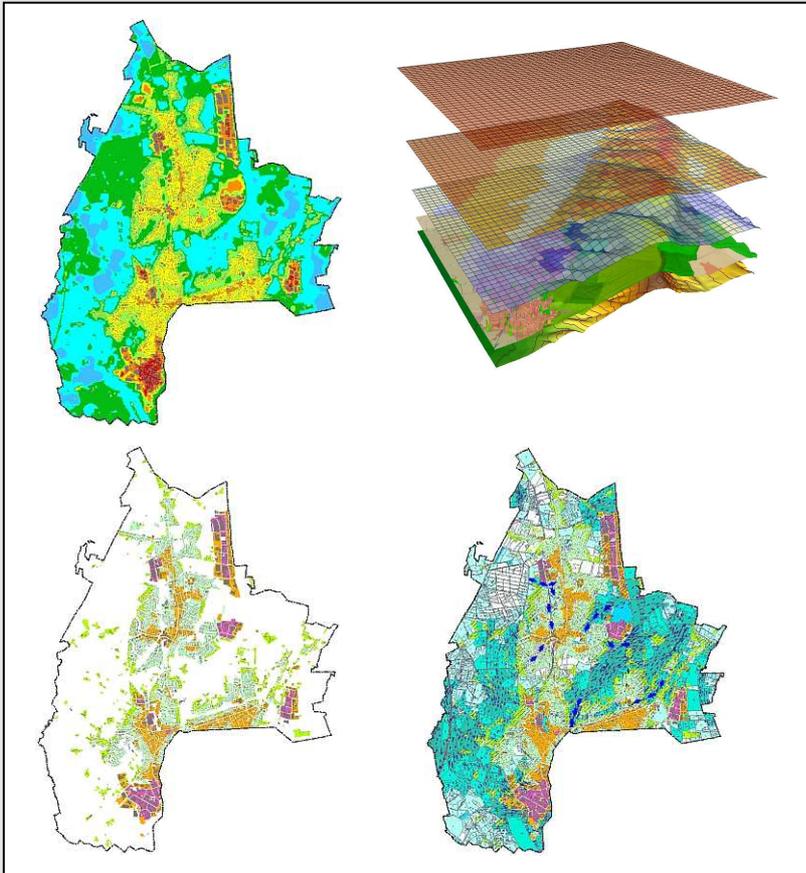


Analyse der klimaökologischen Funktionen für die Stadt Norderstedt



Auftraggeber:

Stadt Norderstedt

Amt für Stadtentwicklung, Umwelt und Verkehr

Rathausallee 50

22846 Norderstedt



GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Große Pfahlstraße 5a

3 0 1 6 1 Hannover

Tel. (0511) 3887200

FAX (0511) 3887201

www.geo-net.de

In Zusammenarbeit mit: Prof. Dr. G. Gross
Anerkannt beratender Meteorologe (DMG),
Öffentlich bestellter Gutachter für Immissionsfragen und
Kleinklima der IHK Hannover-Hildesheim

Hannover, Januar 2014

Auftrag: Analyse der klimaökologischen Funktionen
für die Stadt Norderstedt

Standort: Stadt Norderstedt
Bundesland: Schleswig-Holstein
Deutschland

Auftraggeber: Stadt Norderstedt
Amt für Stadtentwicklung, Umwelt und Verkehr
Rathausallee 50
22846 Norderstedt

Projektnummer: 2_12_011

Berichtsnummer: 2_12_011_Norderstedt_Rev00

Version: 1

Datum: 07. Januar 2014

Erstellt von: 

Dipl.-Geogr. Dirk Funk

Unter Mitarbeit von: 

Prof. Dr. Günter Groß

Geprüft von: 

Dipl.-Geogr. Peter Trute

GEO-NET
Umweltconsulting GmbH

Geschäftsführer:
Dipl.-Geogr. Thorsten Frey
Dipl.-Geogr. Peter Trute
Große Pfahlstraße 5a
D-30161 Hannover
Tel. (0511) 388 72 00
Fax (0511) 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



Die Erstellung des Gutachtens erfolgte nach Stand der Technik nach bestem Wissen und Gewissen. Das Gutachten bleibt bis zur Abnahme und Bezahlung alleiniges Eigentum des Auftragnehmers. Die Veröffentlichung bzw. Vervielfältigung und Weitergabe des Gutachtens bzw. von Auszügen oder Ergebnissen an Dritte bedarf des schriftlichen Einverständnisses der GEO-NET Umweltconsulting GmbH.

Inhaltsverzeichnis

Seite:

Inhaltsverzeichnis..... I

Abbildungsverzeichnis..... II

Tabellenverzeichnis..... III

Kartenverzeichnis..... III

1. Aufgabenstellung 1

2. Datengrundlage und Aufbau der Geodatenbasis für die Modellrechnungen 3

 2.1 Geländehöhe.....3

 2.2 Nutzungsstruktur4

3. Methodik..... 6

 3.1 Beschreibung des verwendeten Klima- u. Strömungsmodells FITNAH.....6

 3.2 Standardisierung der Parameter 11

 3.3 Abgrenzung der klimaökologischen wirksamen Nutzungsstrukturen..... 12

 3.3.1 Grün- und Freiflächen 13

 3.3.2 Bioklima in den Siedlungsflächen..... 14

4. Ergebnisse der Klimamodellierung 16

 4.1 Bodennahes Lufttemperaturfeld..... 17

 4.2 Autochthones Windfeld20

 4.3 Kaltluftvolumenstrom.....23

5 Klimaökologische Funktionen 26

 5.1 Grün- und Freiflächen26

 5.2 Siedlungsräume28

 5.3 Luftaustausch.....29

6 Planungshinweiskarte Stadtklima 31

 6.1 Grün- und Freiflächen33

 6.2 Siedlungsräume35

 6.3 Luftaustausch.....36

 6.4 Nutzungshinweise für die Bauleitplanung37

6.5	Planungsbeispiele	40
7	Zukunftsszenario Flächennutzungsplan 2020	47
7.1	Auswirkungen auf den Kaltlufthaushalt	48
7.2	Klimafunktionskarte	51
7.3	Planungshinweiskarte Stadtklima	53
8	Fazit	54
9	Literatur	57
10	Glossar	58

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Geländehöhe im Untersuchungsraum	3
Abb. 2:	Nutzungsstruktur im Stadtgebiet Norderstedt	4
Abb. 3:	Unterschiedliche Rasterweiten bei einem digitalem Geländehöhenmodell.....	7
Abb. 4:	Einfluss der Bebauungsdichte auf die Strömungsgeschwindigkeit	8
Abb. 5:	Einfluss der Vegetation auf die Durchströmbarkeit einer Rasterzelle	9
Abb. 6:	Eingangsdaten für die Modellrechnung	10
Abb. 7:	Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für verschiedene Landnutzungen	11
Abb. 8:	Veranschaulichung der Standardisierung zur vergleichenden Bewertung von Parametern.....	10
Abb. 9:	Prinzipskizze Kaltluftleitbahn	10
Abb. 10:	Absolute Dauer autochthoner Wetterlagen in HH-Fuhlsbüttel in den Monaten Juni, Juli und August.....	16
Abb. 11:	Temperaturfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens	18
Abb. 12:	Lufttemperatur in 2 m Höhe im Vertiefungsraum Norderstedt-Mitte/Harksheide	19
Abb. 13:	Prinzipskizze Flurwind	20
Abb. 14:	Strömungsgeschwindigkeit zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens	21
Abb. 15:	Kaltluftströmungsfeld und Windgeschwindigkeit im Vertiefungsraum Norderstedt- Mitte/Harksheide	22
Abb. 16:	Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom	23
Abb. 17:	Kaltluftvolumenstrom zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens	24
Abb. 18:	Kaltluftvolumenstrom zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens im Vertiefungsraum Norderstedt- Mitte/Harksheide	25
Abb. 19:	Klimafunktionen im Bereich Norderstedt-Mitte/Harksheide.....	29
Abb. 20:	Planungshinweise im Bereich Norderstedt-Mitte/Harksheide	32
Abb. 21:	Vereinfachtes Verknüpfungsmodell zur Ermittlung der bioklimatischen Bedeutung der Grünflächen.....	34
Abb. 22:	Planungshinweiskarte und Lage des Beispielgebietes Erweiterung Nordport	40

Abb. 23: Planungshinweiskarte und Lage des Beispielgebietes Mühlenweg	42
Abb. 24: Planungshinweiskarte und Lage des Beispielgebietes Moorbekpark	43
Abb. 25: Planungshinweiskarte und Lage des Beispielgebietes Wohnbauflächen W 22 und W 23 des FNP 2020 sowie Bebauungsplan 282 „Kreuzweg“	44
Abb. 26: Planungshinweiskarte und Lage des Beispielgebietes Bebauungsplan 250 „Zwischen Weg am Denkmal und Glashütter Weg“	45
Abb. 27: Flächenkulisse Zukunftsszenario	47
Abb. 28: Veränderung der Lufttemperatur im Bereich Garstedt	48
Abb. 29: Veränderung der Windgeschwindigkeit im Bereich Garstedt	49
Abb. 30: Veränderung des Kaltluftvolumenstroms im Bereich Garstedt	50
Abb. 31: Klimafunktionskarte im Bereich Garstedt	51
Abb. 32: Flächenkulisse Zukunftsszenario	52
Abb. 33: Planungshinweiskarte im Bereich Garstedt	53
Abb. 34: Flächenanteile der bioklimatischen Belastung (Nachtsituation)	54
Abb. 35: Ausprägung der sommerlichen Wärmebelastung in verschiedenen Städten	55
Abb. 36 Sommertage und Hitzetage an den Stationen HH-Fuhlsbüttel, Quickborn, Kiel und Schleswig	56

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Nutzungskategorien der Klimamodellierung	5
Tab. 2: Bewertung der Kaltluftlieferung innerhalb von Grünflächen	13
Tab. 3: Klassifizierung der bioklimatischen Belastung der Siedlungsflächen während einer windschwachen Sommernacht	15
Tab. 4: Qualitative Einordnung der Kaltluftvolumenstroms	24
Tab. 5: Qualitative Einordnung der Kaltluftlieferung von Grünflächen im Stadtgebiet Norderstedt	27
Tab. 6: Bilanzierung der planerisch relevanten Grünflächen	35
Tab. 7: Stadtklimatische Hinweise für Planungsentscheidungen	39

Kartenverzeichnis

Karte 1: Oberflächennahe Lufttemperatur während einer austauscharmen Strahlungswetternacht
Karte 2: Kaltluftproduktion während einer austauscharmen Strahlungswetternacht
Karte 3: Autochthones Strömungsfeld und Windgeschwindigkeit während einer austauscharmen Strahlungswetternacht
Karte 4: Kaltluftvolumenstrom und autochthones Strömungsfeld während einer austauscharmen Strahlungswetternacht
Karte 5: Bioklimatische Situation während einer austauscharmen Strahlungswetternacht
Karte 6: Karte der klimaökologischen Funktionen
Karte 7: Planungshinweise Stadtklima
Karte 8: Klimafunktionskarte Szenario FNP 2020
Karte 9: Planungshinweise Stadtklima Szenario FNP 2020

1. Aufgabenstellung

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

Im Auftrag der Stadt Norderstedt wurde vom Büro GEO-NET Umweltconsulting GmbH in Kooperation mit Prof. Dr. G. Gross (Universität Hannover) im Jahr 2012 eine modellgestützte Analyse zu den klimaökologischen Funktionen für das Stadtgebiet Norderstedt durchgeführt. Im Vordergrund standen dabei austauscharme sommerliche Hochdruckwetterlagen, die häufig mit einer überdurchschnittlich hohen Wärmebelastung in den Siedlungsräumen sowie lufthygienischen Belastungen einher gehen. Unter diesen meteorologischen Rahmenbedingungen können nächtliche Kalt- und Frischluftströmungen aus dem Umland und innerstädtischen Grünflächen zum Abbau der Belastungen beitragen.

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

Analyse der stadtklimatischen Zusammenhänge

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

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

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

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

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

Dieses Vorgehen unterscheidet sich damit von der früher verbreiteten - und sich im Wesentlichen auf die VDI Richtlinie 3787 Blatt 1 stützenden - statischen Betrachtung auf der Basis von Klimatopen, in welchen ein, den unterschiedlichen Nutzungen entsprechendes, einheitliches Mikroklima unabhängig von der Lage des Klimatops angenommen wird (VDI 1997). Während eine Thermalscannerbefliegung lediglich die Oberflächentemperatur darstellt, nicht aber die eigentliche Lufttemperatur oder Kaltluftströmungen erfasst, bietet die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung eingesetzte Methode den Vorteil, dass das Luftaustauschgeschehen und die Verhältnisse der bodennahen Atmosphäre umfassend abgebildet werden.

Des Weiteren ermöglicht nur die numerische Simulation eine Prognose zukünftiger Entwicklungen. Um eine Aussage über die klimatischen Wirkungen einer perspektivischen baulichen Entwicklung in Norderstedt treffen zu können, sind in einem Szenario „Zukunft“ die im Flächennutzungsplan 2020 ausgewiesenen Areale in einer eigenen Modellrechnung berücksichtigt worden. Analog zur gegenwärtigen Flächenkulisse wurde eine Klimafunktions- und Planungshinweiskarte erarbeitet.

Das methodische Vorgehen (Modell, Verfahren, Bewertungsansätze) erlaubt fundierte Aussagen für den Maßstabsbereich 1 : 50 000 bis 1 : 15 000 (F-Plan-Ebene). Eine abschätzende Beurteilung der Auswirkungen von Planungsmaßnahmen ist aber auch auf Bebauungsplanebene gegeben.

2. Datengrundlage und Aufbau der Geodatenbasis für die Modellrechnungen

Bei einer Gesamtgröße des Untersuchungsraums von ca. 114 km² geht die Abgrenzung des Untersuchungsraumes deutlich über das Stadtgebiet Norderstedt hinaus und zielt darauf ab, auch außerhalb des Stadtgebiets vorhandene Strukturen wie Wald- und Ackerflächen in die Klimamodellierung zu integrieren. Somit ist gewährleistet, dass alle für den Kaltlufthaushalt relevanten Struktureinheiten berücksichtigt werden. Die für die FITNAH-Modellierung vorgesehene Rasterzellenauflösung beträgt 25 m.

2.1 Geländehöhe

Zur Bereitstellung der orographischen Eingangsparameter für die Klimaanalyse konnte auf ein digitales Geländehöhenmodell der Stadt Norderstedt mit einer Auflösung von 10 m zurückgegriffen werden. Für das nähere Umland wurde das Geländemodell durch DTED-Höhendaten ergänzt (Digital Terrain Elevation Data - NGA 2004). Darauf basierend wurde das für die Modellrechnung erforderliche Raster mit einer Auflösung von 25 m erzeugt (Abb. 1).

