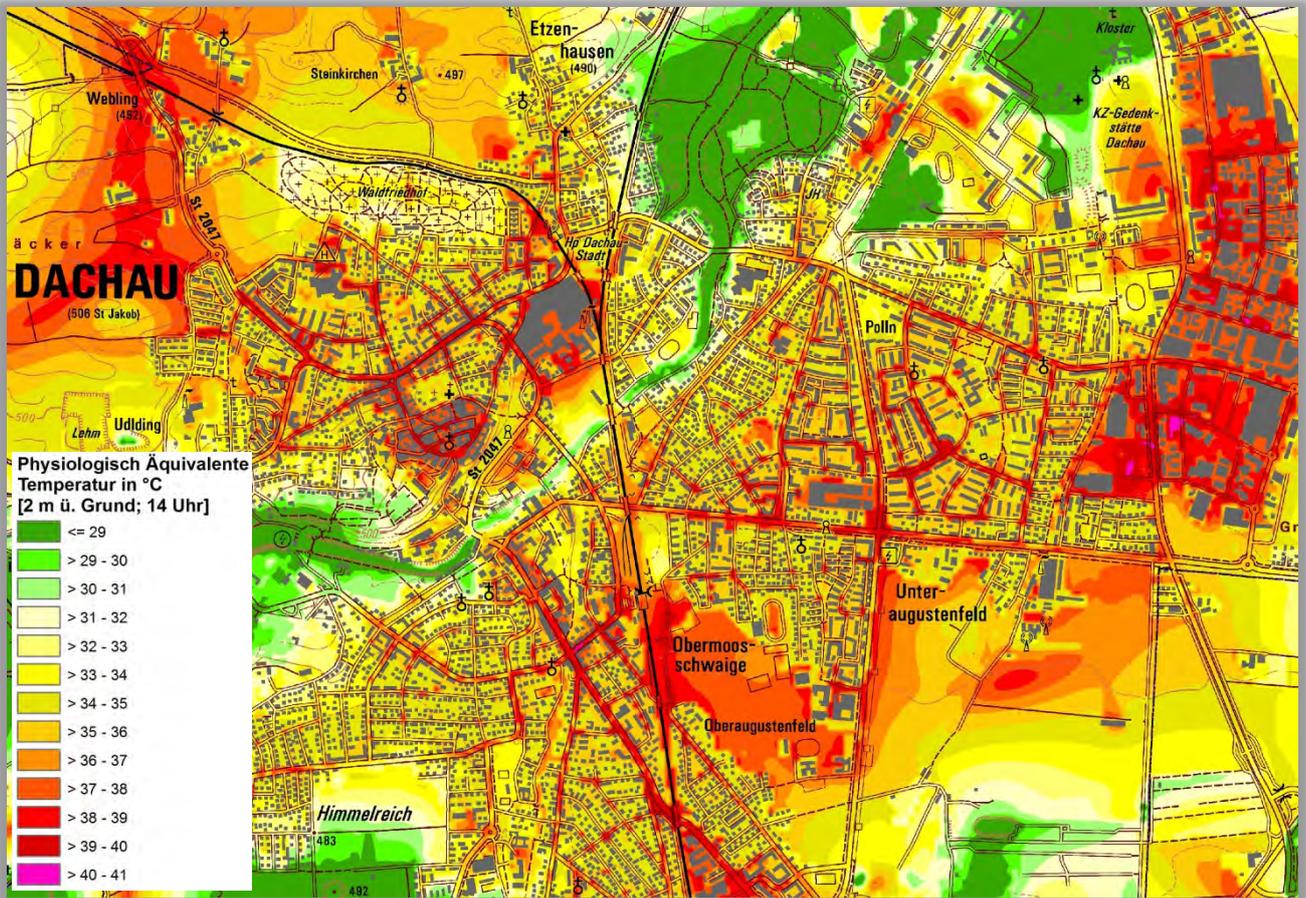


Abb. 4.2: PET zum Zeitpunkt 14 Uhr mittags (2m ü. Grund)

Dem stehen die stark besonnten Areale gegenüber, wo die Wärmebelastung mit einer PET von deutlich mehr als 35°C häufig als stark einzustufen ist (Orange/Rot). Die höchste Belastung tritt im Gewerbegebiet Dachau-Ost mit mehr als 40 °C auf.

4.3 Autochthones Windfeld

Die bodennahe Temperaturverteilung bedingt horizontale Luftdruckunterschiede, die wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind. Ausgangspunkt dieses Prozesses sind die nächtlichen Temperaturunterschiede, die sich zwischen Siedlungsräumen und vegetationsgeprägten Freiflächen einstellen. An den geneigten Flächen setzt sich abgekühlte und damit schwerere Luft in Richtung zur tiefsten Stelle des Geländes in Bewegung.

So entstehen an den Hängen die nächtlichen Kaltluftabflüsse (u.a. Mosimann et al. 1999). Die Windgeschwindigkeit dieses kleinräumigen Phänomens wird in erster Linie durch das Temperaturdefizit zur umgebenden Luft und durch die Neigung des Geländes bestimmt.



Neben den orographisch bedingten Strömungen mit Kaltluftabflüssen bilden sich auch so genannte Flur-/Strukturwinde, d.h. eine direkte Ausgleichsströmung vom hohen zum tiefen Luftdruck aus. Sie entstehen, wenn sich stark überbaute oder versiegelte Gebiete stärker erwärmen als umliegende Freiflächen, und dadurch ein thermisches Tief über den urbanen Gebieten entsteht (vgl. Abb. 4.3).

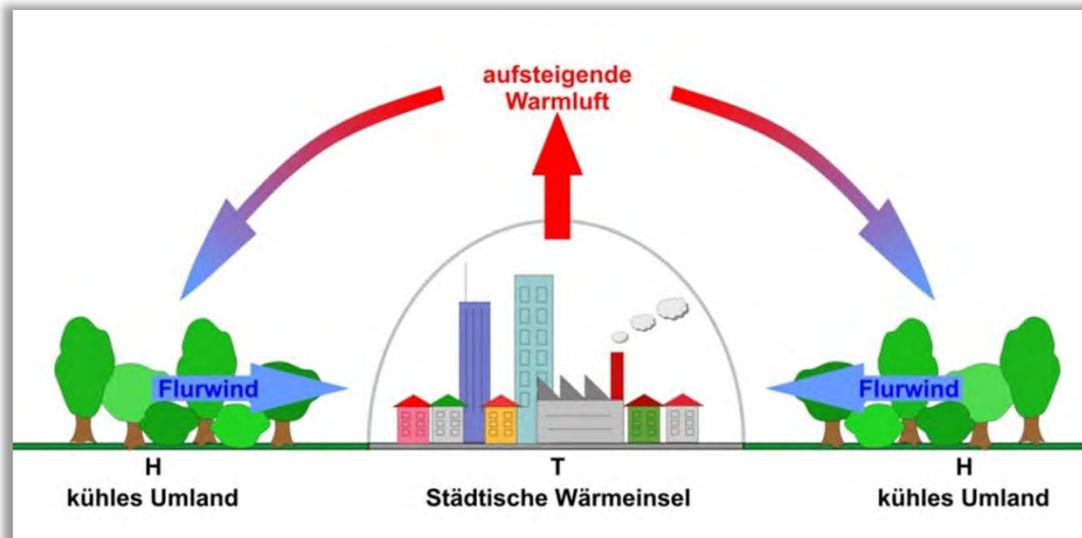


Abb. 4.3: Prinzipskizze Flurwind

Der resultierende Druckgradient kann daraufhin durch einströmende kühlere Luftmassen aus dem Umland ausgeglichen werden (u.a. Kiese et al. 1992). Für die Ausprägung dieser Strömungen ist es wichtig, dass die Luft über eine gewisse Strecke beschleunigt werden kann und nicht durch vorhandene Hindernisse wie Bebauung abgebremst wird. Die Flur-/ Strukturwinde sind eng begrenzte, oftmals nur schwach ausgeprägte Strömungsphänomene, die bereits durch einen schwachen überlagernden Wind überdeckt werden können. Ihre Geschwindigkeit liegt meist unterhalb von 2 m/s (Mosimann et al. 1999). Im Bereich stärkerer Hangneigungen treten im Untersuchungsraum Kaltluftabflüsse mit Strömungsgeschwindigkeiten von mehr als 1 m/s auf. Dies ist im Übergangsbereich des Donau-Isar-Hügellands zur Münchener Schotterebene hin zu beobachten.

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

Den hier beschriebenen Phänomenen kommt eine besondere landschaftsplanerische Bedeutung zu: Größere Siedlungen wirken aufgrund ihrer hohen aerodynamischen Rauigkeit als Strömungshindernis. Aus diesem Grund sind die Durchlüftung der Stadtkörper und ihr Luftaustausch mit dem Umland generell herabgesetzt. Die Abfuhr von schadstoffbelasteten und überwärmten Luftmassen in den Straßenschluchten kann in Abhängigkeit von der Bebauungsart und -dichte deutlich eingeschränkt sein.



Speziell bei austauschschwachen Wetterlagen und für Städte in Muldenlage wirken sich diese Faktoren bioklimatisch ungünstig aus. Daher können die genannten Strömungssysteme durch die Zufuhr frischer und kühlerer Luft eine bedeutende klimaökologische Ausgleichsleistung für die Belastungsräume erbringen. Die Kaltluftströmung ist in der vorliegenden Untersuchung ein wichtiger Parameter zur Beurteilung des Kaltlufthaushaltes, wobei sich vor allem die Luftaustauschprozesse am Stadtrand erst in der zweiten Nachthälfte vollständig ausgebildet haben. Daher wird im Folgenden auf die Ergebnisse zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens eingegangen.

Das sich zum nächtlichen Analysezeitpunkt ausgeprägte Kaltluftströmungsfeld stellt Abb. 4.4 in zwei Ebenen dar. Die Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit wird über die Pfeilrichtung und Pfeillänge in Form von Vektoren abgebildet, wobei die Pfeile der Karte für eine übersichtlichere Darstellung auf 50 m x 50 m Kantenlänge aggregiert worden sind. Die unterlegten Rasterzellen stellen zudem die Windgeschwindigkeit flächenhaft in Farbstufung dar. Die Werte beziehen sich auf eine Analysehöhe von 2 m über Grund. Abgebildet sind alle Zellen des ursprünglichen 20 m Rasters, für die aufgrund einer modellierten Mindestwindgeschwindigkeit von > 0,1 m/s und unter Berücksichtigung der gebietstypischen Ausprägung eine potenzielle klimaökologische Wirksamkeit angenommen werden kann.