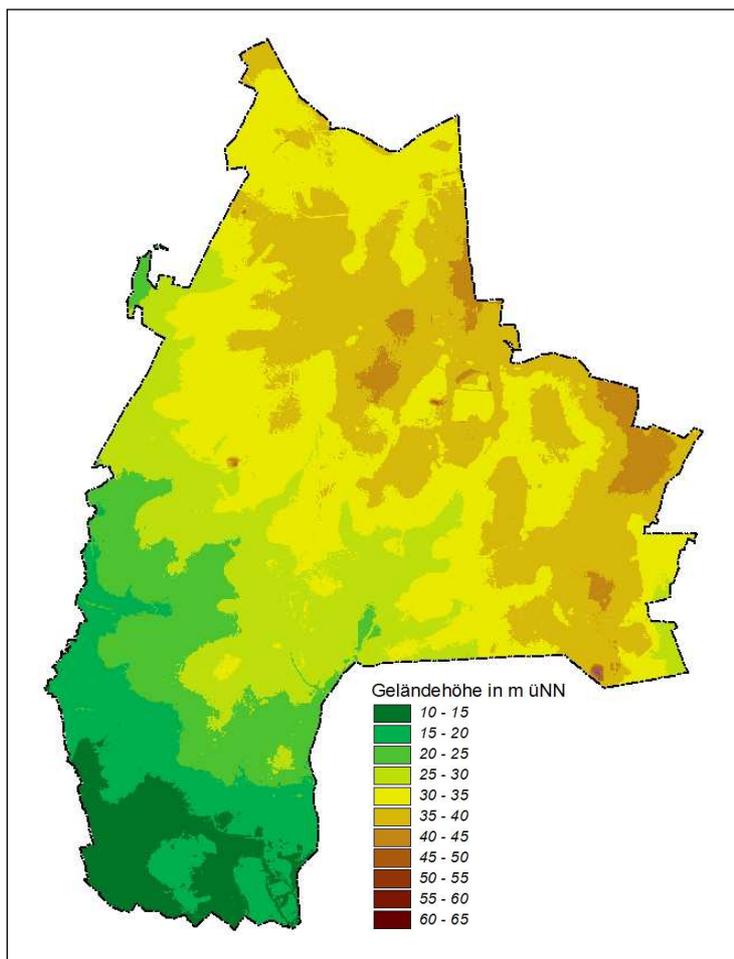


Abb. 1: Geländehöhe im Untersuchungsraum

Die höchste Erhebung ist mit ca. 60 m ü. NN der Müllberg im östlichen Stadtgebiet. Die niedrigsten Geländehöhen sind mit weniger als 15 m im Niederungsbereich der Rugenwedelsau anzutreffen. Somit ergibt sich eine maximale Höhendifferenz von etwa 45 m innerhalb des Untersuchungsraumes, wobei das Gelände insgesamt von Norden nach Süden hin abfällt.

2.2 Nutzungsstruktur

Für die Aufbereitung der Nutzungsstrukturen wurde die Biotoptypenkartierung der Stadt Norderstedt herangezogen und durch Daten aus dem ATKIS ergänzt (STADT NORDERSTEDT 2012). Für die Areale außerhalb des Stadtgebietes, für die keine detaillierten Nutzungsdaten vorlagen, sind Corine-Landnutzungsinformationen zum Aufbau der Geodatenbasis herangezogen worden (EUROPEAN COMMISSION 1994). Die Nutzungsstruktur im Stadtgebiet zeigt Abbildung 2 als Datenpunkte der Modellrechnung mit einer Auflösung von 25 m x 25 m:

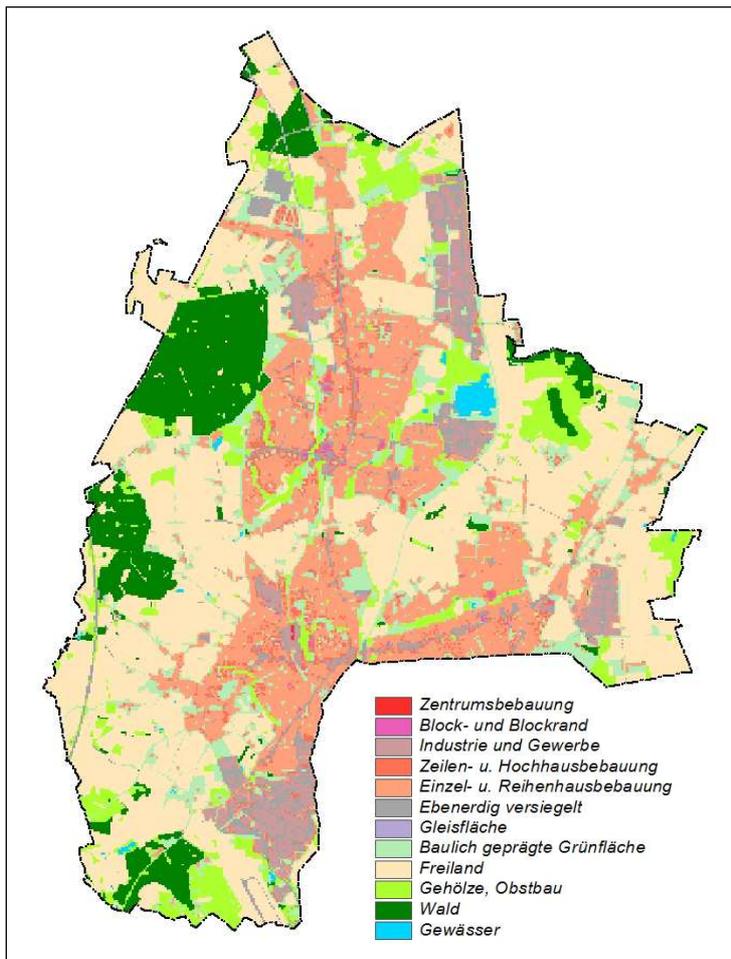


Abb. 2: Nutzungsstruktur im Stadtgebiet Norderstedt

Ein wichtiger Modelleingangsparameter stellt darüber hinaus die Höhe der Baustrukturen dar, welche einen wesentlichen Einfluss auf das lokale Windfeld ausüben. Da auf Maßstabsebene der gesamtstädtischen Klimamodellierung keine Einzelgebäude aufgelöst wurden, sind für die Einordnung der Strukturhöhe und des Oberflächenversiegelungsgrades nutzungsklassifiziert vorliegende Literaturdaten (u.a. MOSIMANN et al. 1999) genutzt worden, die auf empirisch gewonnenen Untersuchungsergebnissen aus mehreren deutschen Städten beruhen. Um den speziellen Anforderungen der Modellanalyse gerecht werden zu können, wurde bei der Aufbereitung der Nutzungsstrukturen ein vereinfachter, 12-klassiger Nutzungsschlüssel verwendet. Der Schlüssel wurde vor allem auch dahingehend definiert, eine problemlose Zuweisung des mittleren Versiegelungsgrades auf Basis der in den Eingangs- und Literaturdaten vorkommenden Nutzungsklassifizierungen möglich zu machen. In einem weiteren Schritt sind unter Verwendung von Luftbildern (Stand 2011) die Datenpunkte der Modellrechnung überprüft und gegebenenfalls ergänzt worden. Damit war es beispielsweise möglich, über die in der Biotoptypenkarte enthaltenen Informationen hinaus

zusätzliche Grünanteile innerhalb von Siedlungsbereichen zu erfassen und deren klimatische Wirkung zu berücksichtigen. Des Weiteren wurden die Nutzungsdaten in Teilbereichen um neuere Bebauung ergänzt. Für das Szenario „Zukunft“ wurden die relevanten Areale dem Flächennutzungsplan 2020 entnommen. Die verwendeten Nutzungskategorien zeigt Tab. 1.

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

Tab. 1: Nutzungskategorien der Klimamodellierung

Für die Klimamodellierung ist weniger die Nutzungsart relevant als vielmehr die Nutzungsstruktur und damit der Flächentyp. Maßgeblichen Einfluss auf die meteorologischen Parameter üben die Flächeneigenschaften wie z.B. Versiegelungsgrad, Bebauungsdichte und Strukturhöhe aus. Daher gilt es eine Einstufung zu finden, welche am ehesten die strukturelle Eigenschaft einer Fläche widerspiegelt. Aus der Verknüpfung der unterschiedlichen Quellen ist somit eine aktuelle Informationsebene zur Realnutzung, Strukturhöhe und Oberflächenversiegelung aufgebaut worden. Für die Modellrechnung zum Kaltlufthaushalt, auf dessen Grundlage die Klimafunktions- und Planungshinweiskarte beruht, ist eine einheitliche Rasterauflösung von 25 m x 25 m verwendet worden.

3. Methodik

3.1 Beschreibung des verwendeten Klima- u. Strömungsmodells FITNAH

Allgemeines

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

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

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

Beginnend mit einem Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG 1988) wurden gerade in Deutschland eine Reihe mesoskaliger Modelle konzipiert und realisiert. Der heutige Entwicklungsstand dieser Modelle ist sehr hoch 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.

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

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

Grundgleichungen

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

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

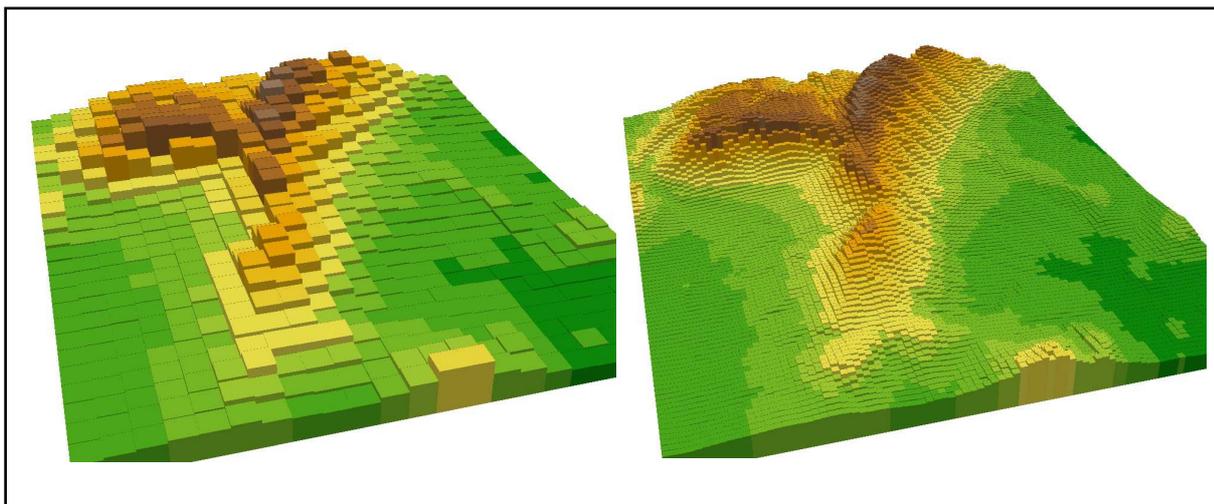


Abb. 3: Unterschiedliche Rasterweiten (links: 500 m x 500 m; rechts: 100 m x 100 m) bei einem digitalem Geländehöhenmodell

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

Parametrisierungen

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

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

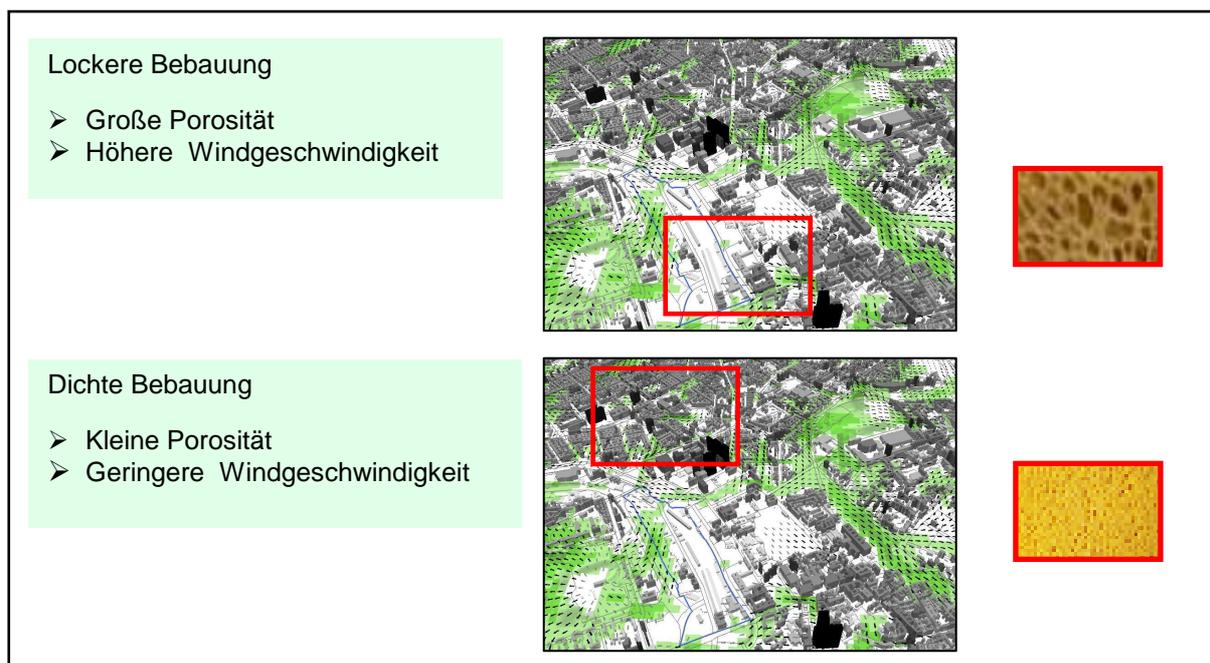


Abb. 4: Einfluss der Bebauungsdichte auf die Strömungsgeschwindigkeit

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

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

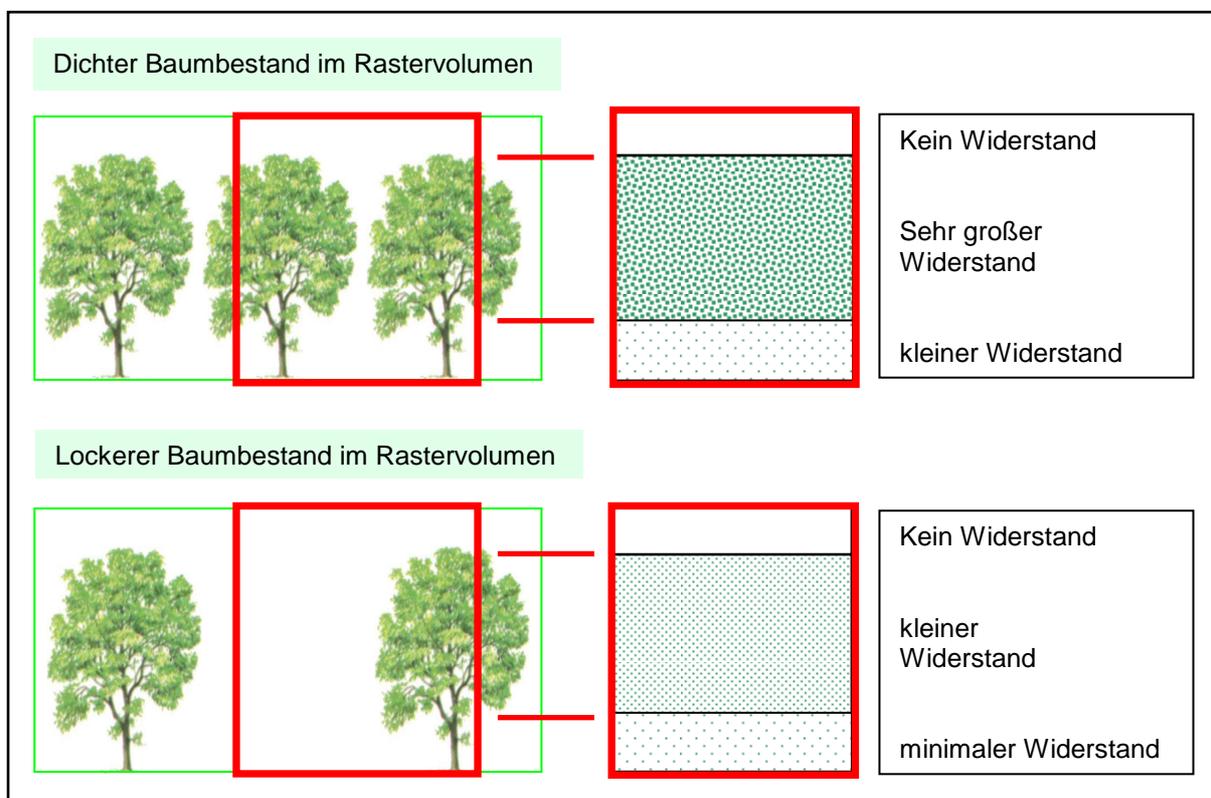


Abb. 5: Einfluss der Vegetation auf die Durchströmbarkeit einer Rasterzelle

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

Eingangsdaten

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

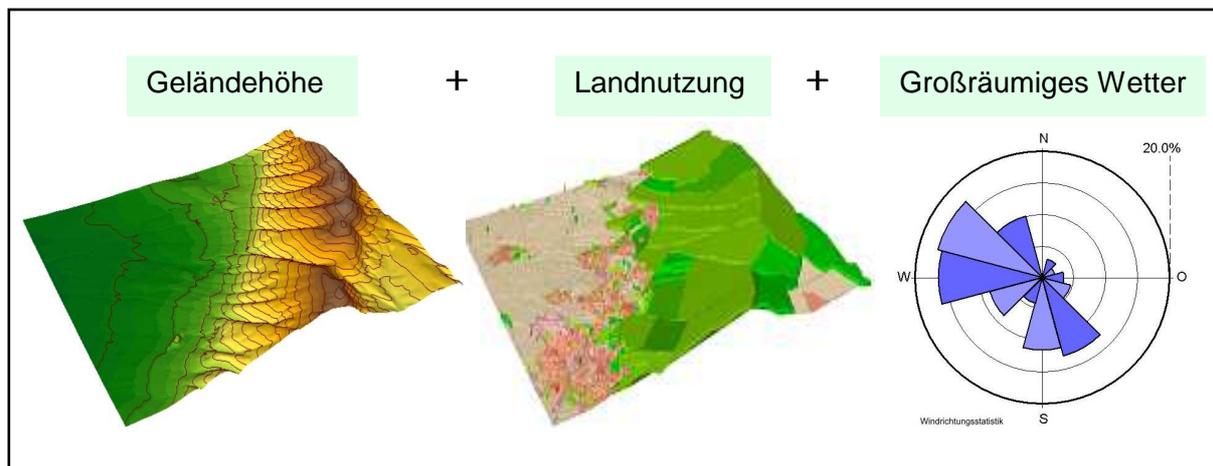


Abb. 6: Eingangsdaten für die Modellrechnung

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

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

Synoptische Rahmenbedingungen

Während sogenannter autochthoner („eigenbürtiger“) Wetterlagen können sich die lokalklimatischen Besonderheiten in einer Stadt besonders gut ausprägen, da es nur eine geringe „übergeordnete“ Windströmung gibt. Eine solche Wetterlage wird durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwachen überlagernden synoptischen Wind gekennzeichnet. Diese Wetterlagen treten in Großraum Hamburg an ca. 11 % der Nachtstunden in den Sommermonaten Juni, Juli und August auf (vgl. Abb. 9, S. 15). Bei den hier durchgeführten numerischen Simulationen wurden die großräumigen Rahmenbedingungen entsprechend festgelegt:

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

Die vergleichsweise geringen Windgeschwindigkeiten bei einer austauscharmen Wetterlage bedingen einen herabgesetzten Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht und tragen zur Anreicherung von Luftschadstoffen bei. Bei gleichzeitiger Wärmebelastung in den Siedlungsflächen können sich lokal bioklimatische und lufthygienische Belastungsräume ausbilden. Charakteristisch für diese (Hochdruck-) Wetterlage ist die Entstehung eigenbürtiger Kaltluftströmungen (Flurwinde), die durch den Temperaturgradienten zwischen kühlen Freiflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetrieben werden

und zu einem Abbau der Belastungen beitragen. Diese Wettersituation stellt damit ein „Worst-Case“-Szenario dar.

In Abb. 7 sind schematisch die für eine austauscharme sommerliche Wetterlage simulierten tageszeitlichen Veränderungen der Temperatur und Vertikalprofile der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für die Landnutzungen Freiland, Stadt und Wald dargestellt.

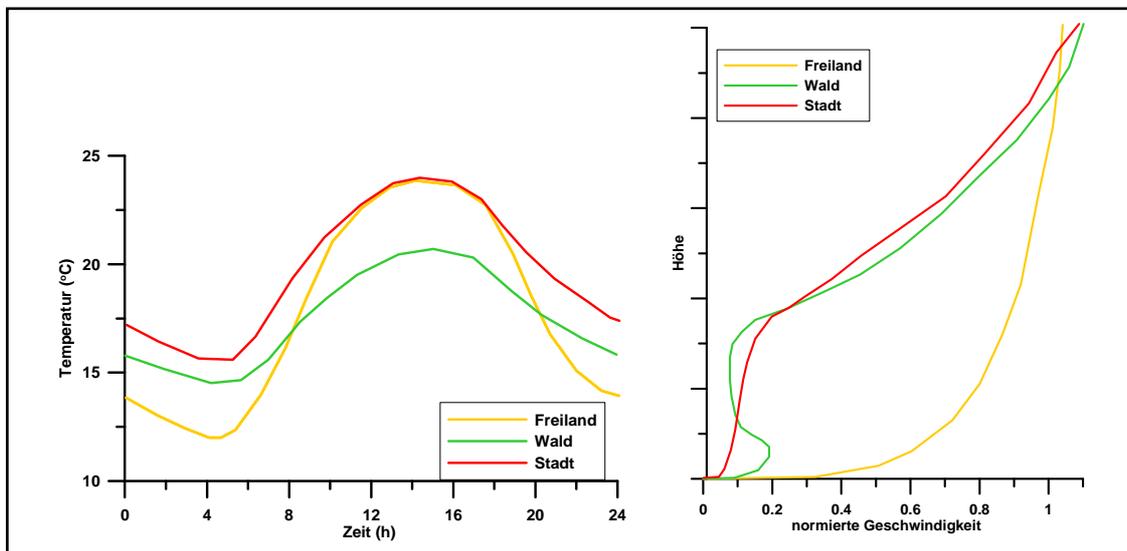


Abb. 7: Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für verschiedene Landnutzungen

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

3.2 Standardisierung der Parameter

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

Wünschenswert wäre zudem, die Beurteilungskriterien sowohl mit der Ausprägung zusätzlich modellierter Variablen als auch mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen vergleichen zu können. Um eine solche Vergleichbarkeit herzustellen, werden die Parameter über eine **z-Transformation** standardisiert¹. Bei einer z-Transformation wird das arithmetische Gebietsmittel des Parameters zunächst gleich Null gesetzt,

¹ Rechnerisch wird dabei von jedem Ausgangswert der Variablen das arithmetische Gebietsmittel abgezogen und durch die Standardabweichung aller Werte geteilt

anschließend werden die Originalmaßeinheiten der um dieses Gebietsmittel streuenden Werte in Vielfache der Standardabweichung umgerechnet. Hieraus ergeben sich vier Bewertungskategorien, deren Abgrenzung durch den Mittelwert Null sowie die einfache positive und negative Standardabweichung von diesem Mittelwert festgelegt ist (s. Abb. 8).

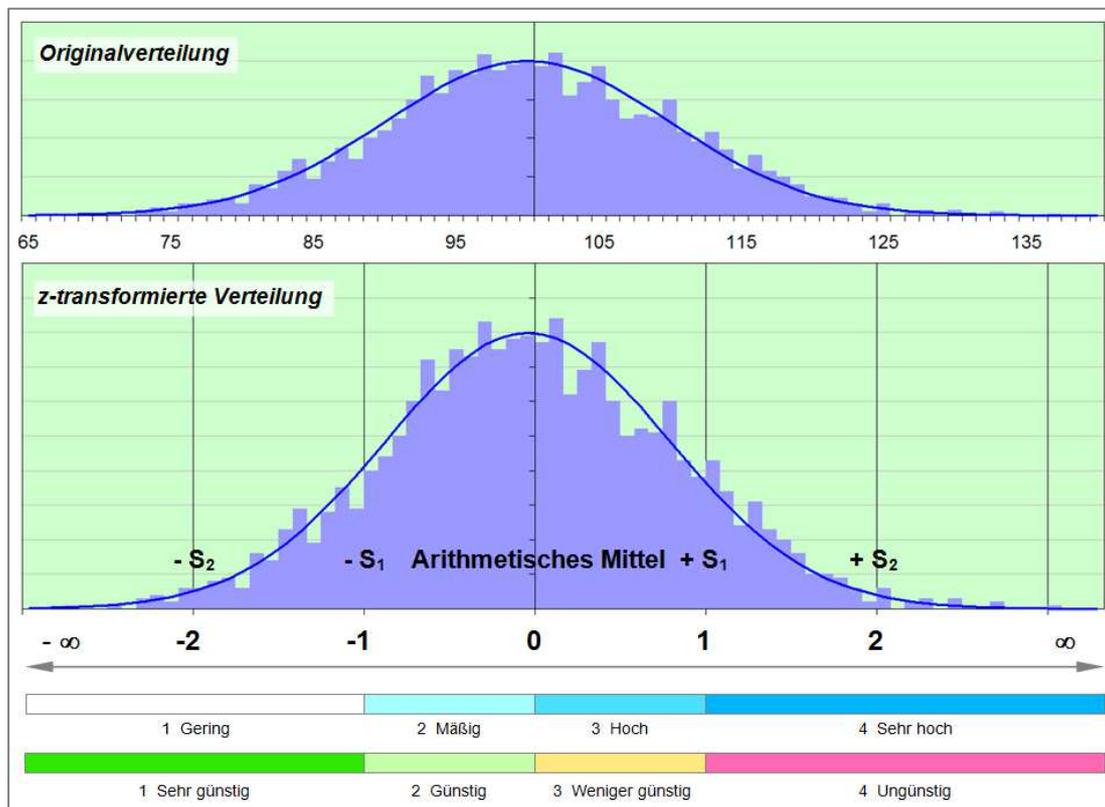


Abb. 8: Veranschaulichung der Standardisierung zur vergleichenden Bewertung von Parametern

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

3.3 Abgrenzung der klimaökologischen wirksamen Nutzungsstrukturen

Um Aussagen über die Funktionszusammenhänge treffen zu können, müssen unterschiedliche Flächeneinheiten von Grünarealen einerseits und bebauten Bereichen andererseits in ihren klimatischen Merkmalen auch untereinander abgrenzbar sein. Das bedeutet, dass die Kaltluftlieferung von Grünflächen sehr unterschiedlich ausgeprägt ist und bei den Siedlungsflächen die bioklimatische Situation je nach Bebauungsstruktur und Lage im Raum stark variieren kann. Um diese Heterogenität in der Klimafunktions- bzw. Planungshinweiskarte darstellen zu können, wurde den Blockflächen der verwendeten digitalen Nutzungsinformationen (vgl. Kap. 2.2, S. 4), die relevanten Klimaparameter wie z.B. Windgeschwindigkeit oder Kaltluftvolumenstrom zugeordnet. Diese Parameter liegen als rasterbasierte Felder in einem Geographischen Informationssystem als 25 m Raster vor. Umfasst ein Baublock mehrere Rasterzellen eines Parameters, wird aus den Zelleneinzelwerten ein Mittelwert gebildet. Somit steht für jede Blockfläche (bebaute als auch unbebaute Freiflächen) eine Reihe von Klimaparametern bereit. Darauf basierend werden den Teilflächen Bewertungsindizes zugewiesen, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

3.3.1 Grün- und Freiflächen

Während in der Klimafunktionskarte die Grünflächen vor allem hinsichtlich ihres Kaltluftliefervermögens charakterisiert werden, steht in der Planungshinweiskarte deren stadtklimatische Bedeutung sowie die Ableitung der Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen im Mittelpunkt. Daraus ergibt sich eine unterschiedliche Vorgehensweise bei der Bewertung der Grünareale, auf die in Kap. 6.1 (S. 33) genauer eingegangen wird. Die Darstellung und Bewertung der Siedlungsflächen bleibt hingegen in Klimafunktions- und Planungshinweiskarte gleich.

Als Kaltluft produzierende Bereiche gelten *vegetationsgeprägte Freiflächen* wie z.B. Ackerflächen, Parkareale Kleingärten und Friedhofsanlagen. Für die Charakterisierung der Ausgleichsleistung wird in der Klimafunktionskarte der Kaltluftvolumenstrom herangezogen. Er drückt den Zustrom von Kaltluft aus den benachbarten Rasterzellen aus (vgl. Kap. 4.3, S. 23).

Die Einstufung des innerhalb von Grünflächen auftretenden Kaltluftvolumenstrom orientiert sich an dem in der VDI-Richtlinie 3785 Blatt 1 (VDI 2008) beschriebenen Verfahren zur Z-Transformation (Kap. 3.2, S. 11). Dieses Vorgehen legt allgemein das lokale/regionale Wertenniveau einer Klimaanalyse zugrunde und bewertet die Abweichung eines Klimaparameters von den mittleren Verhältnissen in einem Untersuchungsraum. Während diese Methode vor allem für die Ermittlung der bioklimatischen Situation geeignet ist, wird sie in dieser Untersuchung darüber hinaus auch für die Bewertung des Klimaparameters Kaltluftvolumenstrom herangezogen.

Als Resultat ergeben sich mit diesem Verfahren vier Bewertungskategorien (s. Tab. 2), welche durch den Mittelwert sowie die obere und untere S_1 -Schranke (Standardabweichung) nach der Z-Transformation abgegrenzt werden. Positive Abweichungen >0 bedeuten überdurchschnittliche Werte, woraus sich die Bewertung in mittel und hoch ergibt. Negative Ausprägungen von <0 bedeuten hingegen ein unterdurchschnittliches Niveau (entsprechend gering und sehr gering). Der Vorteil dieser Vorgehensweise liegt in der Standardisierung eines Klimaparameters und die daraus resultierende Vergleichbarkeit der Variablen untereinander oder mit anderen Untersuchungen.

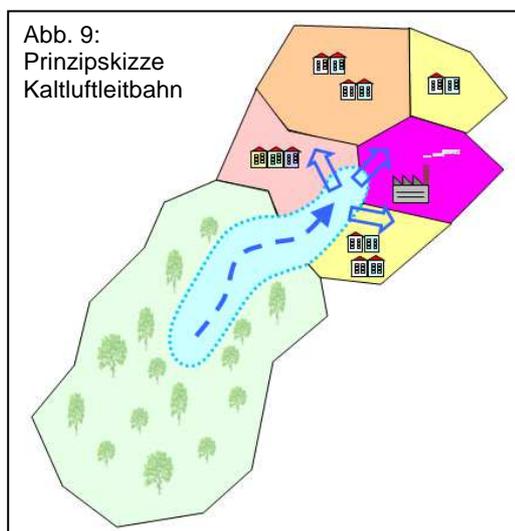
Die qualitative Einordnung des Kaltluftvolumenstroms zeigt Tabelle 2, wobei für einen klimaökologisch wirksamen Massenstrom der Wertebereich >-1 angesehen wird (vgl. Tabelle 2). Die Bewertung des Kaltluftvolumenstroms orientiert sich somit an den Kategorien der Z-Transformation, wobei für jede Grünfläche ein mittlerer Z-Wert zugewiesen wurde. Da in der Klimafunktionskarte die Kaltluftlieferung von Grünarealen beurteilt wird, bezieht sich die statistische Analyse auf die Werteausprägung *innerhalb der Grünflächen*. Daher weicht die Klassifizierung von der des flächendeckenden rasterbasierten Volumenstroms ab (vgl. Kap. 4.3).