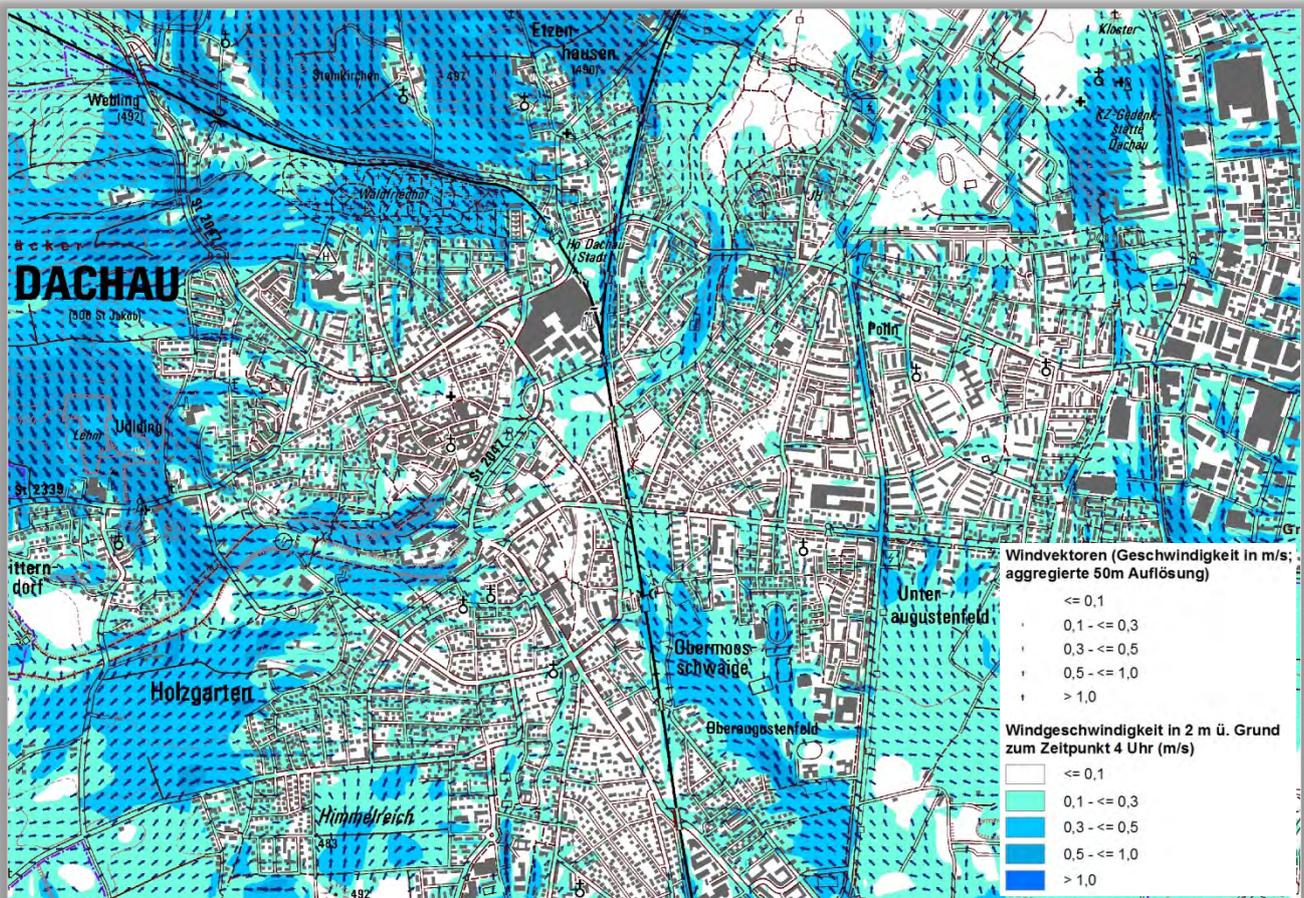


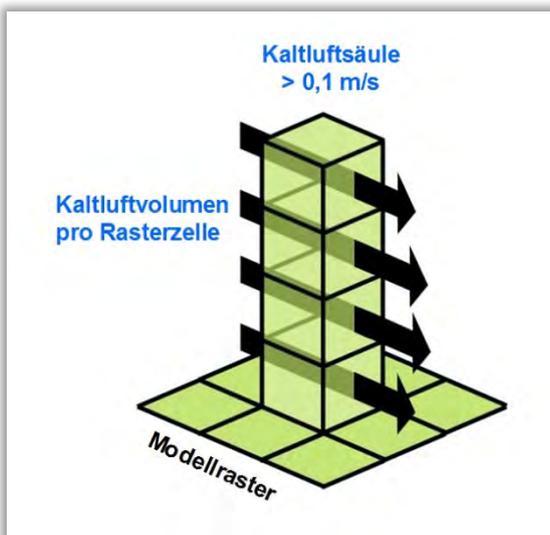
Abb. 4.4: Nächtliches Windfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2m ü. Grund)

Die für das 2 m-Niveau dargestellten Strömungsgeschwindigkeiten reichen von vollkommener Windstille bis zu Maximalwerten von 1,3 m/s im Bereich Günding/Mitterndorf. Während innerhalb der größeren Waldbestände der Stammraum die Ausbildung höherer Strömungsgeschwindigkeiten in Bodennähe unterbindet, zeigt sich über den durch Rasen geprägten bzw. landwirtschaftlich genutzten Randbereichen

ein flächenhaftes Ausströmen von Kaltluft. Dabei begünstigen eine niedrige Bebauung und breite Straßenräume/Abstandsflächen ein Eindringen in die Siedlungsfläche. Auf gesamtstädtischer Ebene zeigt sich die wichtige Rolle größerer Grünzüge, da sie die Kaltluft als Leitbahnen tief in die Bebauung heranführen können. Dahingehend sind der Verlauf der Amper, die Grünachsen im Bereich Unteraugustenfeld sowie entlang der Gröbenrieder Straße einzuordnen.

4.4 Kaltluftvolumenstrom

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 nicht allein aus der Geschwindigkeit der Kaltluftströmung resultiert, sondern zu einem wesentlichen Teil durch ihre Mächtigkeit (d.h. durch die Höhe der Kaltluftschicht) mitbestimmt wird, wird zur Bewertung der Grünflächen ein weiterer Klimaparameter herangezogen: der sogenannte Kaltluftvolumenstrom. Für die Auswertung wurde der Zeitpunkt 04 Uhr morgens gewählt, da zu diesem Zeitpunkt die Intensität der Kaltluftströme voll ausgeprägt ist.



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

Abb. 4.5: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom

sondern als rasterbasierte Volumenstromdichte aufzufassen. Diesen Wert kann man sich leicht veranschaulichen, indem man sich ein 20 m breites, quer zur Luftströmung hängendes Netz vorstellt, das ausgehend von der Obergrenze der Kaltluftschicht² bis hinab auf die Erdoberfläche reicht (Abb. 4.5). Bestimmt man nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft, erhält man die rasterbasierte Volumenstromdichte. Der Volumenstrom ist damit ein Maß für den Zustrom von Kaltluft und bestimmt somit, neben der Strömungsgeschwindigkeit, die Größenordnung des Durchlüftungspotenzials.

² Die Schichtgrenze wird dort angesetzt, wo die horizontale Fließgeschwindigkeit nicht höher als 0,1 m/s wird



STANDARDISIERUNG DES KALTLUFTVOLUMENSTROMS (Z-TRANSFORMATION)

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

Wünschenswert wäre zudem, die Beurteilungskriterien sowohl mit der Ausprägung zusätzlich modellierter Variablen als auch mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen vergleichen zu können. Um eine solche Vergleichbarkeit herzustellen, wurde der Parameter Kaltluftvolumenstrom über das Verfahren der z-Transformation standardisiert³. Bei einer z-Transformation wird das arithmetische Gebietsmittel des Parameters zunächst gleich Null gesetzt, anschließend werden die Originalmaßeinheiten der um dieses Gebietsmittel streuenden Werte in Vielfache der Standardabweichung umgerechnet. Hieraus ergeben sich vier Bewertungskategorien, deren Abgrenzung durch den Mittelwert Null sowie die einfache positive und negative Standardabweichung von diesem Mittelwert festgelegt ist (standardmäßig vier Bewertungskategorien durch Mittelwert, obere und untere S_1 -Schranke; s. Abb. 4.6).

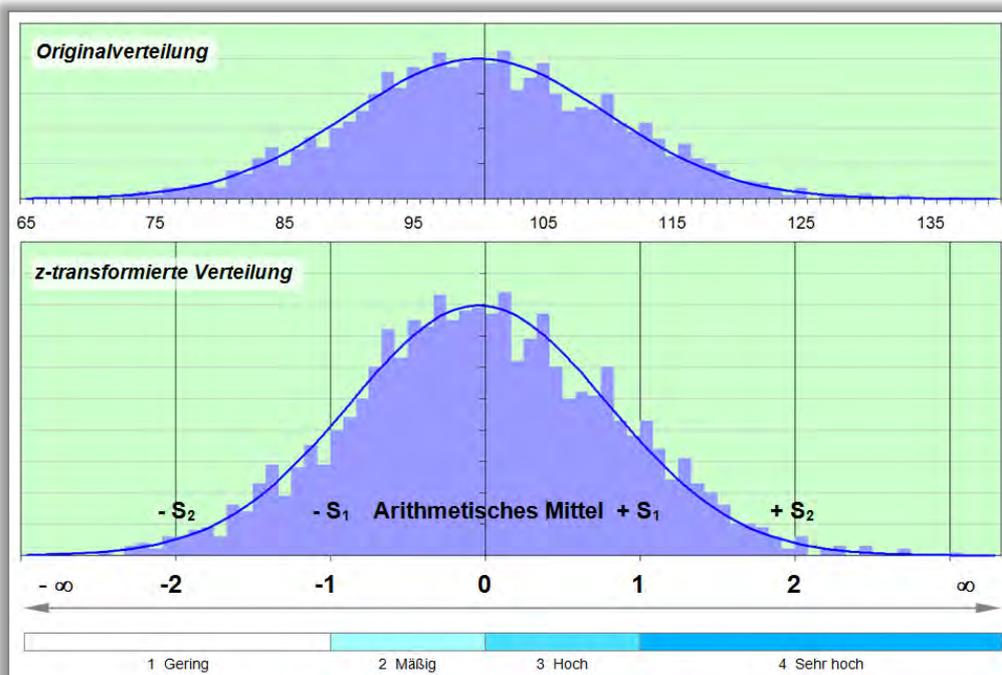


Abb. 4.6: Veranschaulichung der Standardisierung zur vergleichenden Bewertung von Parametern

Die Klassifizierung des flächendeckenden Volumenstroms orientiert sich somit am auftretenden Wertespektrum innerhalb des Stadtgebietes. Die daraus abgeleitete qualitative Bewertung dieser meteorologischen Größe zeigt Tab. 4.2.