Mittlerer Z-Wert pro Grünfläche	Kaltluftvolumenstrom in m^3/s	Bewertung
> 1 (obere S_1 -Schranke)	> 750	Sehr hoch
1 bis 0	750 bis ≥ 520	Hoch
0 bis -1	520 bis ≥ 300	Mäßig
< -1 (untere S_1 -Schranke)	< 300	Gering

Tab. 2: Bewertung der Kaltluftlieferung innerhalb von Grünflächen

Die Darstellung der Kaltluftliefergebiete erfolgt als abgestufte Flächenfarbe. Zudem erhalten Grünflächen > 0,1 Hektar mit einem mindestens mäßigen Kaltluftvolumenstrom eine Pfeilsignatur mit der Hauptströmungs-richtung innerhalb einer Fläche.

Kaltluftleitbahnen



Leitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete (Ausgleichsräume) und Belastungsbereiche (Wirkungsräume) miteinander und sind somit elementarer Bestandteil des Luftaustausches (Abb. 9). 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 Reliefsituation im Untersuchungsraum treten Kaltluftabflüsse nur kleinräumig auf und werden nicht gesondert ausgewiesen.

3.3.2 Bioklima in den Siedlungsflächen

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

Grundlage für die Beurteilung der *bioklimatischen Belastung* eines Baublockes ist der Bewertungsindex PMV (Predicted Mean Vote; vgl. FANGER 1972) als dimensionsloses Maß für die Wärmebelastung. Dieser basiert auf der Wärmebilanzgleichung des menschlichen Körpers und gibt den Grad der Unbehaglichkeit bzw. Behaglichkeit als mittlere subjektive Beurteilung einer größeren Anzahl von Menschen wieder. Bei der Berechnung des PMV-Wertes müssen als wichtigste meteorologische Eingangsgrößen die Lufttemperatur, die Windgeschwindigkeit, der Dampfdruck und die Strahlungstemperatur am Aufenthaltsort bekannt sein. Diese meteorologischen Parameter unterscheiden sich innerhalb städtischer Strukturen in weiten Grenzen. In Abhängigkeit von den stadtspezifischen Faktoren (z.B. Bebauungshöhe, Versiegelung, Durchgrünungsgrad) und der Charakterisierung der Wettersituation (z.B. Wind, Luftmasseneigenschaften), können mit Hilfe des

mesoskaligen Modells FITNAH diese Verteilungen innerhalb von Norderstedt detailliert berechnet werden. Der nächtlichen Wärmebelastung, wie sie in der Klimafunktions- bzw. Planungshinweiskarte dargestellt ist, liegt die Werteausprägung in der zweiten Nachthälfte um 4 Uhr zugrunde (s. Karte 5). Es handelt sich um den PMV-Wert für eine typische *Sommernacht* mit geringem Luftaustausch und ungehinderter langwelliger Ausstrahlung bei einem wolkenlosen Himmel. Dabei wirken lokal auftretende Kaltluftströmungen modifizierend auf die räumliche Ausprägung des PMV. Es handelt sich somit um eine Einzelsituation.

Beurteilung der bioklimatischen Situation

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

Bei der Zuordnung eines Baublocks ist die jeweilige durchschnittliche Ausprägung des Z-Wertes des PMV innerhalb der Fläche relevant (als Rasterzellenmittelwert), aus welchem sich die Zuordnung zu den Bewertungskategorien ergibt (vgl. Tabelle 4). Als Resultat ergeben sich mit diesem Verfahren vier qualitative Einstufungen, welche durch den Mittelwert sowie die obere und untere S₁-Schranke (Standardabweichung) nach der Z-Transformation abgegrenzt werden. Positive Abweichungen > 0 bedeuten überdurchschnittliche Werteausprägungen und resultieren in den Kategorien „Weniger günstig“ und „Ungünstig“. Negative Ausprägungen von < 0 repräsentieren ein unterdurchschnittliches Belastungsniveau und werden entsprechend als „Günstig“ und „Sehr günstig“ kategorisiert. Der Vorteil dieser Vorgehensweise liegt in der Standardisierung eines Klimaparameters und der sich daraus ergebenden Vergleichbarkeit mit anderen Untersuchungen.

Bei der Belastungsklasse 4 "Ungünstig" liegt eine überdurchschnittliche Wärmebelastung mit einem Z-Wert von mehr als 1 vor. Eine gewisse bioklimatische Belastung ist auch noch bei der Belastungsklasse 3 „Weniger günstig“ gegeben. Günstige Verhältnisse liegen hingegen bei den Klassen 2 und 1 vor und können aus bioklimatischer Sicht als positiv beurteilt werden. In Tab. 3 sind den jeweiligen Klassen außerdem charakteristische Bebauungstypen zugeordnet.

Belastungsstufe	Mittlerer Z-Wert pro Baublock	Darstellung in Klimafunktions-/Planungshinweiskarte
1 Sehr günstig	> -1 (untere S ₁ -Schranke)	 <i>dörflich geprägte Siedlungstypen</i>
2 Günstig	-1 bis 0	 <i>Einzel- und Reihenhausbebauung</i>
3 Weniger günstig	0 bis 1	 <i>Zeilen- und Blockrandbebauung</i>
4 Ungünstig	< 1 (obere S ₁ -Schranke)	 <i>verdichteter Siedlungsraum</i>

Tab. 3: Klassifizierung der bioklimatischen Belastung der Siedlungsflächen während einer windschwachen Sommernacht

Es kann festgehalten werden, dass die Belastungssituation zwar im Wesentlichen mit Bebauungsdichte und Versiegelungsgrad einher geht, kleinräumig aber noch durch den Einfluss von Grünflächen und lokalem Einwirken von Kaltluft deutlich variieren kann.

4. Ergebnisse der Klimamodellierung

Im Folgenden werden die Modellergebnisse zu den Parametern Lufttemperatur in 2 m Höhe, Kaltluftströmungsfeld sowie Kaltluftvolumenstrom erläutert. Als meteorologische Rahmenbedingung wurde eine austauscharme Wetterlage zugrunde gelegt, da sich die stadtklimatischen Effekte vor allem während windschwacher Strahlungswetterlagen im Sommer entwickeln. Auslöser dieser Prozesse sind die Temperaturunterschiede zwischen vergleichsweise warmen Siedlungsräumen und kühleren vegetationsgeprägten Freiflächen. Die Ergebniskarten zu den beschriebenen meteorologischen Parametern sowie Klimafunktions- und Planungshinweiskarte sind dem Kartenanhang (S. 52) zu entnehmen.

Um die absolute Dauer der autochthonen Wetterlagen während der Sommermonate Juni, Juli und August in Prozent der Stunden zu quantifizieren, kann auf die Messwerte des an die Stadt Norderstedt angrenzenden DWD-Standortes Hamburg-Fuhlsbüttel zurückgegriffen werden. Dabei wurde eine solche Wettersituation beispielhaft mit einer Windgeschwindigkeit < 2 Bf (entspricht ca. 3,3 m/s) sowie einem Wolkenbedeckungsgrad von < 4/8 als Abgrenzungskriterien betrachtet.

Abbildung 10 zeigt einerseits die an der Station des Deutschen Wetterdienstes (DWD 2011) von 1962 bis 2009 gemessenen Werte (grüne Farbe), andererseits sind die unter dem Einfluss des zu erwartenden Klimawandels simulierten Ergebnisse bis 2100 dargestellt (Orange; Modell CLM mit dem Klimawandelszenario A1B). Bei den gemessenen Werten lässt sich eine große Spannweite beobachten, die zwischen 2 % der Stunden im Jahr 1975 und 30 % im Jahr 1984 liegt. Das arithmetische Mittel für den Zeitraum 1962 bis 2009 beträgt 11 %.

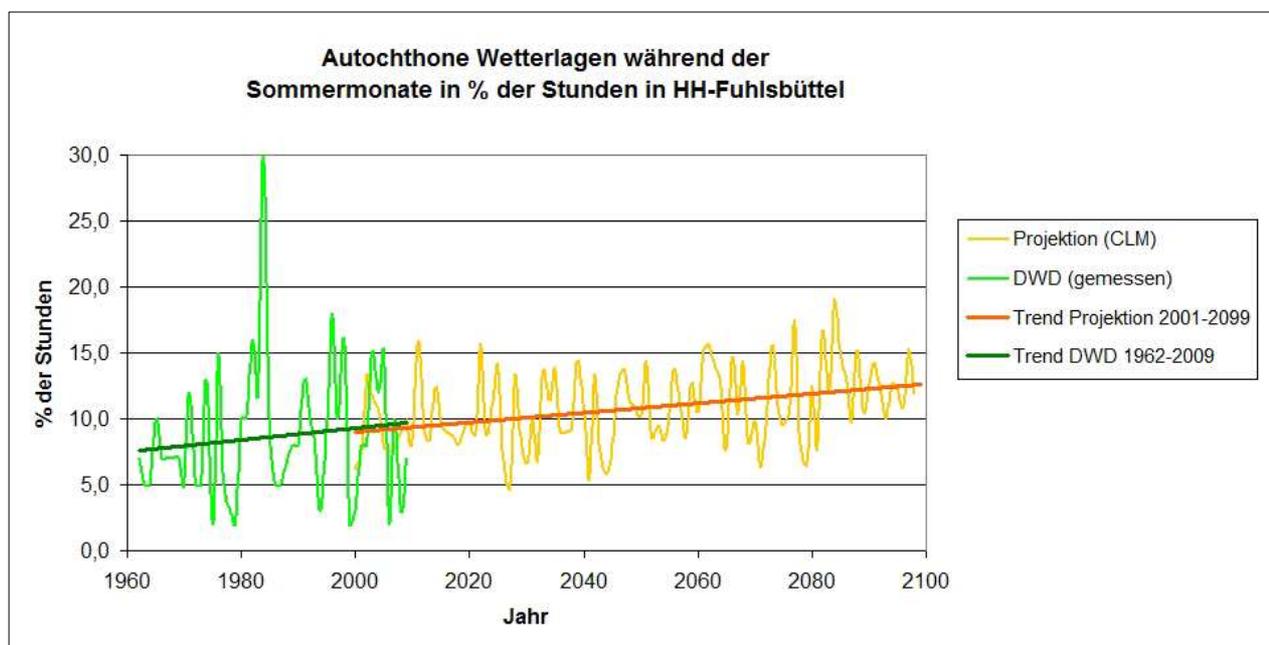


Abb. 10: Absolute Dauer autochthoner Wetterlagen in HH-Fuhlsbüttel in den Monaten Juni, Juli und August

Anhand der gemessenen Daten lässt sich ableiten, dass die absolute Dauer autochthoner Wetterlagen in den vergangenen 50 Jahren stetig zugenommen hat. Dieser Trend setzt sich auch in den Ergebnissen des Klimawandelszenarios weiter fort. Es ist zu erwarten, dass damit die Wahrscheinlichkeit eines Andauerns von Wetterlagen mit bioklimatischen und ggf. auch lufthygienischen Belastungen bis zum Ende des Jahrhunderts weiter ansteigen wird. Im Folgenden werden die Ergebnisse zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens für den Istzustand erläutert. Auf die Auswirkungen der weiteren baulichen Entwicklung des Szenarios „Zukunft“ wird in Kap. 7 eingegangen.

4.1 Bodennahes Lufttemperaturfeld

Allgemeines: Der Tagesgang der Lufttemperatur ist direkt an die Strahlungsbilanz eines Standortes gekoppelt und zeigt daher in der Regel einen ausgeprägten Abfall während der Abend- und Nachtstunden. Dieser erreicht kurz vor Sonnenaufgang des nächsten Tages ein Maximum. Das Ausmaß der Abkühlung kann dabei – je nach den meteorologischen Verhältnissen, der Lage des Standorts und den landnutzungsabhängigen physikalischen Boden- und Oberflächeneigenschaften – große Unterschiede aufweisen, so dass sich bereits auf kleinem Raum ein differenziertes Temperaturfeld mit mehr als 9°C Temperaturabweichung einstellen kann.

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

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

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

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

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

Die hohe spezifische Wärmekapazität des Wassers, seine besondere Art der Strahlungsabsorption und die im Wasserkörper stattfindenden turbulenten Durchmischungsvorgänge sorgen für eine (von hohen Absolutwerten ausgehend) deutlich verringerte tagesperiodische Temperaturamplitude über den größeren Gewässern. Da hier die Lufttemperaturen im Sommer tagsüber niedriger und nachts höher als in der

Umgebung sind, wirken größere Gewässer auf bebaute Flächen tagsüber klimatisch ausgleichend, während sie nachts die Abkühlung verringern.

Die Ermittlung des bodennahen Temperaturfeldes ermöglicht es, Bereiche mit potenziellen bioklimatischen Belastungen abzugrenzen, Aussagen zum Auftreten thermisch und/oder orographisch induzierter Ausgleichsströmungen zu treffen und die räumliche Ausprägung und Wirksamkeit von Kalt- bzw. Frischluftströmungen abzuschätzen. Im Folgenden wird das gesamtstädtische Temperaturfeld für den Zeitpunkt 4 Uhr morgens erläutert (Abb. 11 bzw. Karte 1 im Anhang). Für den Ausschnitt Norderstedt-Mitte/Harksheide wird das Ergebnis in Abb. 12 (S. 19) dargestellt.

Ergebnisse Temperaturfeld: Das sich um 4 Uhr in der Nacht einstellende Temperaturfeld im Untersuchungsraum umfasst zwischen Minimalwerten von 14,5°C und Maximalwerten von bis zu 20,5°C eine Spannweite von etwa 6°C. Die mittlere Temperatur des Untersuchungsgebietes liegt bei den angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen bei 16,7°C.

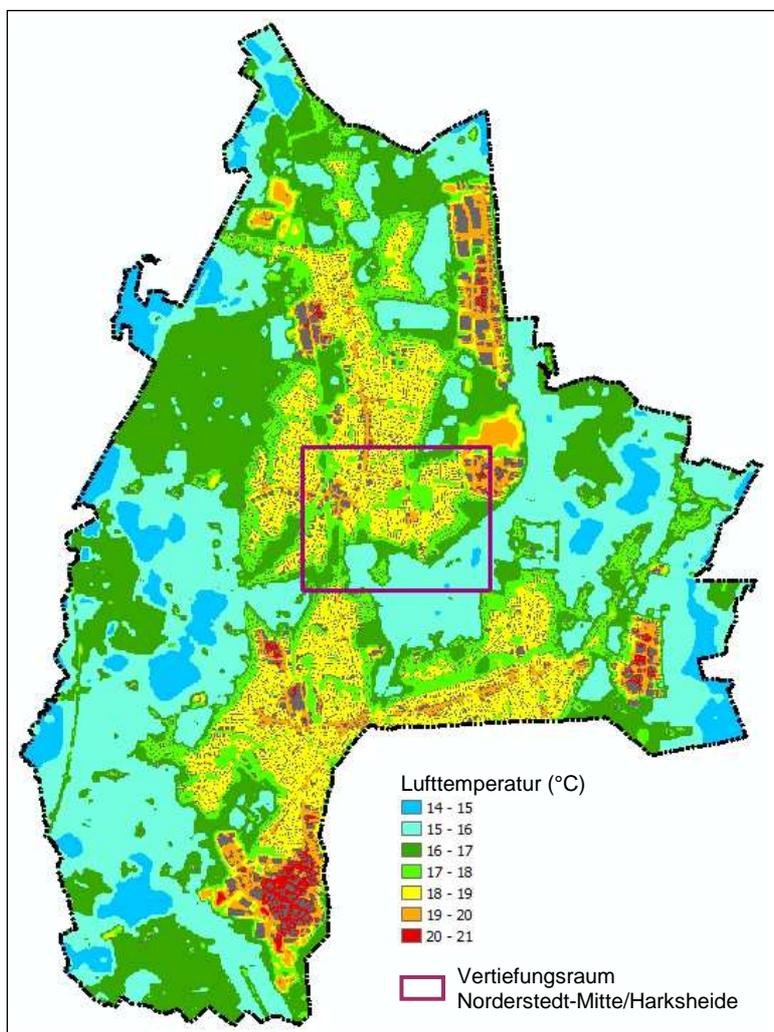


Abb. 11: Temperaturfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2m ü. Grund)

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 Gewerbeflächen die höchsten Temperaturen von mehr als 20°C auf, was mit dem hohen Bauvolumen und der hohen Oberflächenversiegelung von bis zu 95% einher (Abb. 11). Diese nehmen vor allem im Süden und Osten des Stadtgebietes größere Areale ein. Im Bereich der Stadtteilzentren liegen meist geringere Temperaturen zwischen 19°C und 20°C vor.