³ Rechnerisch wird dabei von jedem Ausgangswert der Variablen das arithmetische Gebietsmittel abgezogen und durch die Standardabweichung aller Werte geteilt



| Mittlerer z-Wert | Bewertung | Kaltluftvolumenstrom in m ³ /s um 04:00 Uhr |
|------------------|-----------|--|
| > 1 | Sehr hoch | > 420 |
| > 0 bis 1 | Hoch | 420 bis ≥ 280 |
| > -1 bis 0 | Mäßig | 280 bis ≥ 140 |
| bis -1 | Gering | < 140 |

Tab. 4.2: Qualitative Einordnung des Kaltluftvolumenstroms

Ausgehend vom der gebietstypischen Ausprägung im Untersuchungsraum wird als Schwellenwert für einen klimaökologisch wirksamen Kaltluftstrom ein Wert von mindestens 140 m³/s angenommen, wobei die innenstadtnahen Siedlungsflächen meist einen geringen bis mäßigen Volumenstrom aufweisen. 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 Kaltluftsammelgebiet liegt. Letzteres kann zunächst als Hindernis auf nachfolgende Luftmassen wirken und später in der Nacht 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. Die räumliche Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Untersuchungsraum geht im Wesentlichen mit der des bodennahen Strömungsfeldes einher. Abbildung 4.7 zeigt den Kaltluftstrom in einer qualitativen Abstufung. Im nördlichen und westlichen Stadtgebiet sind intensive Kaltluftabflüsse zu beobachten, welche weit in die Bebauung einwirken. Analog zur Strömungsgeschwindigkeit treten die höchsten Werte meist über den mit Rasen bewachsenen und gut überströmbaren Hangbereichen auf.

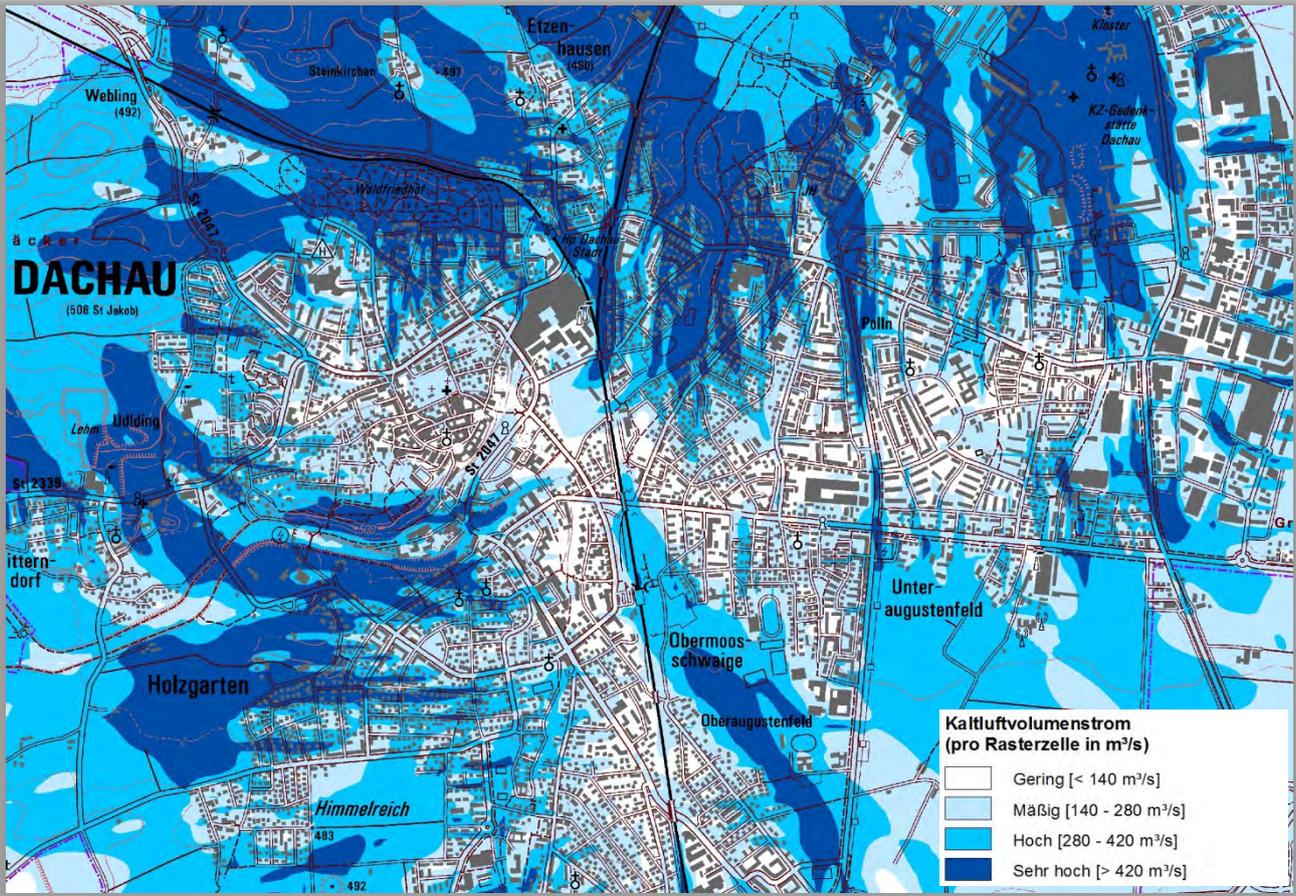


Abb. 4.7: Kaltluftvolumenstrom zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2m ü. Grund)

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 bodennahen Windgeschwindigkeiten in der Darstellung des Kaltluftströmungsfeldes.



5 Klimaanalysekarte

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

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

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

5.1 Grün- und Freiflächen

Vegetationsbestandene Freiflächen mit einer nennenswerten Kaltluftproduktion stellen klimaökologische Ausgleichsräume dar und können über Flurwinde die Wärmebelastung in den Siedlungsflächen verringern. Eine hohe langwellige nächtliche Ausstrahlung während austauscharmer Hochdruckwetterlagen führt zu einer starken Abkühlung der bodennahen Luftschicht. Die Gesamtfläche der Kaltluft produzierenden Grünflächen beziffert sich auf etwa 2.361 Hektar, was einem Flächenanteil von rund 67 % des Stadtgebietes entspricht. Dabei werden vor allem die ausgedehnten Freiflächen als Zonen einer sehr hohen Kaltluftlieferung sichtbar. Dies ist auf die intensive Abkühlung zurück zu führen, die mit entsprechenden Kaltluftvolumina einhergehen.



Grünflächen hoher Kaltluftlieferung sind häufig mit den zuvor beschriebenen Arealen vergesellschaftet. Mit einer Gesamtfläche von ca. 307 ha für die sehr hohe und 700 ha für die hohe Kaltluftlieferung beträgt der Flächenanteil dieser Kategorie an der Gesamtgrünfläche ca. 13 % bzw. 29 %.

Die Ausgleichsleistung von Flächen, die eine mäßige Kaltluftlieferung aufweisen, ist ebenfalls als klimaökologisch relevant einzuschätzen. Dies betrifft sowohl vor allem die größeren innerstädtischen Parkareale. Die Flächensumme dieser mittleren Kategorie beträgt ca. 823 Hektar, was einem Anteil von ca. 35 % an der Gesamtgrünfläche entspricht.

Darüber hinaus sind die kleineren Grünflächen, zusammenhängende Hausgärten und nicht überbauten Ruderalflächen mit niedriger Größe und geringen Kaltluftvolumenstrom zu nennen. Diese Areale bilden selten eine eigene Kaltluftströmung und damit einen Einwirkbereich aus, da sie in eine insgesamt wärmere Bebauung eingebettet sind. Durch die isolierte Lage in der Bebauung weisen sie zudem keine Anbindung an vorhandene Leitbahnen auf. Innerhalb von Waldflächen handelt es sich um Bereiche mit unterdurchschnittlicher Strömungsgeschwindigkeit der Kaltluft im Stammraum, was mit entsprechend geringen Werten einhergeht. Einen sehr geringen Kaltluftvolumenstrom weisen mit 531 ha etwa 22,5 % der Grünflächen auf.

Innerhalb von Belastungsbereichen können aber auch diese Flächen eine bedeutsame Funktion als klimaökologische Komfortinseln erfüllen, sofern sie ein Mosaik aus unterschiedlichen Mikroklimaten wie beispielsweise beschattete und besonnte Bereiche oder sogar kühlenden Wasserflächen aufweisen (Mikroklimavielfalt). Durch solche Eigenschaften sind diese im Allgemeinen frei zugänglichen Flächen insbesondere an Sommertagen mit einer hohen Einstrahlungsintensität und damit einher gehenden Wärmebelastung im Innenstadtbereich wichtig. Tabelle 5.1 fasst die ausgewiesenen Kategorien zusammen:

| Kaltluftlieferung | Gesamtgröße der Kategorie in Hektar | Anteil am Grünflächenbestand |
|-------------------|--|---------------------------------|
| Sehr hoch | 307 | 13 % |
| Hoch | 700 | 30 % |
| Mäßig | 823 | 35 % |
| Gering | 531 | 23 % |

Tab. 5.1: Qualitative Einordnung der Kaltluftlieferung von Grünflächen im Stadtgebiet Dachau

Somit führen unterschiedliche Struktureigenschaften der Grünflächen zu einem Mosaik aus Flächen unterschiedlicher Kaltluftdynamik. Die einzelnen (Teil-) Areale innerhalb eines Kaltlufteinzugsgebietes besitzen in ihrer Summenwirkung eine Entlastungsfunktion für benachbarte und weiter entfernte Siedlungsräume. Zudem wird die Hauptströmungsrichtung der Kaltluft in Grünflächen dargestellt. Zur Visualisierung des Prozessgeschehens wurde für jede Grünfläche > 0,35 ha die mittlere Windrichtung berechnet. Die Größe des Pfeiles repräsentiert die jeweilige Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms innerhalb der Einzelfläche.