Große Teile des Siedlungsraumes sind durch Zeilen- sowie Reihen- und Einzelhausbebauung geprägt, in der mit 18°C bis 19°C deutlich niedrigere Lufttemperaturen vorliegen. Von den Wohnbauflächen weist die Einzelhausbebauung vor allem an den Siedlungsrändern das geringste Temperaturniveau auf, wobei dort 18°C selten überschritten werden.

Darüber hinaus zeigen die Verkehrsflächen, abhängig vom Versiegelungsgrad, Temperaturen zwischen 16°C und 19°C. Im Temperaturfeld treten die unbebauten, vegetationsgeprägten Freiflächen mit deutlich geringeren Werten

hervor, wobei auf ihre Rolle als Kaltluft produzierende Areale auch in den folgenden Kapiteln näher eingegangen wird.

Die niedrigsten Temperaturen im Untersuchungsgebiet sind mit weniger als 15°C vor allem über den Freiflächen westlich von Garstedt, östlich des Glasmoores, im Bereich Wittmoor sowie im nördlichen Stadtgebiet anzutreffen, was in der starken langwelligen Ausstrahlung nach Sonnenuntergang begründet liegt (Abb. 10). Ähnlich geringe Werte können zudem kleinräumig in Senkenbereichen auftreten, wo sich die Kaltluft aufgrund ihrer höheren Dichte sammelt. Waldareale besitzen dagegen ein vergleichsweise hohes Temperaturniveau von 16°C bis 17°C. Hier dämpft das Kronendach die nächtliche Ausstrahlung und damit auch ein stärkeres Absinken der bodennahen Lufttemperatur. Verglichen mit den weitläufigen Freiflächen des Umlandes weisen die innerstädtischen Grünflächen, abhängig von ihrer Größe und Form, ein höheres Wertespektrum auf, welches meist zwischen 16°C und 18°C beträgt. In den übrigen, kleineren Grünflächen sinkt die Temperatur nur noch selten auf weniger als 17°C ab. Hier wird deutlich, dass diese Flächen in eine insgesamt wärmere Umgebung eingebettet sind und daher die vergleichsweise geringen Temperaturen des Umlandes nicht mehr erreicht werden.

Lufttemperatur - Beispiel Norderstedt-Mitte/Harksheide

Einen Ausschnitt mit dem Bereich Norderstedt-Mitte/Harksheide im Westen und dem Gewerbegebiet am Langenharmer Weg im Osten zeigt Abb. 12. Die stärkste Abkühlung ist mit weniger als 15°C über den landwirtschaftlichen Nutzflächen östlich der Schleswig-Holstein-Straße zu beobachten (Blau/Türkis). In der direkt angrenzenden lockeren Wohnbebauung ist ein Temperaturniveau von 17°C bis 18°C anzutreffen (Hellgrün). Mit steigendem Überbauungsgrad nehmen die Temperaturen zu und betragen entlang der Rathausallee bis zu 20°C, während sie in der Gewerbefläche auch darüber hinaus gehen können (Rot).



Abb. 12: Lufttemperatur in 2 m Höhe im Vertiefungsraum Norderstedt-Mitte/Harksheide

Gleichzeitig treten die innerhalb der Bebauung lokalisierten Grünflächen mit niedrigeren Temperaturen hervor und vermindern die Ausbildung einer zusammenhängenden nächtlichen „Wärmeinsel“. In dieser Hinsicht

leisten vor allem innerstädtische Grünzüge wie Rathauspark/nördliche Moorbekniederung oder Moorbekpark einen wertvollen Beitrag. Im betrachteten Ausschnitt lässt sich zwischen den landwirtschaftlichen Nutzflächen (<15°C; blaue Farbe) und dem Gewerbeareal nördlich des Langenharmer Wegs (>20°C; rote Farbe) ein maximaler Temperaturgradient von bis zu 5,5°C auf einer Entfernung von etwa 700 m beobachten.

4.2 Autochthones Windfeld

Allgemeines:

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

Neben den orographisch bedingten Strömungen mit Kaltluftabflüssen bilden sich auch so genannte Flur-/Strukturwinde, d.h. eine direkte Ausgleichsströmung vom hohen zum tiefen Luftdruck aus. Sie entstehen, wenn sich stark überbaute oder versiegelte Gebiete stärker erwärmen als umliegende Freiflächen, und dadurch ein thermisches Tief über den urbanen Gebieten entsteht (vgl. Abb. 13). Der resultierende Druckgradient kann daraufhin durch einströmende kühlere Luftmassen aus dem Umland ausgeglichen werden (u.a. KIESE et al. 1992).

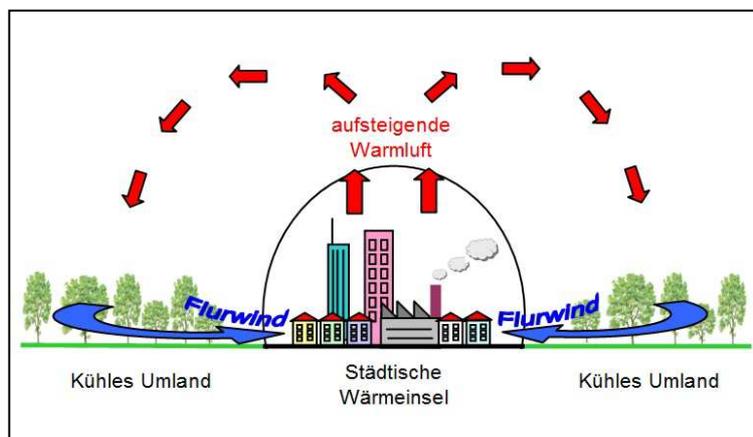


Abb. 13: Prinzipskizze Flurwind

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 $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (MOSIMANN et al. 1999).

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

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

Ergebnisse Strömungsfeld:

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

Die Ergebniskarte 2, welche im Anhang enthalten ist, stellt das sich zum nächtlichen Analysezeitpunkt ausgeprägte Kaltluftströmungsfeld in zwei Ebenen dar. Die Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit wird über die Pfeilrichtung und Pfeillänge in Form von Vektoren abgebildet, wobei die Pfeile der Karte für eine übersichtlichere Darstellung auf 50 m x 50 m Kantenlänge (entspricht 4

Rasterzellen) aggregiert worden sind. Die unterlegten Rasterzellen stellen zudem die Windgeschwindigkeit flächenhaft in Farbstufung dar. Die Werte beziehen sich auf eine Analysehöhe von 2 m über Grund. Abgebildet sind alle Zellen des ursprünglichen 25 m Rasters, für die aufgrund einer modellierten Mindestwindgeschwindigkeit von $\geq 0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ und unter Berücksichtigung der gebietstypischen Ausprägung eine potenzielle klimaökologische Wirksamkeit angenommen werden kann.

Die für das 2 m-Niveau wiedergegebenen Strömungsgeschwindigkeiten innerhalb des Untersuchungsraums reichen von vollkommener Windstille bis zu Maximalwerten von $0,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ im östlichen Stadtgebiet von Norderstedt (Dunkelblau). Abbildung 14 zeigt die räumliche Ausprägung der Strömungsgeschwindigkeit zum Zeitpunkt 4 Uhr als Raster im Stadtgebiet. Überdurchschnittlich hohe Werte von mehr als $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ sind vor allem über dem Stadtparksee und kleinräumig in der Tarpenbek-Niederung anzutreffen.

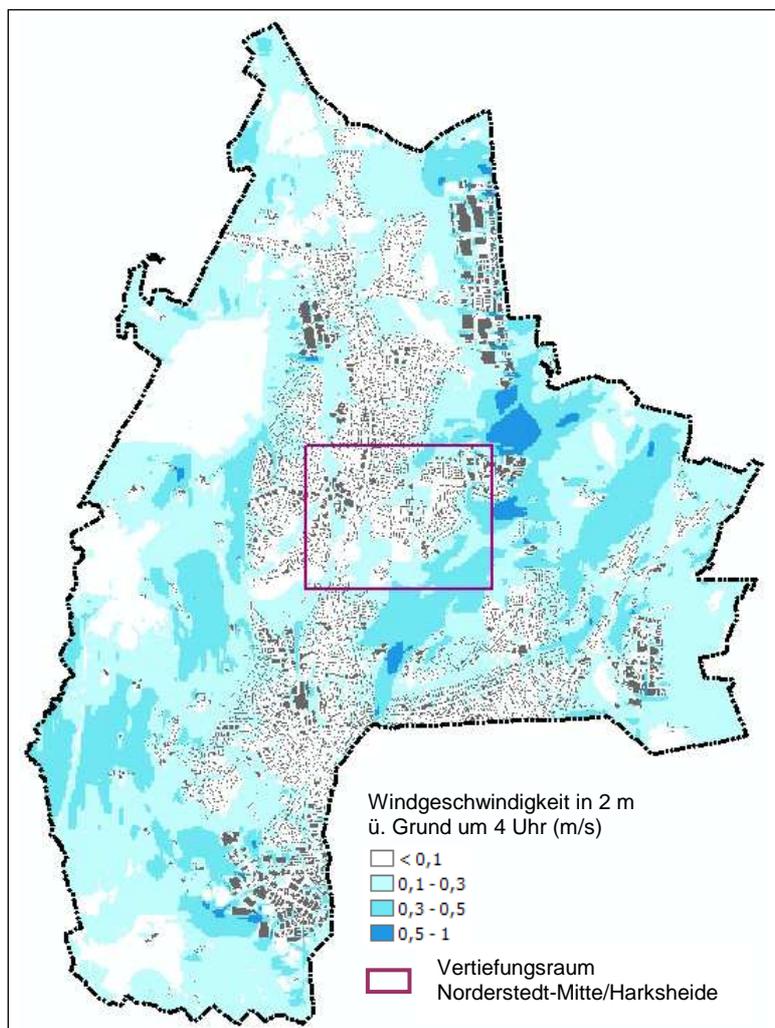


Abb. 14: Strömungsgeschwindigkeit zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens

Über den landwirtschaftlich genutzten Flächen im östlichen Stadtgebiet sind verbreitet Werte zwischen 0,3 m/s und 0,5 m/s zu beobachten. Während die über den Waldflächen gebildete Kaltluft bodennah aufgrund des Strömungswiderstands im Stammraum vergleichsweise geringe Geschwindigkeiten aufweist, kann diese über den weniger von Bäumen bestandenen Grünflächen wie dem Bereich östlich des Glasmoores wieder beschleunigt werden. Im Bereich von Kaltluftleitbahnen wie dem **Tarpenbekpark** oder dem Bereich **Stadtspark** können ähnlich hohe Strömungsgeschwindigkeiten erreicht werden. Hier wird das Eindringen von Kaltluft in den Siedlungskörper durch eine gering überbaute und grüne geprägte Oberflächenstruktur begünstigt.

Die Eindringtiefe der Kaltluft in die Siedlungsräume und damit auch das Maß der bioklimatischen Gunstwirkung während sommerlicher Hochdruckwetterlagen hängt ab von der Bebauungsstruktur und der Intensität der Kaltluftdynamik. Ganz allgemein wird eine vergleichsweise gering überbaute Einzel- und Reihenhausbauung besser durchströmt als eine Block- und Blockrandbebauung. Die Spanne der Eindringtiefe variiert deutlich und beträgt, abhängig von den baustrukturellen Bedingungen, zwischen 100 m und 700 m. Eine intensive Durchlüftung von durchgrünten Siedlungstypen bewirkt hier die sehr günstigen bioklimatischen Bedingungen (vgl. Kap. 5.2, S. 28). Große Teile der Gewerbeflächen sowie der Stadtteilzentren werden hingegen nicht nennenswert von Kaltluft durchströmt, da die zunehmende Bebauungsdichte und das im Vergleich zum Freiland höhere Temperaturniveau die Kaltluftströmung abschwächen.

Kaltluftströmungsfeld - Beispiel Norderstedt-Mitte/Harksheide

Den Vertiefungsbereich zeigt Abb. 15, wobei das Strömungsfeld der Kaltluft als Pfeilsignatur und die Windgeschwindigkeit als flächenhaftes Raster für den Zeitpunkt 4 Uhr dargestellt sind. Im Rahmen der Klimaanalyse treten der Bereiche Stadtspark und Glasmoor sowie die benachbarten vegetationsgeprägten Areale als Kaltluft produzierende Flächen hervor. Die gebildete Kaltluft strömt, z.T. den Tiefenlinien der Gewässer folgend, in Richtung Südwesten und dringt in die Bebauung ein.

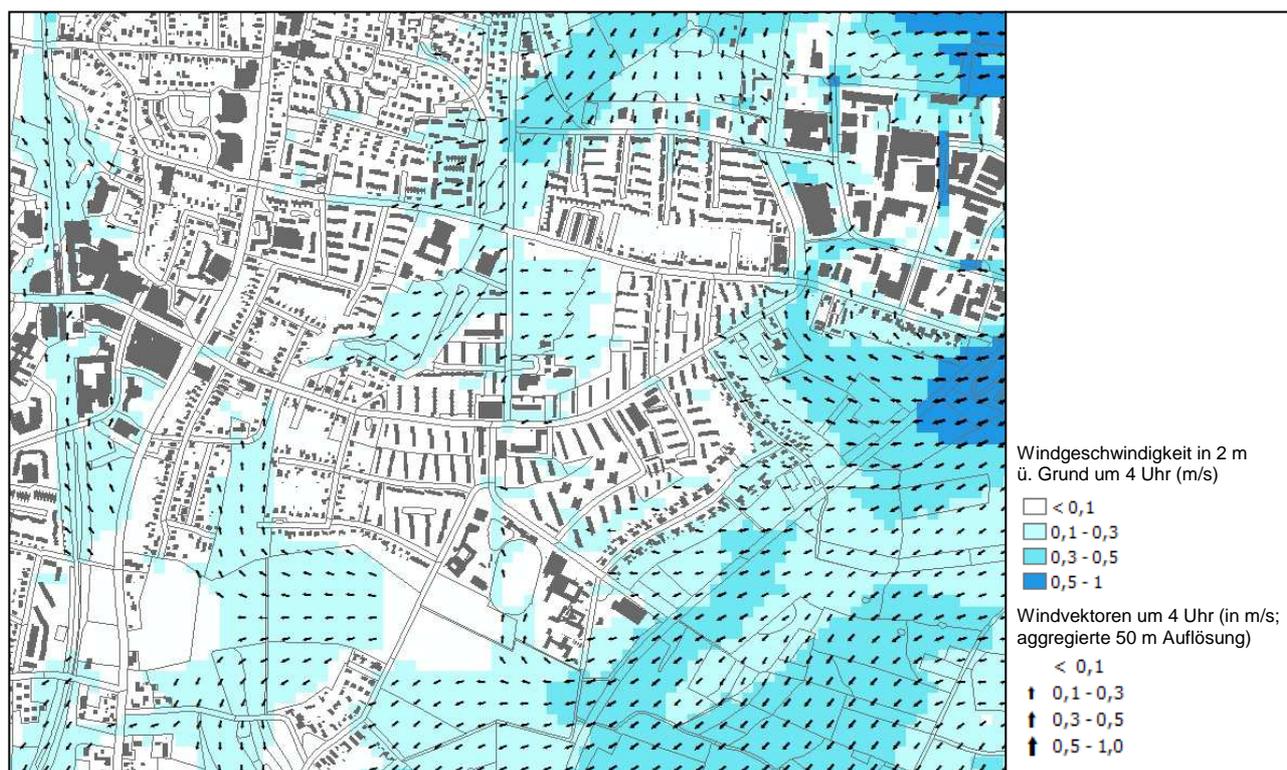


Abb. 15: Kaltluftströmungsfeld und Windgeschwindigkeit im Vertiefungsraum Norderstedt-Mitte/Harksheide

Dabei übernehmen vor allem die größeren Grünzüge eine wichtige Funktion, da sie die Kaltluft als Leitbahnen tief in die Bebauung heranführen können (z.B. **Rathauspark/nördliche Moorbekniederung**). Die höchsten Windgeschwindigkeiten von mehr als 0,5 m/s sind über dem Bereich Glasmoor hinaus auch kleinräumig innerhalb der Bebauung anzutreffen, wo durch eine Verengung des durchströmbareren Querschnittes eine Kanalisierung der Strömung vorliegt (dunkelblaue Farbe). Ansonsten liegen verbreitet Strömungsgeschwindigkeiten zwischen 0,1 m/s und 0,3 m/s vor. Durch die abbremsende Wirkung der Bebauung sowie das höhere Temperaturniveau in den Siedlungsflächen geht die Strömungsgeschwindigkeit allmählich auf weniger als 0,1 m/s zurück.