5.2 Siedlungsräume

Die Klimaanalysekarte zeigt den nächtlichen Wärmeineffekt in den Siedlungsflächen. Dieser wird über die Abweichung der mittleren Lufttemperatur innerhalb einer Blockfläche vom Temperaturmittelwert der Grün- und Freiflächen im Stadtgebiet abgeleitet. Dieser beträgt etwa 14°C zum Zeitpunkt 04 Uhr morgens. Damit ergibt sich eine räumliche Untergliederung des Siedlungsraumes in unterschiedlich überwärmte Flächenanteile. Die von den Kalt-/Frischluftrömungen ausgehenden Einwirkbereiche innerhalb der Bebauung sind durch die Schraffur gekennzeichnet. Am Ende einer warmen Sommernacht werden im Stadtgebiet Dachau bis 04 Uhr ca. 44 % des Siedlungsraums mit Kalt-/Frischluftr versorgt und befinden sich damit im Einwirkbereich von Flurwinden und lokalen Kaltluftabflüssen.

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

Diesen Gunsträumen stehen Belastungsbereiche mit einer überdurchschnittlichen Wärmebelastung und einem Durchlüftungsdefizit gegenüber. Dies betrifft vor allem die Innenstadt sowie die Gewerbeflächen, in denen bioklimatisch weniger günstige bzw. ungünstige Bedingungen vorliegen (vgl. Kap. 6.2.1). Diese resultieren aus dem hohen Überbauungs- und Versiegelungsgrad sowie einer in Teilen unzureichenden Durchlüftung.

Abbildung 5.1 zeigt in einem Ausschnitt aus der Klimaanalysekarte, wobei die nächtliche Überwärmung der Siedlungsräume mit einer Farbabstufung dargestellt ist. Die stärkste Überwärmung ist in der Innenstadt sowie den größeren Gewerbeflächen anzutreffen (Dunkelrot), während die Bebauung am Stadtrand eine deutlich günstigere Situation zeigt.

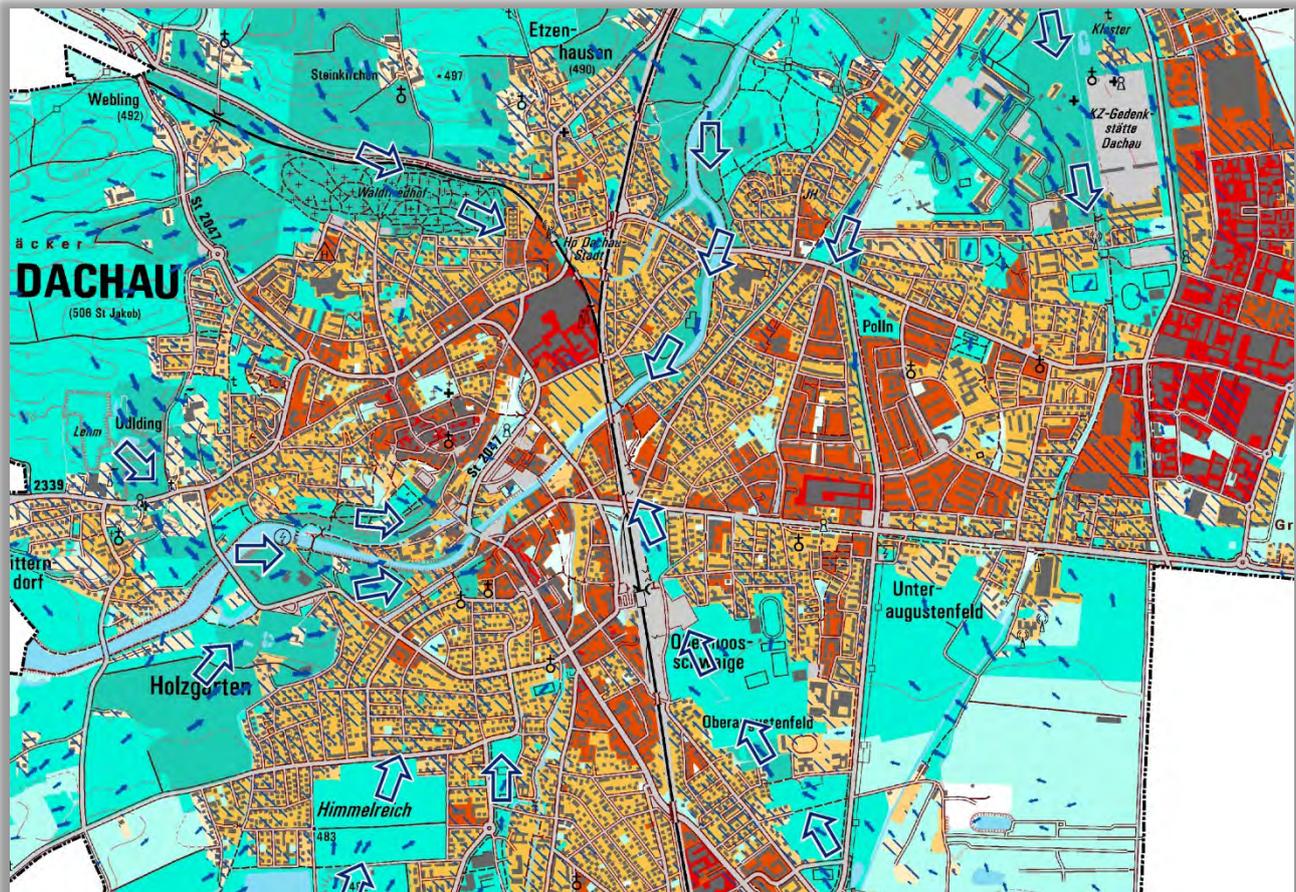


Abb. 5.1: Klimaanalysekarte

5.3 Luftaustausch

Strukturen, die den Luftaustausch ermöglichen und Kaltluft an die Siedlungsbereiche heranführen, sind das zentrale Bindeglied zwischen Ausgleichsräumen und bioklimatisch belasteten Wirkungsräumen. Kaltluftleitbahnen sollten daher einen generell geringen Überbauungsgrad und einen hohen Grünflächenanteil aufweisen sowie linear auf Wirkungsräume ausgerichtet sein. Grundsätzlich kommen Tal- und Niederungsbereiche, größere Freiräume aber auch ausgedehnte Gleisareale als geeignete Strukturen in Frage. Im Rahmen der Klimaanalyse wurden insgesamt 9 Leitbahnen ausgewiesen. Es handelt sich um die folgenden Strukturen:

- Waldfriedhof
- Amperniederung im Bereich Erich-Ollenhauer-Straße
- Grünraum/Sportanlage am Pollnbach
- Grünraum westlich der KZ-Gedenkstätte



- Grünraum Unteraugustenberg
- Grünraum westlich und östlich der Gröbenrieder Straße
- Ampelniederung im Bereich des Familienbades
- Grünraum zwischen Mitterndorf und Udlding

Es erfolgt hingegen keine Leitbahnausweisung für Bereiche, wo Kaltluft von Grünflächen direkt in die Bebauung strömt. In diesen Fällen grenzen Ausgleichs- und Wirkungsraum direkt aneinander, so dass eine Leitbahnausweisung nicht möglich ist. Dies ist häufig bei den innerstädtischen Grünflächen gegeben.



6 Planungshinweiskarten Stadtklima

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

- Sicherung,
- Entwicklung und
- Wiederherstellung

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

Es wurde jeweils eine separate Planungshinweiskarte (PHK) für die Nacht- und Tagsituation erstellt, die sich jeweils auf das Stadtgebiet Dachau beziehen. 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 2014). Ausgehend von ihren Bewertungen werden den Flächen allgemeine Planungshinweise zugeschrieben.

6.1 Vorgehensweise

6.1.1 Bewertung der Nachtsituation

BEBAUTER SIEDLUNGSRAUM

Zur Bewertung der bioklimatischen Situation wird die nächtliche Überwärmung in den Nachtstunden (04 Uhr morgens) herangezogen. Da die Planungshinweiskarte die Funktionen und Prozesse des nächtlichen Luftaustausches abbilden soll, wird hier der nächtliche Wärmeineffekt betrachtet. 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 Innenraumluft unterstellt werden kann (VDI 2008b, 25). Als optimale Schlaftemperaturen werden gemeinhin 16 - 18 °C angegeben (UBA 2016), während Tropennächte mit einer Minimumtemperatur ≥ 20 °C als besonders belastend gelten. Eine mit der PET vergleichbare Bewertungsskala existiert für die nächtliche Situation im Innenraum (noch) nicht.

Für die Planungshinweiskarte erfolgte die räumlich differenzierte Bewertung der Nachtsituation daher über die nächtliche Überwärmung und orientiert sich an den o.g. Temperaturbereichen. Dafür wurde die mittlere Lufttemperatur innerhalb des bebauten Siedlungsraumes sowie der Strassen und Plätze in fünf Klassen untergliedert (Tab. 6.1).



Die Durchschnittstemperatur über alle bebauten Siedlungsflächen sowie Strassen und Plätze beträgt um 04 Uhr morgens im Stadtgebiet Dachau 17.4°C. Beträgt die mittlere Temperatur einer Fläche weniger als 17.4 °C, liegt keine Überwärmung vor. Unter Berücksichtigung des im Stadtgebiet Dachau auftretenden Temperaturniveaus wird bereits bei mehr als 19.0 °C von einer vergleichsweise hohen nächtlichen Überwärmung auszugehen, was mit einer entsprechenden thermischen Belastung einhergeht.

| Spannweite der mittleren Lufttemperatur um 04:00 | Bewertung |
|--|----------------------|
| < 17,4 °C | Keine Überwärmung |
| ≥ 17.5 °C bis < 18.0 °C | Schwache Überwärmung |
| ≥ 18.0 °C bis < 19.0 °C | Mäßige Überwärmung |
| ≥ 19.0 °C bis < 20.0 °C | Hohe Überwärmung |

Tab. 6.1: Bewertung des nächtlichen Wärmeinseleffekts im bebauten Siedlungsraum sowie Strassen und Plätzen

GRÜN- UND FREIFLÄCHEN

Zur Bewertung der klimaökologischen Charakteristika der Grünflächen⁴ im Hinblick auf planungsrelevante Belange bedarf es einer Analyse der vorhandenen Wirkungsraum-Ausgleichsraum-Systeme im Untersuchungsgebiet. Kaltluft, die während einer Strahlungsnacht innerhalb der Freiräume entsteht, kann nur dann von planerischer Relevanz sein, wenn den Flächen ein entsprechender Siedlungsraum zugeordnet ist, der von ihren Ausgleichsleistungen profitieren kann. Für die Bewertung der bioklimatischen Bedeutung von grünbestimmten Flächen wird ein teilautomatisierbares Verfahren angewendet, das sich wie folgt skizzieren lässt (vgl. Abb. 6.1). Die Bewertung ist anthropozentrisch ausgerichtet, d.h. Flächen, die für den derzeitigen Siedlungsraum keine Funktion erfüllen bzw. keinen Ausgleichsraum darstellen, wurden gering bewertet. Im Falle zusätzlicher Bebauung im Bereich dieser Flächen kann sich deren Funktion ändern und muss ggf. neu bewertet werden. Die einzelnen Klassen für die bioklimatische Bedeutung von Außenräumen werden wie folgt bestimmt:

Sehr hohe bioklimatische Bedeutung:

1. Ermittlung von Siedlungsräumen mit *hoher und sehr hoher* nächtlicher Überwärmung (Flächengröße > 0,1 ha)
2. Ermittlung der an (1) *angrenzenden Grünflächen* (Toleranz = 250 m).
Grünflächen im Umfeld von bioklimatisch ungünstigen Siedlungsräumen kommt grundsätzlich eine sehr hohe Bedeutung zu. Sie sind geeignet, unabhängig von ihrem Kaltluftliefervermögen ausgleichend auf das thermische Sonderklima in ihrem meist dicht bebauten Umfeld zu wirken.
3. Ermittlung von *Leitbahnen*
Leitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete (Ausgleichsräume) und Belastungsbereiche (Wirkungsräume) miteinander und sind somit elementarer Bestandteil des Luftaustausches. Die Ausweisung der Leitbahnbereiche erfolgt manuell und orientiert sich an der Ausprägung des autochthonen Strömungsfeldes der FITNAH-Simulation.
4. Allen Grünflächen aus (2) und (3) wird eine **sehr hohe bioklimatische Bedeutung** zugesprochen.

Hohe bioklimatische Bedeutung

5. Ermittlung von Siedlungsräumen mit *mäßigem* nächtlichen Wärmeinseleffekt (Flächengröße > 0.1 ha)

⁴ Als „Grünfläche“ werden hier unabhängig von ihrer jeweiligen Nutzung all jene Flächen bezeichnet, die sich durch einen geringen Versiegelungsgrad von maximal etwa 25 % auszeichnen. Neben Parkanlagen, Kleingärten, Friedhöfen und Sportanlagen umfasst dieser Begriff damit auch landwirtschaftliche Nutzflächen sowie Wälder.



6. Ermittlung der an (5) *angrenzenden Grünflächen* (Toleranz = 100 m).
Wie unter (2) erfolgt die Einstufung auch dieser Flächen unabhängig von der flächeninternen Ausprägung der Klimaparameter
7. Ermittlung der an (2), (3) und (4) *direkt angrenzenden Grünflächen (Umfeldflächen)*.
Bereiche, die zur Ausweisung von „Kaltluftquellgebieten“ der besonders bedeutenden Flächen dienen.
8. Grünflächen aus (6) wird generell eine **hohe bioklimatische Bedeutung** zugesprochen
9. Grünflächen aus (7) und wird eine **hohe bioklimatische Bedeutung** zugesprochen, wenn sie einen hohen Kaltluftvolumenstrom aufweisen

Mittlere bioklimatische Bedeutung

10. Grünflächen aus (7) wird eine **mittlere bioklimatische Bedeutung** zugesprochen, wenn es sich um einen Waldbestand handelt
11. Waldflächen wird – wenn sie nicht bereits in eine der vorgenannten Kategorien fallen – pauschal ebenfalls eine **mittlere bioklimatische Bedeutung** zugesprochen.
Wald kommt generell eine von der Stärke des nächtlichen Kaltluftliefervermögens unabhängige bioklimatische Ausgleichsleistung als Frischluftproduzent und Erholungsraum zu.

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

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

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

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

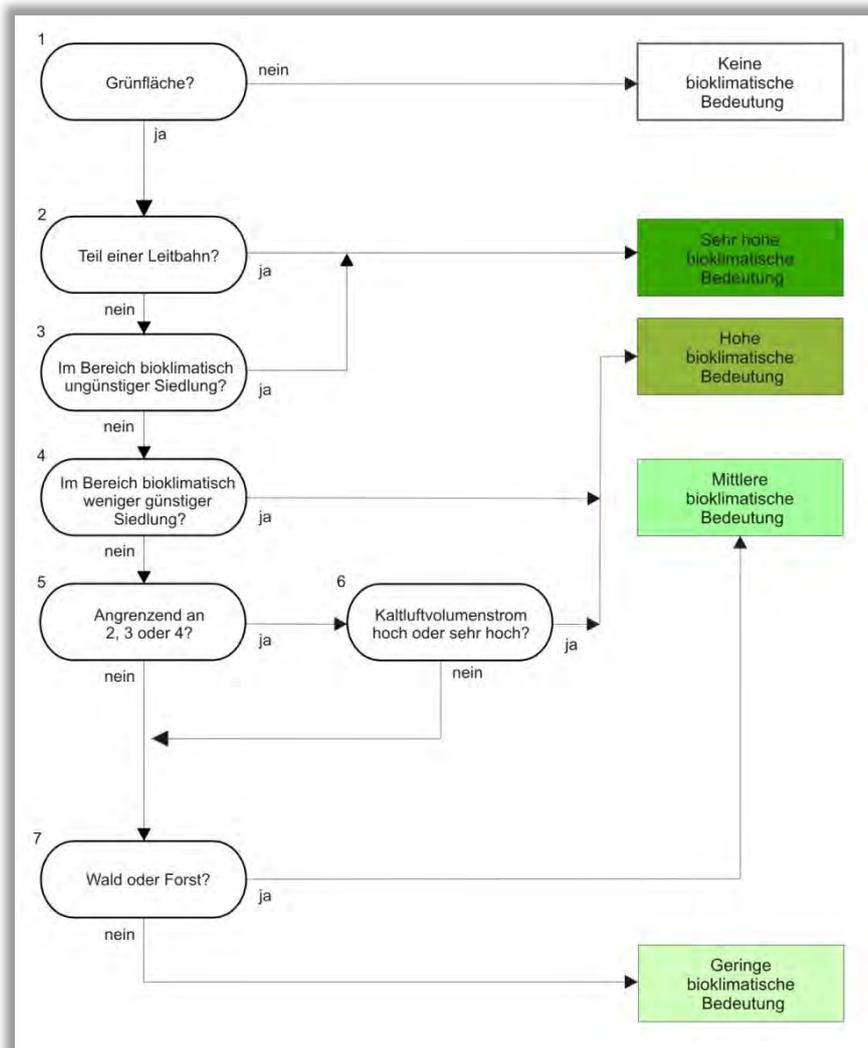


Abb. 6.1: Verknüpfungsmodell zur Ermittlung der bioklimatischen Bedeutung der Grünflächen in der Nacht

WEITERE KOMPONENTEN DER PLANUNGSHINWEISKARTE NACHTSITUATION

Wirkungsbereich der lokal entstehenden Strömungssysteme innerhalb der Bebauung

Diese Schraffur kennzeichnet alle Siedlungsflächen, welche sich im „Einwirkungsbereich“ eines klimatisch wirksamen Kaltluftvolumenstroms von mindestens 140 m³/s befinden (Kap. 4.4).

Hauptströmungsrichtung der Kaltluft in Grünflächen

Zur Visualisierung des Prozessgeschehens ist für jede Grünfläche > 0,35 ha die mittlere Windrichtung berechnet worden. Die Größe des Pfeiles repräsentiert die jeweilige Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms innerhalb der Einzelfläche.

Kaltluftleitbahnen

Leitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete (Ausgleichsräume) und Belastungsbereiche (Wirkungsräume) miteinander und sind aufgrund ihrer Klimafunktion elementarer Bestandteil des Luftaustausches (vgl. Kap. 5.3).



6.1.2 Bewertung der Tagsituation

Zur Bewertung der Tagsituation wird der humanbioklimatische Index PET um 14:00 Uhr herangezogen (vgl. Kap. 4.2). Für die PET existiert in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 9 eine absolute Bewertungsskala, die das thermische Empfinden und die physiologische Belastungsstufen quantifizieren (vgl. 6.2). Die Bewertung der thermischen Belastung im Stadtgebiet Dachau orientiert sich daran. Da die Kategorien jeweils eine Wertespanne von mehreren °C abdecken, ist zur besseren Darstellung der Belastungssituation im bebauten Siedlungsraum eine weitere Kategorie hinzugefügt worden. Diese umfasst den Temperaturbereich 32 °C bis 35 °C (thermisches Empfinden „sehr warm“) und führt zu einer besseren Differenzierung der Belastungssituation in den Siedlungsflächen innerhalb der Wertestufe „Mäßig“. Die Werteausprägung in den Grün- und Freiflächen machte diese zusätzliche Kategorie hingegen nicht notwendig. Eine extreme Belastung bei mehr als 41°C tritt im Stadtgebiet allerdings nicht auf.

| PET | Thermisches Empfinden | Physiologische Belastungsstufe |
|-------|-----------------------|--------------------------------|
| 20 °C | Behaglich | Keine Wärmebelastung |
| 23 °C | Leicht warm | Schwache Wärmebelastung |
| 29 °C | Warm | Mäßige Wärmebelastung |
| 35 °C | Heiss | Starke Wärmebelastung |
| 41 °C | Sehr heiss | Extreme Wärmebelastung |

Tab. 6.2: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET während der Tagesstunden

Die Zuweisung der Aufenthaltsqualität von Grün- und Freiflächen in der Planungshinweiskarte beruht auf der jeweiligen physiologischen Belastungsstufe. So liegt eine hohe Aufenthaltsqualität bei einer schwachen Wärmebelastung vor, während eine erhöhte oder starke Wärmebelastung zu einer geringen bzw. sehr geringen Aufenthaltsqualität führt. Die bioklimatische Bewertung am Tage ist ein Maß für die Aufenthaltsqualität in den Siedlungsflächen außerhalb von Gebäuden sowie in Grün- und Freiflächen. Diese beeinflusst auch die Situation innerhalb der Gebäude, doch hängt das Innenraumklima von vielen weiteren (z.B. gebäudebezogenen) Faktoren ab. Diese Zusammenhänge können im Rahmen der vorliegenden Arbeit allerdings nicht weiter vertieft werden.