4.3 Kaltluftvolumenstrom

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

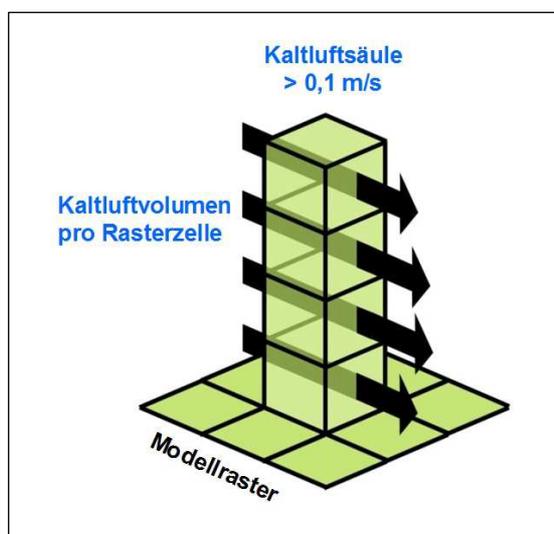


Abb. 16: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom

Unter dem Begriff Kaltluftvolumenstrom versteht man, vereinfacht ausgedrückt, das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite). Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit m^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, sondern als rasterbasierte Volumenstrom-*dichte* aufzufassen. Diesen Wert kann man sich leicht

veranschaulichen, indem man sich ein 25 m breites, quer zur Luftströmung hängendes Netz vorstellt, das ausgehend von der Obergrenze der Kaltluftschicht² bis hinab auf die Erdoberfläche reicht (Abb. 16). Bestimmt man nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft, erhält man die rasterbasierte Volumenstromdichte. Der Volumenstrom ist damit ein Maß für den *Zustrom von Kaltluft* und bestimmt somit, neben der Strömungsgeschwindigkeit, die Größenordnung des Durchlüftungspotenzials. Die Klassifizierung des flächendeckenden Volumenstroms orientiert sich am auftretenden Wertespektrum innerhalb des gesamten Untersuchungsgebietes und weicht daher von der in Kap. 3.3.1 (S. 13) dargestellten

² Die Schichtgrenze wird dort angesetzt, wo die horizontale Fließgeschwindigkeit geringer als 0,1 m·s⁻¹ wird

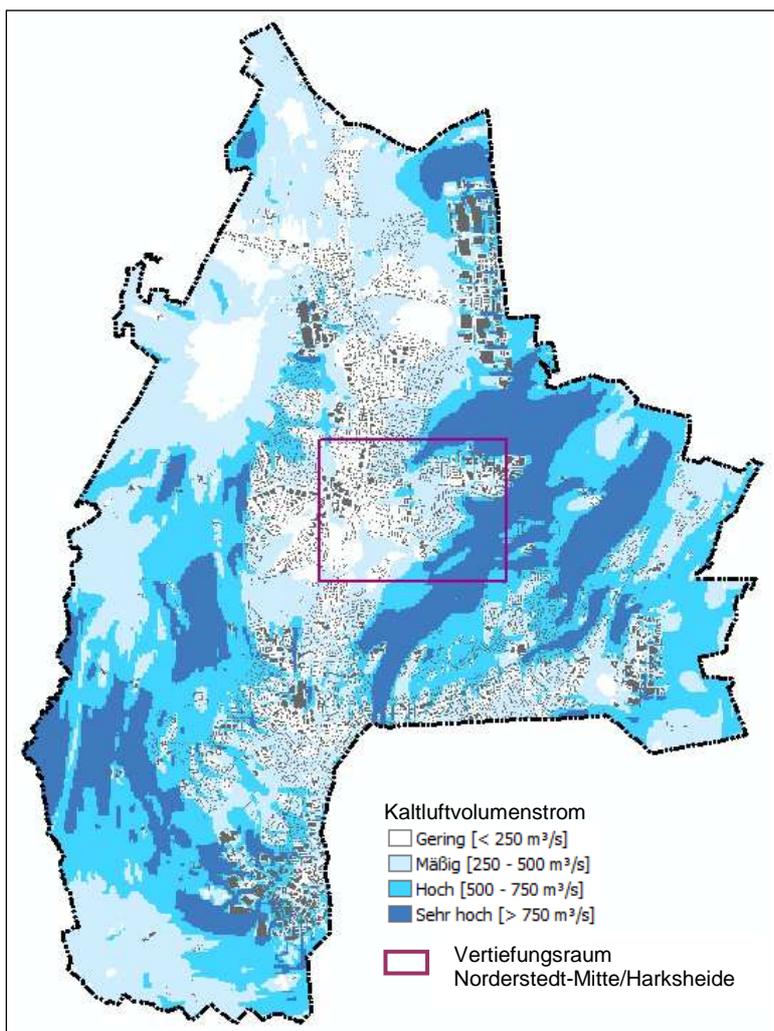
Klassifizierung des Volumenstroms innerhalb von Grünflächen ab. Die qualitative Bewertung dieser meteorologischen Größe zeigt Tab. 4.

Bewertung	Kaltluftvolumenstrom in m³/s
Sehr hoch	> 750
Hoch	750 bis ≥ 500
Mittel	500 bis ≥ 250
Gering	< 250

Tabelle 4: Qualitative Einordnung des Kaltluftvolumenstroms

Ausgehend vom der gebietstypischen Ausprägung im Untersuchungsraum wird als Schwellenwert für einen klimaökologisch wirksamen Kaltluftstrom ein Wert von mehr als 250 m³/s angenommen, wobei die innenstadtnahen Siedlungsflächen meist einen sehr geringen bis geringen Volumenstrom aufweisen.

Die räumliche Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Untersuchungsraum geht im Wesentlichen mit der des bodennahen Strömungsfeldes einher. Abbildung 17 zeigt den Kaltluftstrom für das gesamte Stadtgebiet in einer qualitativen Abstufung (vgl. auch Karte 3).



Analog zur Strömungsgeschwindigkeit treten die höchsten Werte vor allem über den großen Kaltluft produzierenden Flächen auf. Innerhalb von Straßenschluchten können die Werte durch eine Strömungskanalisation auch kleinräumig auf eine hohe bis sehr hohe Stufe ansteigen.

In weiten Teilen des übrigen Untersuchungsraums ist ein mäßiger Volumenstrom anzutreffen. In den unterdurchschnittlich durchlüfteten Siedlungsflächen liegt dagegen ein geringer Kaltluftvolumenstrom vor. Die Eindringtiefe des von Kaltluft produzierenden Flächen ausgehenden Volumenstroms entspricht in etwa der des Kaltluftströmungsfeldes. Damit zeigt sich die Funktion der in Kap. 4.2 angesprochenen Flächen als Kaltluftschneisen und ihre Bedeutung für den nächtlichen Luftaustausch während sommerlicher, windschwacher Wettersituationen.

Abb. 17: Kaltluftvolumenstrom zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens

Kaltluftvolumenstrom - Beispiel Norderstedt-Mitte/Harksheide

Den Kaltluftvolumenstrom im Bereich Norderstedt-Mitte/Harksheide ist in Abb. 18 dargestellt, wobei die großen unbebauten Freiflächen mit sehr hohen Werten hervortreten. Im östlich gelegenen Gewerbegebiet zeigt sich ein tiefes Eindringen von Kaltluft über den Straßenraum, was zum einen auf den hohen Temperaturgradienten als „Antrieb“ für den Luftaustausch und zum anderen auf die große Menge an zur Verfügung stehender Kaltluft zurückzuführen ist.

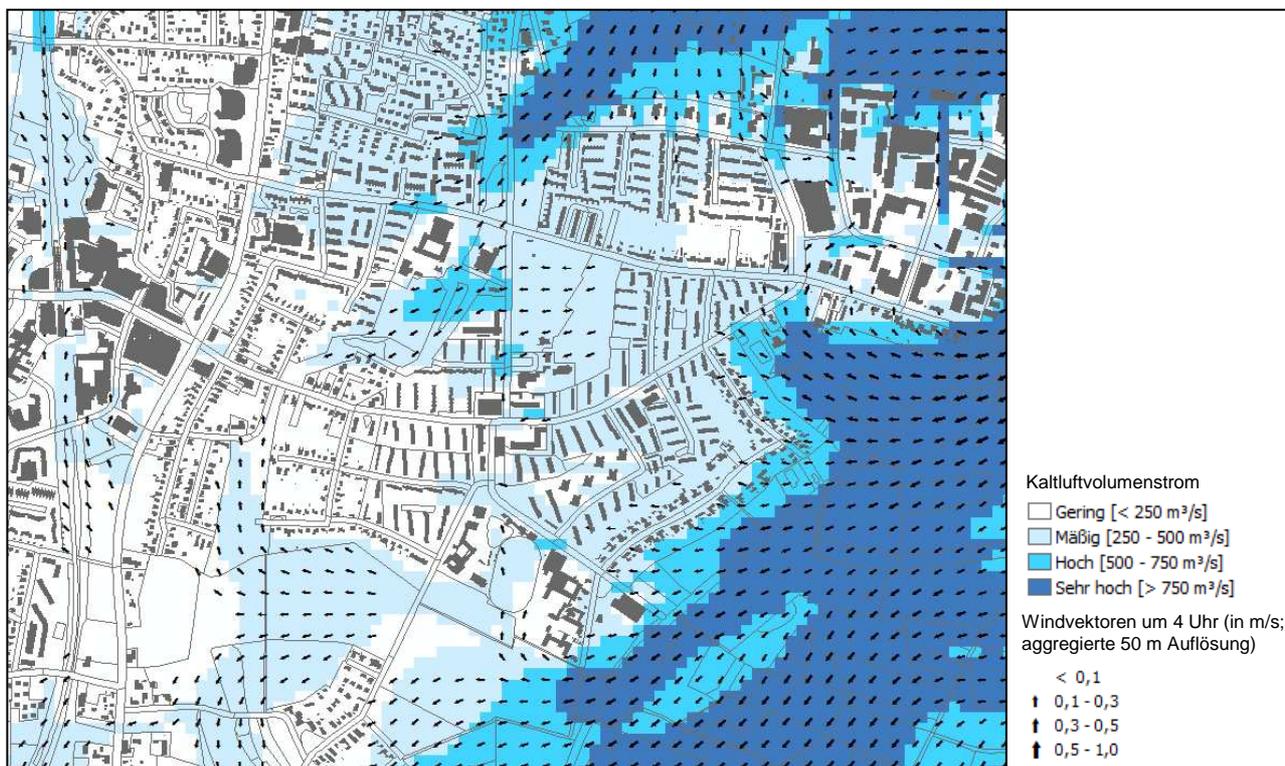


Abb. 18: Kaltluftvolumenstrom zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens im Vertiefungsraum Norderstedt-Mitte/Harksheide

Die Siedlungsfläche wird im gezeigten Ausschnitt etwa bis zur Ulzburger Straße noch mit einem mäßigen Volumenstrom versorgt. Im bodennahen Bereich kann dann die Strömungsgeschwindigkeit schon auf weniger als 0,1 m/s abgesunken sein, während auf Dachniveau noch ein gewisser Luftaustausch stattfindet (vgl. Abb. 15, S. 22).

5 Klimaökologische Funktionen

Im Folgenden wird auf die Klimafunktionskarte als Hauptergebnis dieser Untersuchung eingegangen. Der Ausarbeitung der klimaökologisch relevanten Strukturen liegt die vorangegangene Klimamodellierung für das Stadtgebiet Norderstedt zugrunde. Darin wurden die relevanten meteorologischen Parameter wie Temperaturfeld, Kaltluftvolumenstrom und autochthones Strömungsfeld modelliert und in ihrer flächenhaften Ausprägung dargelegt. Ausgangspunkt der vorliegenden Analyse ist nun die Gliederung des Untersuchungsraumes in bioklimatisch und/oder lufthygienisch belastete Siedlungsräume (**Wirkungsraum**) einerseits und Kaltluft produzierende, unbebaute und vegetationsgeprägte Flächen andererseits (**Ausgleichsräume**). Sofern diese Räume nicht unmittelbar aneinander grenzen und die Luftaustauschprozesse stark genug ausgeprägt sind, können linear ausgerichtete, gering überbaute Freiflächen (**Luftleitbahnen**) beide miteinander verbinden. Aus der Abgrenzung von Gunst- und Ungunsträumen sowie der verbindenden Strukturen ergibt sich somit ein komplexes Bild vom Prozesssystem der Luftaustauschströmungen des **Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüges** im Stadtgebiet Norderstedt. 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 Norderstedt. Dabei konzentriert sich die Darstellung auf Elemente und Bereiche, die sich über landschaftsplanerische Maßnahmen positiv beeinflussen lassen (Maßnahmen zum Schutz, zur Sicherung und zur Entwicklung der Schutzgüter Klima und Luft). Somit steht ein Instrument zur Beurteilung von klimatischen Beeinträchtigungen bereit, die bei einer Nutzungsänderung auftreten können. Darüber hinaus stellt sie die Grundlage für ein räumliches Handlungskonzept für den Bereich Stadtklima in der Landschaftsplanung bereit. Der Aufbau der Kartenlegende folgt dem Konzept des Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüges, wobei im Folgenden auf die Inhalte eingegangen wird.

5.1 Grün- und Freiflächen

Vegetationsbestandene Freiflächen mit einer nennenswerten Kaltluftproduktion stellen klimaökologische Ausgleichsräume dar und können über Flurwinde die Wärmebelastung in den Siedlungsflächen verringern. Eine hohe langwellige nächtliche Ausstrahlung während austauscharmer Hochdruckwetterlagen führt zu einer starken Abkühlung der bodennahen Luftschicht. Aufgrund der Reliefsituation mit Hangneigungen von verbreitet weniger als 1° dominieren in Norderstedt vorwiegend Flurwinde. Die Gesamtfläche der Kaltluft produzierenden Grünflächen beziffert sich auf etwa 3.602 Hektar, was einem Flächenanteil von rund 62 % 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. Besonders im Raum Glashütte und Garstedt ist eine intensive Kaltluftdynamik mit großem Einfluss auf Siedlungsflächen anzutreffen.