6.2 Ergebnisse

6.2.1 Nachtsituation

Ein erholsamer Schlaf ist nur bei günstigen thermischen Bedingungen möglich, weshalb der Belastungssituation in den Nachtstunden eine besondere Bedeutung zukommt. Da die klimatischen Verhältnisse der Wohnungen in der Nacht im Wesentlichen nur durch den Luftwechsel modifiziert werden können, ist die Temperatur der Außenluft der entscheidende Faktor bei der Bewertung der thermophysiologicalen Belastung. Entsprechend spiegelt die Beurteilung des Bioklimas weniger die thermische Beanspruchung des Menschen im Freien wider, als vielmehr die positive Beeinflussbarkeit des nächtlichen Innenraumklimas. Wie in Kap. 3.3 beschrieben, ist die bioklimatische Belastungssituation der Baublöcke auf Basis der nächtlichen Überwärmung ausgewiesen worden. Damit ergibt sich eine räumliche



Untergliederung des Siedlungsraumes in bioklimatisch belastete Bereiche einerseits sowie unbelastete bzw. lediglich gering belastete andererseits. Letztere sind, durch von Kaltluft produzierenden Grünflächen ausgehende Kaltlufteinwirkbereiche, nur gering überwärmt und durch eine ausreichende Durchlüftung gekennzeichnet. Die Einwirkbereiche innerhalb der Bebauung sind durch die Schraffur gekennzeichnet. Am Ende einer warmen Sommernacht werden im Stadtgebiet Dachau bis 04 Uhr ca. 43 % des Siedlungsraums mit Kalt-/Frischlufte versorgt und befinden sich damit im Einwirkbereich von Flurwinden und lokalen Kaltluftabflüssen.

Diesen Gunsträumen stehen Belastungsbereiche mit einer überdurchschnittlichen Wärmebelastung und einem Durchlüftungsdefizit gegenüber. Dies betrifft vor allem die Kernstadt Dachau sowie größere Gewerbeflächen, in denen bioklimatisch weniger günstige bzw. ungünstige Bedingungen vorliegen. Diese resultieren aus dem hohen Überbauungs- und Versiegelungsgrad sowie einer in Teilen unzureichenden Durchlüftung. Abbildung 6.2 zeigt in einem Ausschnitt aus der Planungshinweiskarte, wobei die thermische Situation der Siedlungsräume sowie Strassen und Plätze mit einer Farbabstufung dargestellt ist.

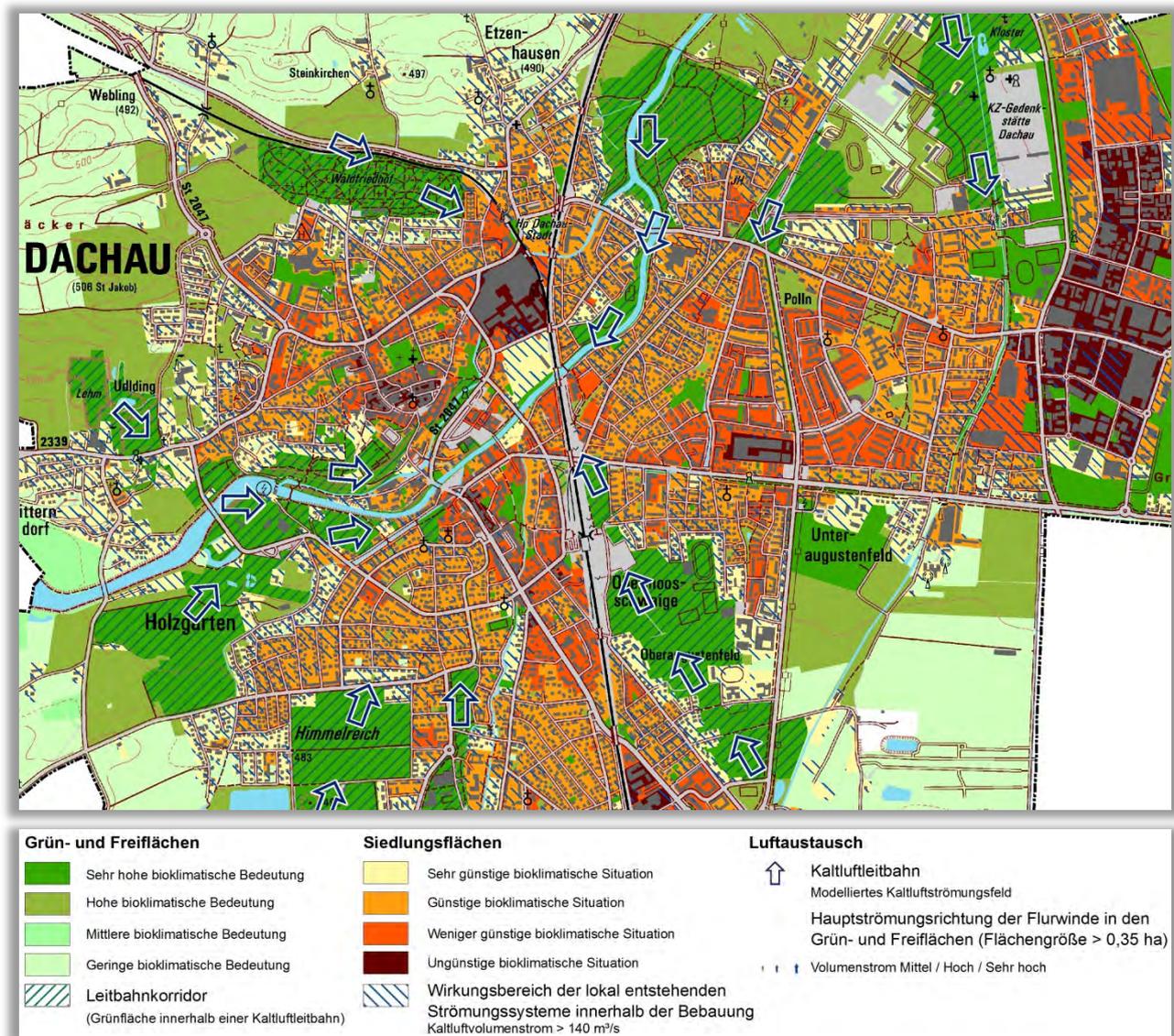


Abb. 6.2: Planungshinweiskarte Nachtsituation



Die stärkste Überwärmung ist im Innenstadtbereich sowie innerhalb der größeren Gewerbeflächen anzutreffen (Dunkelrot), während die Bebauung zum Siedlungsrand hin eine schwache bis mäßige Überwärmung aufweist. Wesentliche Teile der z.T. durch verdichtete Zeilen- bzw. Blockrandbebauung geprägten Wohngebiete entlang von Münchner Straße, Mittermayerstraße und Pollnerstraße/Breslauer Straße weisen eine hohe Überwärmung auf (Dunkelorange). Innerhalb der eher dörflich strukturierten Siedlungsflächen ist keine nennenswerte nächtliche Überwärmung anzutreffen. Der Einwirkungsbereich der Kaltluft ist mit einer Schraffur dargestellt.

| Bewertung | Flächenanteil (%) | Allgemeine Planungshinweise |
|--|-------------------|---|
| Keine Überwärmung <i>Sehr günstige bioklimatische Situation</i> | 36.3 | Vorwiegend offene Siedlungsstruktur mit guter Durchlüftung und einer geringen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen bei Beachtung klimaökologischer Aspekte. Das sehr günstige Bioklima ist zu sichern. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht erforderlich. Der Vegetationsanteil sollte möglichst erhalten bleiben. |
| Schwache Überwärmung <i>Günstige bioklimatische Situation</i> | 39.0 | Geringe bis mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung bei Beachtung klimaökologischer Aspekte. Das günstige Bioklima ist zu sichern. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht notwendig. Freiflächen und der Vegetationsanteil sollten möglichst erhalten bleiben. |
| Mäßige Überwärmung <i>Weniger günstige bioklimatische Situation</i> | 17.0 | Mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation werden empfohlen. Die Baukörperstellung sollte beachtet, Freiflächen erhalten und möglichst eine Erhöhung des Vegetationsanteils angestrebt werden. |
| Hohe Überwärmung <i>Ungünstige bioklimatische Situation</i> | 7.4 | Hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig. Es sollte keine weitere Verdichtung (insb. zu Lasten von Grün-/Freiflächen) erfolgen und eine Verbesserung der Durchlüftung angestrebt werden. Freiflächen sollten erhalten und der Vegetationsanteil erhöht werden (ggf. Begrünung von Blockinnenhöfen). |

Tab 6.3: Flächenanteile bioklimatisch belasteter Siedlungsgebiete in der Nacht und abgeleitete Planungshinweise

Den **Grün- und Freiflächen** im Stadtgebiet Dachau kommt zu gut einem Viertel eine hohe bis sehr hohe bioklimatische Bedeutung zuteil (16,2 % bzw. 12,4 %; vgl. Tab 6.4). Eine mittlere Bedeutung lässt sich 7,3 % der Grünflächen zuordnen. Etwa 64 % der Grünflächen weisen eine geringe Bedeutung auf, 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.



| Bedeutung der Grünflächen | Flächenanteil (%) | Allgemeine Planungshinweise |
|---------------------------|-------------------|--|
| Gering | 64,1 | Flächen stellen für die gegenwärtige Siedlungsstruktur keine relevanten Klimafunktionen bereit und weisen eine geringe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung auf. Bauliche Eingriffe sollten unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen. |
| Mittel | 7,3 | Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur 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. Bauliche Eingriffe sollten unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen (z.B. Baukörperstellung). |
| Hoch | 12,4 | Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur wichtige klimaökologische Ausgleichsräume mit einer hohen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Bauliche Eingriffe sollten unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen und eine gute Durchströmbarkeit der angrenzenden Bebauung angestrebt werden. |
| Sehr hoch | 16,2 | Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur besonders wichtige klimaökologische Ausgleichsräume mit einer sehr hohen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Bauliche Eingriffe sollten gänzlich vermieden bzw. sofern bereits planungsrechtlich zulässig unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen. Eine gute Durchströmbarkeit der angrenzenden Bebauung ist anzustreben und zur Optimierung der klimatischen Ausgleichsleistung sollte eine Vernetzung mit benachbarten Grün-/ Freiflächen erreicht werden (Grünverbindungen). |

Tab. 6.4: Flächenanteile bioklimatisch bedeutender Grünareale in der Nacht und abgeleitete Planungshinweise

Generell gilt, dass im Falle einer Bebauung der Flächen selbst bzw. in ihrer Umgebung die Bewertung neu vorgenommen werden muss. Die Flächenanteile der bewerteten Nutzungsstrukturen sind in Abb. 6.3 zusammengefasst:

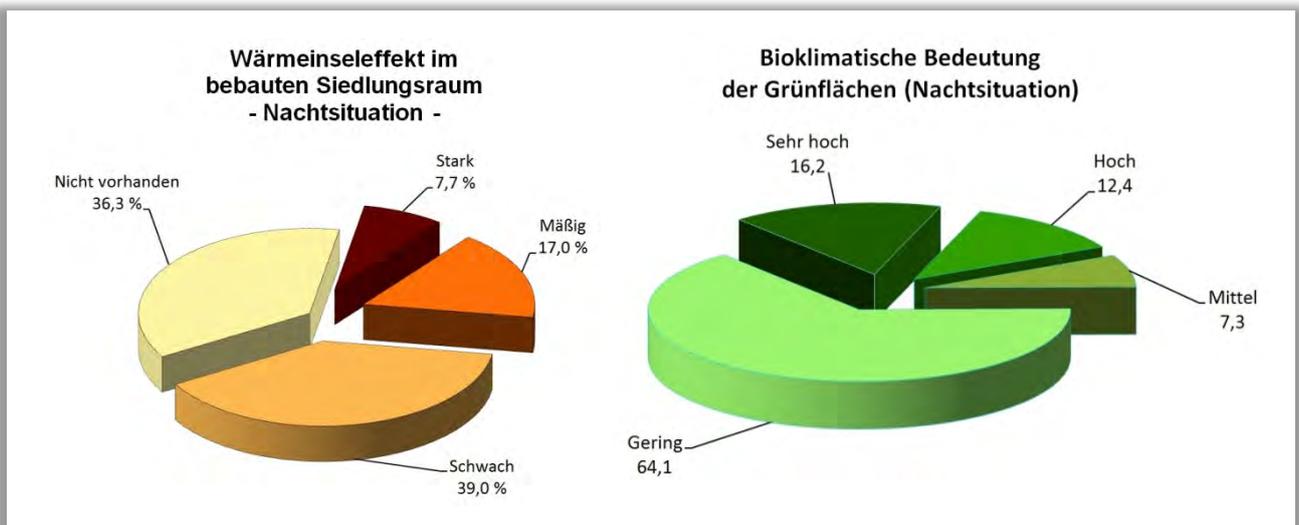


Abb. 6.3: Flächenanteile der bewerteten Nutzungsstrukturen im Stadtgebiet Dachau (Nachtsituation)



6.2.2 Tagsituation

Am Tage sind deutliche Unterschiede in der Aufenthaltsqualität sowohl in den bebauten bzw. versiegelten Bereichen als auch den Grünflächen zu erkennen (Abb. 6.4). **Urbane Siedlungsflächen** lassen mehrheitlich eine erhöhte bis starke bioklimatische Belastung erkennen (45.9 % bzw. 41.0 %). Dabei treten vor allem die größeren Gewerbeflächen hervor, welche oftmals große versiegelte Areale aufweisen und in der Regel wenige Grünflächen und eher niedrigere Gebäude aufweisen, sodass die (solare) Einstrahlung und entsprechend die thermische Belastung am Tage höher ausfällt. Eine mäßige Belastung ist mit einem Anteil von 11 % in den eher peripheren Siedlungsflächen mit höherem Anteil mit Schatten spendenden Grünstrukturen zu beobachten. Vor allem im Nahbereich zu größeren Waldflächen zeigt sich die positive Wirkung größerer Baumbestände für die angrenzende Bebauung (Abb. 6.4). Areale mit schwacher Belastung spielen mit einem Flächenanteil von 2.1 % eine untergeordnete Rolle. Den jeweiligen Kategorien werden in Tab. 6.5 allgemeine Planungshinweise zugeordnet.

| Belastungssituation | Flächenanteil (%) | Allgemeine Planungshinweise |
|---------------------|-------------------|---|
| Schwach | 2.1 | Es liegen bioklimatisch günstige Bedingungen sowie ein hoher Grünanteil vor, die es jeweils zu erhalten gilt. |
| Mäßig | 11,0 | Es liegen überwiegend bioklimatisch günstige Bedingungen sowie ein ausreichender Grünanteil vor, die es jeweils zu erhalten gilt. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht erforderlich, sollten bei wichtigen Fuß- bzw. Radwegen und Plätzen jedoch geprüft werden. |
| Erhöht | 45,9 | Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind empfehlenswert. Es besteht Bedarf an Anpassungsmaßnahmen wie zusätzlicher Begrünung und Verschattung sowie ggf. Entsiegelung. Dies gilt auch für Flächen des fließenden und ruhenden Verkehrs (insb. Fuß- und Radwege sowie Plätze). Ausreichend Ausgleichsräume sollten fußläufig gut erreichbar und zugänglich sein. |
| Stark | 41,0 | Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig und prioritär. Sehr hoher Bedarf an Anpassungsmaßnahmen wie zusätzlicher Begrünung (z.B. Pocket-Parks), Verschattung und Entsiegelung. Dies gilt auch für Flächen des fließenden und ruhenden Verkehrs (insb. Fuß- und Radwege sowie Plätze). Ausreichend Ausgleichsräume sollten fußläufig gut erreichbar und zugänglich sein. |

Tab. 6.5: Flächenanteile bioklimatisch belasteter Siedlungsgebiete am Tage und abgeleitete Planungshinweise

Knapp 6 % der **Grünflächen** kann eine hohe Aufenthaltsqualität mit geringer PET zugeschrieben werden, d.h. sie bieten an Sommertagen eine relativ hohe Aufenthaltsqualität und eignen sich je nach Lage als (potenzielle) Rückzugsorte und Aufenthaltsbereiche für die Bevölkerung (Tab. 6.6). Dabei handelt es sich vor allem um Waldflächen sowie Parkanlagen mit ausgeprägtem Baumbestand. Die zahlreichen und weitläufigen landwirtschaftlichen Flächen im Stadtgebiet erlauben aufgrund der meist ungehinderten Einstrahlung (unabhängig von der ohnehin fehlenden Zugänglichkeit) keinen Rückzugsort und tragen zu einem hohen Anteil an Grünflächen geringer bzw. sehr geringer Bedeutung (38.4 % bzw. 47.3 %) bei.



| Aufenthaltsqualität der Grünflächen | Flächenanteil [%] | Allgemeine Planungshinweise |
|-------------------------------------|-------------------|---|
| Hoch | 5.7 | Grünflächen mit einem hohen Maß an Verschattung und damit einhergehender hoher Aufenthaltsqualität, die fußläufig aus den belasteten Siedlungsgebieten erreicht werden können. Verschattende Vegetationselemente sind zu erhalten und zu schützen (ggf. Bewässerung), eine gute Erreichbarkeit sollte dahingehend gewährleistet sein. |
| Mäßig | 8.6 | Grünflächen mit einem durchschnittlichen Maß an Verschattung, bei denen der bioklimatisch positive Einfluss durch Vegetationselemente überwiegt. Verschattende Vegetationselemente sind zu erhalten und schützen (ggf. Bewässerung) sowie ggf. auszubauen. |
| Gering | 38.4 | Frei- und Grünflächen mit einem Defizit an Verschattung (geringe Ausgleichsfunktion). Eher schlechte Eignung als Aufenthaltsbereich. Innerhalb des Siedlungsgebiets sind verschattende Vegetationselemente zu entwickeln bzw. auszubauen (Erhöhung der Mikroklimavielfalt). |
| Sehr gering | 47.3 | Freiflächen bzw. siedlungsferne Grünflächen mit wenig Schatten und intensiver solarer Einstrahlung (vorwiegend Rasen- bzw. landwirtschaftliche Nutzflächen). Innerhalb des Siedlungsgebiets sind verschattende Vegetationselemente zu entwickeln bzw. auszubauen (Erhöhung der Mikroklimavielfalt). |

Tab. 6.6: Flächenanteile bioklimatisch bedeutender Grünareale am Tage und abgeleitete Planungshinweise

Eine Bilanzierung der Flächenanteile für die Tagsituation zeigt Abb. 6.5.

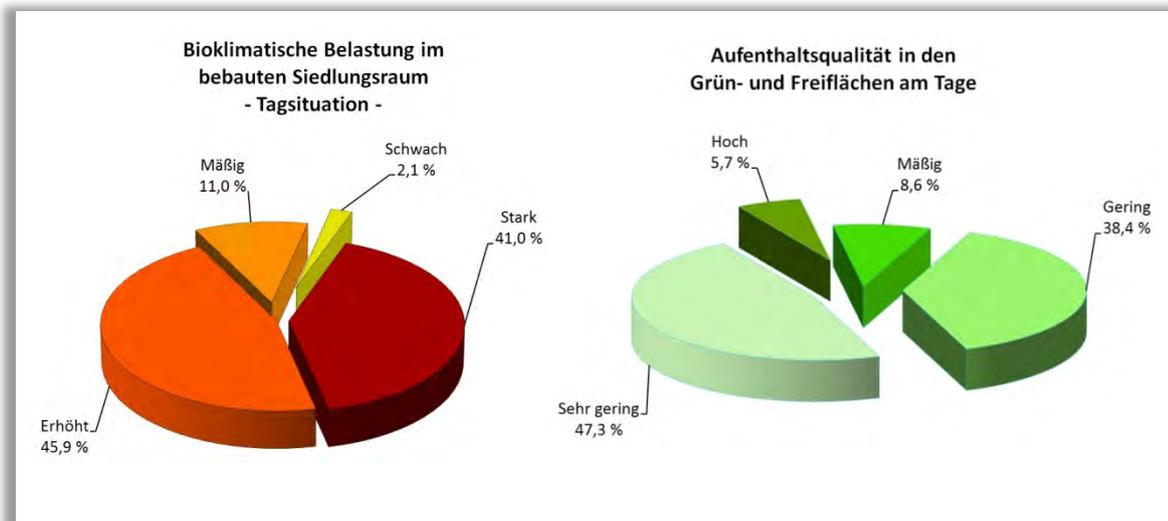


Abb. 6.5: Flächenanteile der bewerteten Nutzungsstrukturen im Stadtgebiet Dachau (Tagsituation)

Einen Ausschnitt aus der Planungshinweiskarte für die Tagsituation ist in Abb. 6.4 dargestellt. Hier zeichnen sich deutlich die Siedlungsflächen mit einer PET von mehr als 35°C und einer starken Belastung ab (rote Farbe). Darüber hinaus dominiert eine mäßige bis erhöhte Belastung in den durch Einzel- und Reihenhausbebauung geprägten Arealen (Orange). Das thermische Empfinden kann in beiden Kategorien mit Werten unterhalb des Schwellenwertes von 35°C als akzeptabel angesehen werden.



In zahlreichen Grünflächen können Bäume durch ihren Schattenwurf für ein angenehmeres Aufenthaltsklima sorgen, da dieser den Strahlungseinfluss deutlich vermindert.

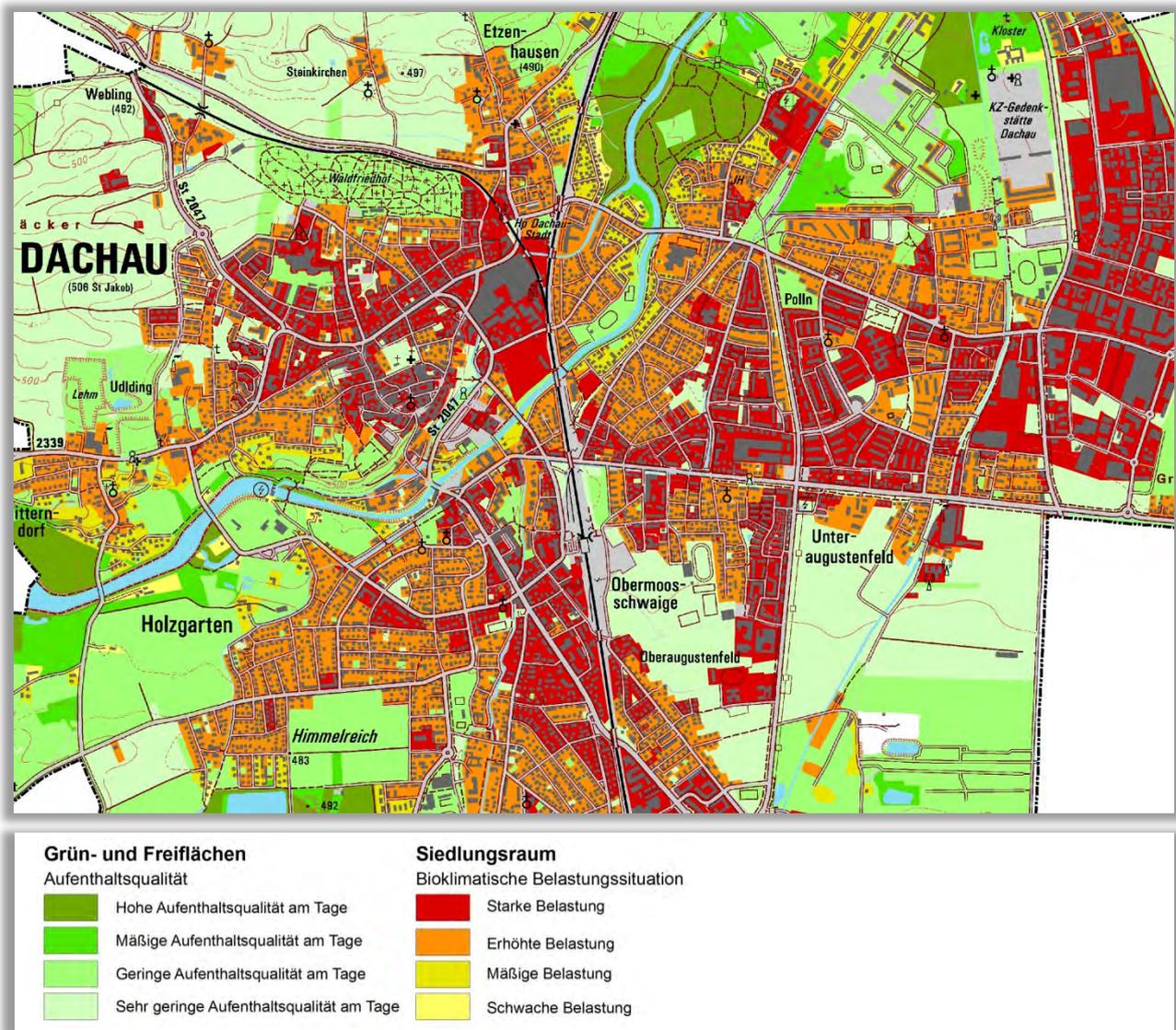


Abb. 6.4: Planungshinweiskarte Tagsituation

WEITERE HINWEISE ZUR VERRINGERUNG DER WÄRMEBELASTUNG IN DEN SIEDLUNGSFLÄCHEN SOWIE ZUR AUFENTHALTSQUALITÄT VON GRÜNFLÄCHEN

Luftaustausch

Eine klimaoptimierte Gestaltung zukünftiger Baufelder sollte vorhandene Kalt-/Frischluchtströmungen berücksichtigen, um deren klimatische Wohlfahrtswirkung sowohl in einem neuen Quartier als auch im Bestand zu sichern. Dazu sollten Gebäude parallel zur Fließrichtung der Kaltluft angeordnet werden sowie ausreichend (grüne) Freiflächen zwischen ihnen erhalten bleiben. Ziel ist es, den Bebauungsrand durchlässig zu gestalten und von den angrenzenden Grünflächen auch weiterhin nächtliche Kaltluft in die Bebauung eindringen zu lassen.

Verringerung der Wärmebelastung im Siedlungsraum

Während am Tage die direkte, kurzweilige Strahlung der Sonne wirksam ist, geben nachts Bauwerke und versiegelte Oberflächen die tagsüber gespeicherte Energie als langwellige Wärmestrahlung wieder ab.



Durch die Verringerung des Wärmeinputs am Tage mit Hilfe bspw. von Fassadenbegrünung oder Straßenbäumen wird gleichzeitig weniger Strahlungsenergie in der Baumasse gespeichert und damit in der Nacht auch weniger Wärme an die Luft abgegeben.

Neben einer hohen Grünausstattung lässt sich zudem durch die Verwendung von hellen Baumaterialien die Reflexion des Sonnenlichtes (Albedo) erhöhen, so dass ebenerdig versiegelte Flächen oder auch Fassaden stärker zurückstrahlen. Dadurch bleiben sie kühler und nehmen damit insgesamt weniger Wärmeenergie auf.

Bedeutung von Dach- und Fassadenbegrünung

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

Bei einer Dachbegrünung wirkt die Vegetation zusammen mit dem Substrat isolierend und verringert damit das Aufheizen des darunter liegenden Wohnraums. Zudem senkt die Dachbegrünung die Oberflächentemperatur des Daches aufgrund der Verdunstung von Wasser ab und verringert die Temperatur in der oberflächennahen Luftschicht. Allerdings kommt es bei einer hohen Traufhöhe von Gebäuden zu einer vertikalen Entkopplung der positiven Effekte. Nur relativ niedrige Gebäude (< 5 m) mit Dachbegrünung können zu einem im bodennahen Bereich positiven Abkühleffekt beitragen. Gründächer auf 4-5 geschossigen Gebäuden zeigen in der untersten Schicht der Stadtatmosphäre (= Aufenthaltsbereich des Menschen) keinen nennenswerten positiven Temperatureffekt. Voraussetzung für die Kühlwirkung ist allerdings immer ein ausreichendes Wasserangebot für die Vegetation. Sollte bei längeren Hitzeperioden die Vegetation austrocknen, steigen die Temperaturen wieder auf das Niveau eines normalen Daches an und können sogar darüber hinausgehen. Der Kühlungseffekt für die Innenräume bleibt dabei aber erhalten. Im Winter isoliert ein Gründach zusätzlich und kann zur Senkung des Heizbedarfes beitragen. Ein weiterer Vorteil von Dachbegrünung ist im Retentionsvermögen von Regenwasser zu sehen, wodurch die Kanalisation vor allem bei Starkregenereignissen entlastet wird.

Grünflächen und Aufenthaltsbereiche im Freien

Eine intensive Begrünung des Straßenraums und die Aufwertung der Bestandsbebauung mit Bäumen steigern die Aufenthaltsqualität im Freien beträchtlich, da somit große beschattete Bereiche geschaffen werden. Damit das Gehen/Radfahren im Schatten ermöglicht. Dieser Aspekt hat vor allem deshalb Relevanz, die siedlungsnaher Grünfläche an Sommertagen mit starker solarer Einstrahlung zu verbessern.

Im Übergangsbereich einer Grünfläche zur Bebauung sollte allerdings auf dichte Vegetationselemente wie Gehölze und Hecken verzichtet werden, da diese die bodennahe Kaltluftströmung beeinträchtigen können. Ein weiteres klimaausgleichendes Gestaltungselement können Brunnenanlagen in Platzbereichen bzw. Freiflächen darstellen. Insbesondere die Temperaturspitzen können kleinräumig durch die durch Wasserflächen erzeugte Verdunstungskälte reduziert werden und die Aufenthaltsqualität im Freien verbessern. Für die strukturelle Ausgestaltung der Grünanlage lassen sich die folgenden Hinweise geben.



Innerstädtische Grün- und Freiflächen sollten möglichst vielfältige Mikroklimata bereitstellen, wobei als Leitbild der erweiterte „Savannentyp“ dienen kann (KUTTLER 2013). Er besteht zu einem großen Anteil aus gut wasserversorgten Rasenflächen und kleinen Baumgruppen, die mit offenen multifunktionalen Wasserflächen (z.B. Wasserspielplatz und Retentionsraum für Starkregenereignisse), Hügellandschaften, verschatteten Wegen und Sitzgelegenheiten sowie weiteren Strukturmerkmalen (Beete, Rabatten, Blumenwiesen, Sukzessionsflächen) angereichert sind (Abb. 18). Ziel sollte sein, möglichst vielgestaltige „Klimaoasen“ zu schaffen, welche ein abwechslungsreiches Angebot für die unterschiedlichen Nutzungsansprüche der Menschen (z.B. windoffene und windgeschützte Bereiche, offene „Sonnenwiesen“, beschattete Bereiche) darstellen. Durch diese heterogene Anordnung wird sichergestellt, dass sowohl die nächtliche Abkühlung der Luft als auch der Aufenthalt am Tage für alle Zielgruppen optimiert ist.



Abb. 6.6: Klimatisch günstige Ausgestaltung von Freiflächen



7 Literatur

- 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.
- GROSS, G. (2002): The exploration of boundary layer phenomena using a nonhydrostatic mesoscale model. Meteor. Z.schr. Vol. 11 Nr. 5., S. 701-710.
- JENDRITZKY, G., et al. 1990. Methodik zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell). Beitr. Akad. Raumforsch. Landesplan. Nr. 114.
- KIESE, O. et al. (1992): Stadtklima Münster. Entwicklung und Begründung eines klimarelevanten Planungskonzeptes für das Stadtgebiet von Münster. Stadt Münster - Werkstattberichte zum Umweltschutz 1/1992
- 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. (2013): Klimatologie. Kapitel: Lokale Maßnahmen gegen den globalen Klimawandel. Paderborn: Schöningh (2. Auflage).
- LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, BREITBAND UND VERMESSUNG (2017): Geoportal Bayern - Luftbildbefliegung 2016. Internet: <https://geoportal.bayern.de> (Zugriff 20.11.2017)
- MOSIMANN, Th., P. TRUTE & Th. FREY (1999): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, Heft 4/99, S. 202-275.
- NATIONAL GEOSPATIAL INTELLIGENCE AGENCY (2004): Digital Terrain Elevation Data.
- VDI (2004): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 9. Umweltmeteorologie. Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene.
- 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 (2014): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1. Umweltmeteorologie. Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Entwurf.