Grünflächen *hoher Kaltluftlieferung* sind häufig mit den zuvor beschriebenen Arealen vergesellschaftet. Mit einer Gesamtfläche von ca. 736 ha für die sehr hohe und 1.166 ha für die hohe Kaltluftlieferung beträgt der Flächenanteil dieser Kategorie an der Gesamtgrünfläche ca. 21,2 % bzw. 32,4 %.

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. 1.233 Hektar, was einem Anteil von ca. 34,2 % 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 Einwirkungsbereich 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 einher geht. Einen sehr geringen Kaltluftvolumenstrom weisen mit 439 ha etwa 12,2 % 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 fasst die ausgewiesenen Kategorien zusammen:

Kaltluftlieferung	Gesamtgröße der Klasse in Hektar	Anteil am Grünflächenbestand
Sehr hoch	763	21,2 %
Hoch	1.166	32,4 %
Mäßig	1.233	34,2 %
Gering	439	12,2 %

Tab. 5 Qualitative Einordnung der Kaltluftlieferung von Grünflächen im Stadtgebiet Norderstedt

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

5.2 Siedlungsräume

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

Wie in Kap. 3.3.2 (S. 14) beschrieben, ist die bioklimatische Belastungssituation der Baublöcke auf Basis des PMV-Wertes (Predicted Mean Vote; FANGER 1972) als Maß für die Wärmebelastung in einer Sommernacht ausgewiesen worden. Damit ergibt sich eine räumliche Untergliederung des Siedlungsraumes in bioklimatisch belastete Bereiche einerseits sowie unbelastete bzw. lediglich gering belastete andererseits. Letztere sind, durch von Kaltluft produzierenden Grünflächen ausgehende *Kaltlufteinwirkbereiche*, nur gering überwärmt und durch eine ausreichende Durchlüftung gekennzeichnet. Kaltlufteinwirkbereiche innerhalb der Bebauung sind durch die Schraffur gekennzeichnet. Am Ende einer warmen Sommernacht werden bis 04 Uhr ca. 31 % des Siedlungsraums mit Kalt-/Frischlufte versorgt und befinden sich damit im Einwirkungsbereich von Flurwinden und lokalen Kaltluftabflüssen. Die bioklimatische Situation ist in Karte 5 (Anhang) dargestellt.

Wie in Kap. 4.2 erläutert, hängt 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 Stadtteilzentren von Norderstedt-Mitte/Harksheide und Garstedt, in denen bioklimatisch weniger günstige bzw. ungünstige Bedingungen vorliegen. Diese resultieren aus dem hohen Überbauungs- und Versiegelungsgrad sowie einer in Teilen unzureichenden Durchlüftung. Dabei treten auch die größeren Gewerbe- und Industrieareale mit einer Belastungssituation hervor, da sie oftmals eine ähnlich verdichtete Bebauungsstruktur und hohe Versiegelungsgrade wie eine Zentrumsbebauung aufweisen.

Abbildung 19 zeigt in einem Ausschnitt aus der Klimafunktionskarte den Bereich Norderstedt-Mitte/Harksheide, wobei die bioklimatische Situation der Siedlungsräume mit einer Farbabstufung dargestellt ist. Dabei ist im Umfeld der Rathausallee nur ein kleiner Bereich als bioklimatisch ungünstig anzusprechen (Magenta), während das Gewerbegebiet am Langenharmer Weg nahezu komplett dieser Kategorie zuzuordnen ist. Die entlang der Ulzburger Straße lokalisierte Bebauung ist insgesamt durch weniger günstige Bedingungen (Orange) gekennzeichnet, wobei sie in Teilen ein Defizit an Durchlüftung aufweist.

In der randständigen Einzel- und Reihenhausbauung sind verbreitet günstige Bedingungen zu beobachten, was auf das Einwirken der Kaltluft und den wenig verdichteten Siedlungstyp zurück zu führen ist (Hellgrün). Der Einwirkungsbereich der Kaltluft ist mit einer Schraffur dargestellt.

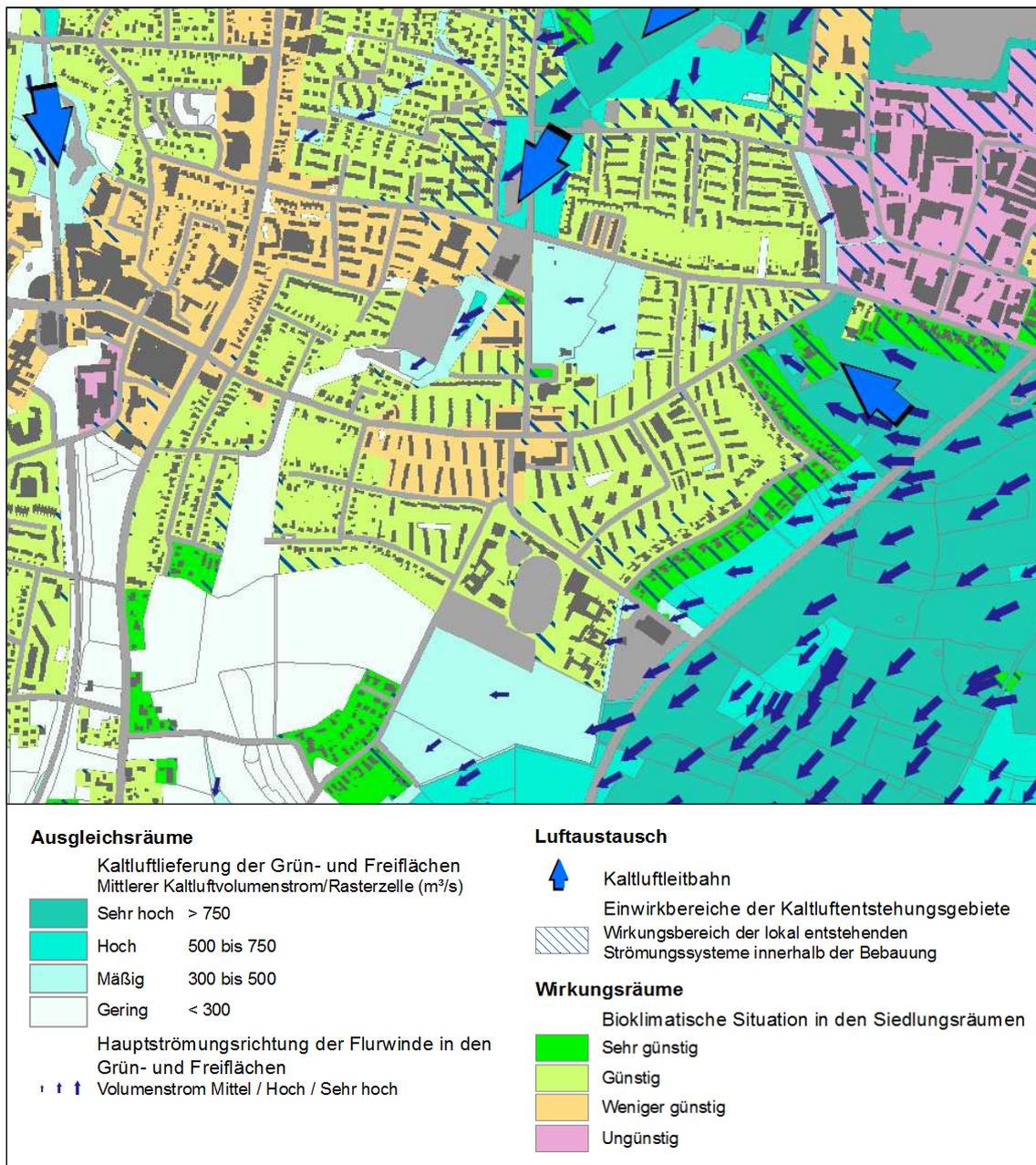


Abb. 19 Klimafunktionen im Bereich Norderstedt-Mitte/Harksheide

5.3 Luftaustausch

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

Im Rahmen der Klimaanalyse wurden insgesamt 6 Leitbahnen ausgewiesen:

- Rathauspark/nördliche Moorbekniederung
- Stadtpark
- Moorbekpark
- Wasserwerksgelände Langenharmer Weg und angrenzende Freiflächen
- Tarpenbekpark
- Ossenmoorpark

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. Die Klimafunktionskarte für das gesamte Stadtgebiet ist dem separaten Kartenanhang zu entnehmen.

6 Planungshinweiskarte Stadtklima

Innerstädtische und siedlungsnaher Grünflächen haben eine wesentliche Wirkung auf das Stadtklima und beeinflussen die direkte Umgebung in mikroklimatischer Sicht positiv. Die Planungshinweiskarte Stadtklima (Karte 7) stellt eine integrierende Bewertung der in der Klimafunktionskarte dargestellten Sachverhalte im Hinblick auf planungsrelevante Belange dar. Aus ihr lassen sich Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen zur Verbesserung von Klima und - über die Effekte der Verdünnung und des Abtransportes - auch der Luft ableiten. Dem Leitgedanken dieser Bemühungen entsprechen die Ziele zur

- Sicherung,
- Entwicklung und
- Wiederherstellung

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

Allgemeines zur siedlungsklimatische Rolle von Stadtgrün

Während über den von Wiese oder Acker geprägten Arealen am Tage durch die intensive Einstrahlung und dem Mangel an Verschattung ähnlich hohe Werte wie in den verdichteten Siedlungsflächen auftreten können, ist dort gleichzeitig in der Nachtsituation die stärkste Abkühlung zu erwarten. Hier kann einerseits in der Nacht eine ungehinderte (langwellige) Ausstrahlung verbunden mit starker Abkühlung der darüber lagernden Luftmasse erfolgen. Am Tage ist andererseits ein hoher (kurzwelliger) solarer Strahlungsintritt mit starker Erwärmung der Bodenoberfläche die Folge (vgl. Temperaturverlauf Abb. 7, S. 11).

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

Damit wird die unterschiedliche Bedeutung bzw. Bedeutung von Grünflächen am Tage bzw. in der Nacht deutlich. Einerseits sollen sie eine gute Aufenthaltsqualität am Tage gewährleisten, andererseits könne nächtliche Flurwinde die Wärmebelastung in den Siedlungsräumen lindern. Die Mindestgröße zur Ausbildung einer Kaltluftströmung lässt sich auf etwa 1 ha beziffern (SCHERER 2007). Abgesehen von der Flächengröße wird dies aber auch durch die grünplanerische Ausgestaltung mitbestimmt. Sofern ein bedeutsamer Luftaustausch durch Flurwinde stattfinden kann, sollte dieses (eigenbürtige) Luftaustauschsystem Grünfläche – angrenzende Bebauung und die damit verbundene klimaökologische Wohlfahrtswirkung aufrecht erhalten werden. In diesem Zusammenhang und in Bezug auf die nächtliche Kaltluftproduktion weist ein vorwiegend durch Wiese geprägter Flächentyp die besten Eigenschaften auf. Da auch von dichteren Vegetationselementen eine Hinderniswirkung für den Luftaustausch ausgehen kann,

sollte der Übergangsbereich zur Bebauung von Grünstrukturen wie dichten Baumgruppen, Gehölzen oder hohen Hecken weitestgehend frei gehalten werden. Abbildung 20 zeigt einen Ausschnitt aus der Planungshinweiskarte für den Bereich Norderstedt-Mitte/Harksheide.

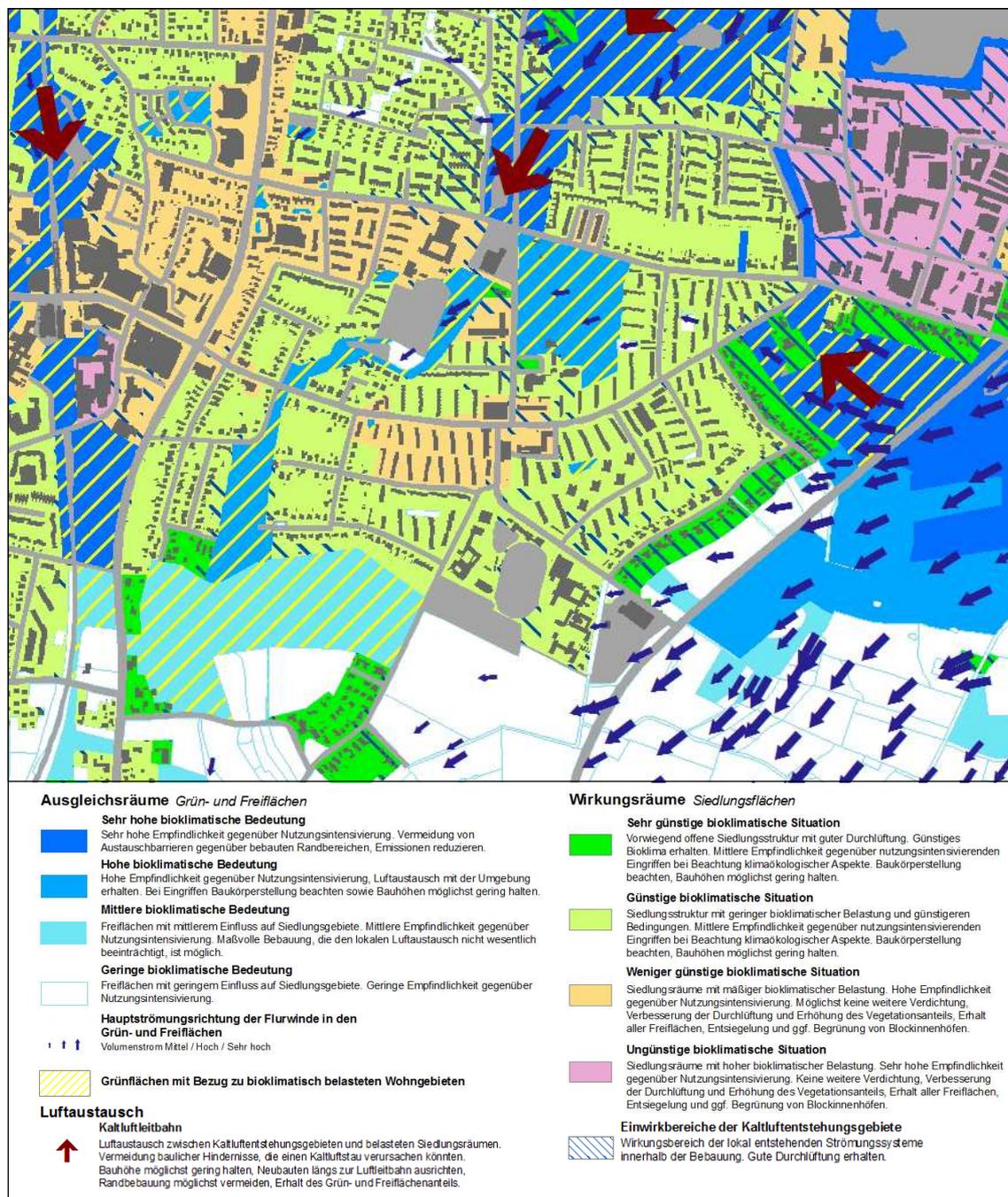


Abb. 20 Planungshinweise im Bereich Norderstedt-Mitte/Harksheide

In Folgendem wird auf die planerische Einordnung der klimaökologisch relevanten Elemente in Norderstedt eingegangen. Basis für die Beurteilung und Abgrenzung der Räume hinsichtlich ihrer planerischen Prioritäten sind die Simulationsergebnisse der Klimaparameter für eine austauscharme sommerliche Strahlungswetterlage. Die Legende folgt dabei dem Konzept des Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüges.

6.1 Grün- und Freiflächen

Planerische Einordnung der Grünflächen

Zur Bewertung der klimaökologischen Charakteristika der Grünflächen³ 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. 21, S. 34):

Sehr hohe bioklimatische Bedeutung:

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

Hohe bioklimatische Bedeutung

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

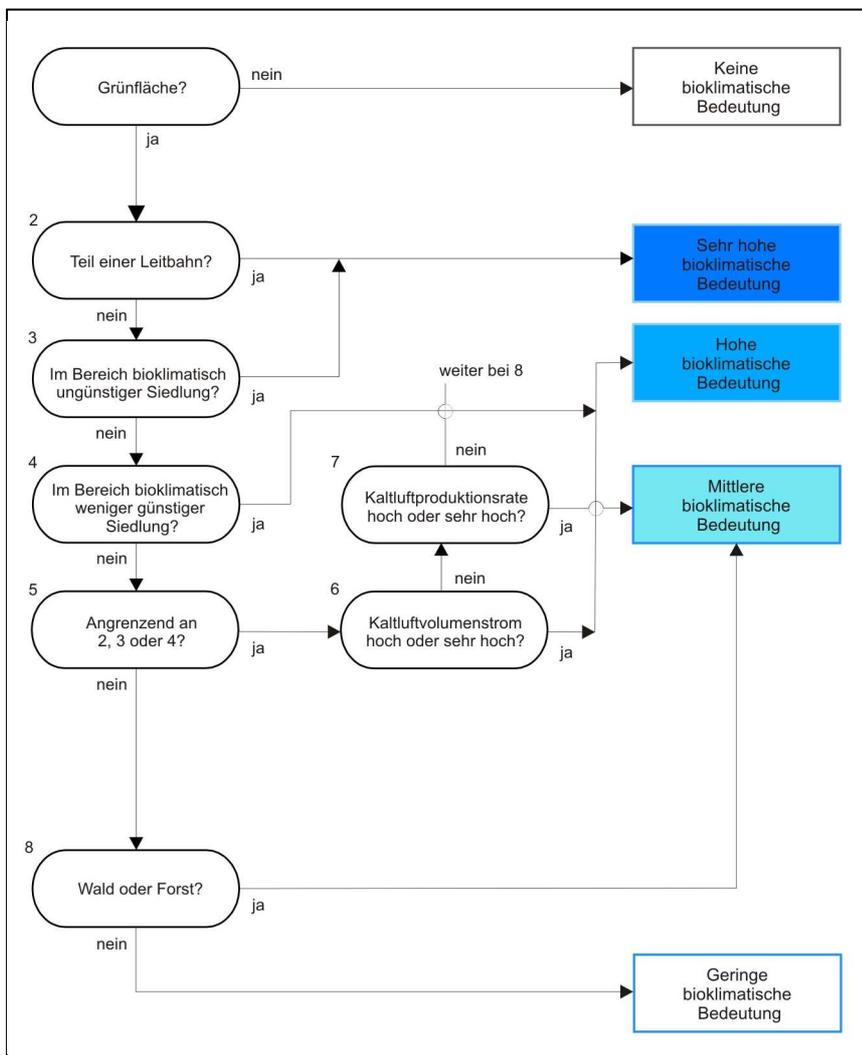
Mittlere bioklimatische Bedeutung

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

³ Als „Grünfläche“ werden hier unabhängig von ihrer jeweiligen Nutzung all jene Flächen bezeichnet, die sich durch einen geringen Versiegelungsgrad von maximal etwa 25 % auszeichnen. Neben Parkanlagen, Kleingärten, Friedhöfen und Sportanlagen umfasst dieser Begriff damit auch landwirtschaftliche Nutzflächen sowie Forsten und Wälder.

Die nach diesem vereinfachten Verfahren ermittelte bioklimatische Bedeutung der Freiräume basiert zum einem auf ihrer Lage in Bezug zu bioklimatisch belasteten Siedlungsstrukturen, zum anderen auf der flächeninternen Ausprägung der Klimaparameter, d.h. im Wesentlichen auf ihrem Kaltluftliefervermögen.



Diese Unterscheidung wurde getroffen, weil die flächeninternen Klimaparameter nicht in allen Bereichen gleichermaßen aussagekräftig sind.

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

Abb. 21: Vereinfachtes Verknüpfungsmodell zur Ermittlung der bioklimatischen Bedeutung der Grünflächen

Eine als „Hoch“ eingestufte Grünfläche verfügt *entweder* über einen direkt zugeordneten, bioklimatisch belasteten Wirkungsraum *oder* weist ein überdurchschnittliches Kaltluftliefervermögen auf und ist gleichzeitig als Ausgleichsraum oder Kaltluftquellgebiet einzustufen. Darüber hinaus werden in der Planungshinweiskarte die Grünflächen mit Bezug zu bioklimatisch belasteten Wohngebieten über eine eigene Signatur ausgewiesen.

Bilanzierung der Grünflächen für das Stadtgebiet Norderstedt

Eine *sehr hohe stadtklimatische Bedeutung* erlangen die Grün- und Freiflächen mit Einfluss auf bioklimatisch belastete Siedlungsräume bzw. in einer Funktion als Kaltluftleitbahn (vgl. Kap. 5.3, S. 29). Diese Kategorie ist z.B. mit dem **Rathauspark/nördliche Moorbekniederung** und dem **Tarpenbekpark** vor allem im innenstadtnahen Raum anzutreffen. Aber auch der **Moorbekpark** ist u.a. dahingehend einzuordnen. Die Gesamtgröße dieser Teilflächen beziffert sich auf ca. 550 Hektar.

Eine *hohe Bedeutung* kommt vor allem den an die Stadt angrenzenden Umlandflächen zu, welche eine Funktion als Kaltluftquellgebiete mit hohem Kaltluftliefervermögen für Kaltluftleitbahnen aufweisen. Die Gesamtfläche von Grünflächen hoher Bedeutung beträgt 432 ha.

Eine *mittlere stadtklimatische Bedeutung* weisen vor allem die **Waldflächen** auf. Diese Kategorie ist mit insgesamt 534 ha am gesamten Grünflächenbestand vertreten.

Als vierte Kategorie werden Grün- und Freiflächen mit einer *geringen stadtklimatischen Bedeutung* ausgewiesen. Dabei handelt es sich um meist siedlungsferne Freiflächen, welche keinen nennenswerten Einfluss auf - belastete - Siedlungsbereiche ausüben. Dies sind allem die landwirtschaftlich genutzten Flächen östlich des Glasmoores und im Bereich Garstedt. Tabelle 6 fasst die Flächenanteile der ausgewiesenen Kategorien zusammen:

Bewertung	Anteil am Grünflächenbestand
Sehr hoch	15,2 %
Hoch	12,0 %
Mittel	18,1 %
Gering	54,7 %

Tab. 6: Bilanzierung der planerisch relevanten Grünflächen

Somit lassen sich ca. 15,2 % des Grünflächenbestandes der höchsten planerischen Priorität zuordnen, während 12,0 % eine hohe Bedeutung aufweisen. Grün- und Freiflächen mit einer mittleren Bedeutung haben einen Anteil von 18,1 % am Gesamtbestand, während den mit 54,7 % höchsten Anteil die Flächen mit Randlage und geringer Relevanz für Siedlungsflächen ausmachen.

6.2 Siedlungsräume

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

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

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

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

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

Für diese Gebiete können die folgenden Empfehlungen gegeben werden:

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

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

6.3 Luftaustausch

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

Für alle Leitbahnen gelten die folgenden Planungshinweise:

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

6.4 Nutzungshinweise für die Bauleitplanung

Die Planungshinweiskarte stellt die stadtklimatisch relevanten Strukturen mit ihrer jeweiligen Bedeutung dar und erlaubt im Falle einer Nutzungsänderung die Ersteinschätzung der Empfindlichkeit von Grün- und Siedlungsflächen. Aufgrund ihrer wichtigen lokalklimatischen Funktionen sowie der Rolle im Stadtökosystem insgesamt sollte die Überbauung von Grünflächen aber grundsätzlich vermieden werden. Sind dennoch konkrete Eingriffe vorgesehen, können entsprechende zu berücksichtigende Maßnahmen aus der jeweiligen Empfindlichkeit im Plangebiet abgeleitet werden, gleiches gilt für die Siedlungsflächen. Sämtliche Aspekte sind zusammenfassend in Tab. 7 dargestellt und lassen sich über die Farbe in der Planungshinweiskarte verorten.

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

Allgemeine Maßnahmen zur Verringerung der Wärmebelastung im Siedlungsraum

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

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

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

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

Bedeutung von Dach- und Fassadenbegrünung

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

Bei der Dachbegrünung wirkt die Vegetation zusammen mit dem Substrat isolierend und verringert damit das Aufheizen darunter liegenden Wohnraums. Zudem senkt die Dachbegrünung die Oberflächentemperatur des Daches aufgrund der Verdunstung von Wasser ab und verringert die Temperatur in der oberflächennahen Luftschicht. Voraussetzung dafür ist allerdings ein ausreichendes Wasserangebot für die Vegetation. Sollte bei längeren Hitzeperioden die Vegetation austrocknen, steigen die Temperaturen wieder auf das Niveau eines normalen Daches an und können sogar darüber hinaus gehen. 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.

Stadtklimatische Hinweise für Planungsentscheidungen				
1	2	3	4	5
Flächentyp - Stadtklimatische Bedeutung	Betroffene Funktion	Grund der Einstufung	Beurteilung der Empfindlichkeit	Maßnahmen
Grünflächen - sehr hohe Bedeutung	Kalt-/Frischluftlieferung	Kaltluftentstehungsgebiete mit Bezug zu bioklimatisch ungünstigen Siedlungsräumen.	Höchste Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	<ul style="list-style-type: none"> Vermeidung von Austauschbarrieren gegenüber bebauten Randbereichen. Bei Verkehrseinfluss Emissionen reduzieren, Mit benachbarten Freiflächen vernetzen.
	Kaltluftleitbahn	Luftaustausch zwischen Kaltluftentstehungsgebieten und belasteten Siedlungsräumen.	Höchste Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	<ul style="list-style-type: none"> Vermeidung/Beseitigung baulicher und sonstiger Hindernisse, die einen Kaltluftstau verursachen könnten. Randbebauung vermeiden. Neubauten längs zur Luftleitbahn ausrichten. Erhalt des Grün- und Freiflächenanteils. Bei Verkehrseinfluss Emissionen reduzieren,
Grünflächen - hohe Bedeutung	Kalt-/Frischluftlieferung	Kaltluftentstehungsgebiete mit Bezug zu bioklimatisch weniger günstigen Siedlungsräumen.	Hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	<ul style="list-style-type: none"> Luftaustausch mit der Umgebung sichern. Randbebauung vermeiden. Erhalt des Grün- und Freiflächenanteils. Bei Verkehrseinfluss Emissionen reduzieren.
Grünflächen - mittlere Bedeutung	Kalt-/Frischluftlieferung	Luftaustausch zwischen Kaltluftentstehungsgebieten und Siedlungsräumen.	Mäßige Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	<ul style="list-style-type: none"> Vermeidung/Beseitigung baulicher und sonstiger Hindernisse, die einen Kaltluftstau verursachen könnten. Bei Verkehrseinfluss Emissionen reduzieren.
Grünflächen - geringe Bedeutung	Kalt-/Frischluftlieferung	Freiflächen mit geringem Einfluss auf Siedlungsgebiete und/oder unbedeutender Kalt-/Frischluftproduktion.	Geringe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	<ul style="list-style-type: none"> Nutzungsänderung (Versiegelung/Bebauung), die den lokalen Luftaustausch nicht wesentlich beeinträchtigt, ist möglich. Bei Verkehrseinfluss Emissionen reduzieren,
Siedlungsraum – sehr geringe Belastung	Siedlungsraum	Siedlungsraum mit sehr günstigen bzw. günstigen bioklimatischen Bedingungen. Vorwiegend offene Siedlungsstruktur mit hohem Durchgrünungsgrad und meist guter Durchlüftung.	Mittlere Empfindlichkeit gegenüber nutzungsintensivierenden Eingriffen.	<ul style="list-style-type: none"> Günstiges Bioklima erhalten. Bauhöhen möglichst gering halten. Bei Verkehrseinfluss Emissionen reduzieren, Baukörperstellung im Hinblick auf Kaltluftströmungen beachten.
geringe Belastung				
Siedlungsraum – mäßige bioklimatische Belastung	Siedlungsraum	Siedlungsstruktur mit weniger günstigen bioklimatischen Bedingungen. Areale mit höherer Bebauungsdichte und/oder unzureichender Durchlüftung.	Hohe Empfindlichkeit gegenüber nutzungsintensivierenden Eingriffen.	<ul style="list-style-type: none"> Möglichst keine weitere Verdichtung. Verbesserung der Durchlüftung. Erhöhung des Vegetationsanteils. Erhalt aller Freiflächen. Entsiegelung und ggf. Begrünung der Blockinnenhöfe sowie Dach- und Fassadenbegrünung. Bei Verkehrseinfluss Emissionen reduzieren.
Siedlungsraum – hohe bioklimatische Belastung	Siedlungsraum	Siedlungsstruktur mit ungünstigen bioklimatischen Bedingungen. Sehr hoher Versiegelungs- und Überbauungsgrad und unzureichender Durchlüftung.	Sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber nutzungsintensivierenden Eingriffen.	<ul style="list-style-type: none"> Keine weitere Verdichtung. Verbesserung der Durchlüftung. Erhöhung des Vegetationsanteils. Erhalt aller Freiflächen. Entsiegelung und ggf. Begrünung der Blockinnenhöfe sowie Dach- und Fassadenbegrünung. Bei Verkehrseinfluss Emissionen reduzieren,

Tab. 7: Stadtklimatische Hinweise für Planungsentscheidungen

6.5 Planungsbeispiele

Die Planungshinweiskarte stellt die stadtklimatisch relevanten Strukturen mit ihrer jeweiligen Bedeutung dar und erlaubt im Falle einer geplanten Nutzungsänderung die **Ersteinschätzung der Empfindlichkeit von Grün- und Siedlungsflächen**. Aufgrund ihrer wichtigen lokalklimatischen Funktionen sowie der Rolle im Stadtökosystem insgesamt sollte die Überbauung von Grünflächen aber grundsätzlich vermieden werden. Sind dennoch konkrete Eingriffe vorgesehen, können entsprechende zu berücksichtigende Maßnahmen aus der jeweiligen Empfindlichkeit im Plangebiet abgeleitet werden, gleiches gilt für die Siedlungsflächen. Sämtliche Aspekte sind zusammenfassend in Tab. 8 dargestellt. Im Folgenden wird anhand von insgesamt 5 Beispielen eine Einschätzung der Planungen auf Grundlage der Planungshinweiskarte erfolgen.

Beispiel 1: Nordport Erweiterung

Im südlichen Stadtgebiet von Norderstedt befindet sich das Gewerbe- und Logistikzentrum „Nordport“, welches aufgrund seiner Nähe zum Hamburger Flughafen Fuhlsbüttel eine besondere Standortgunst aufweist. Im Zuge einer Erweiterung ist vorgesehen, weitere derzeit noch unbebaute Flächen westlich der Niendorfer Straße zu überbauen. Die Lage des Areals zeigt Abb. 22 vor dem Hintergrund der Planungshinweiskarte. Die Einstufung der bioklimatischen Bedeutung einer Grünfläche orientiert sich vor allem am Belastungspotential der angrenzenden Bebauung. Aufgrund der räumlichen Nähe zu den stark versiegelten und damit auch in der Nacht überwärmten Gewerbeflächen weist die überplante Fläche eine hohe bis sehr hohe bioklimatische Bedeutung auf.

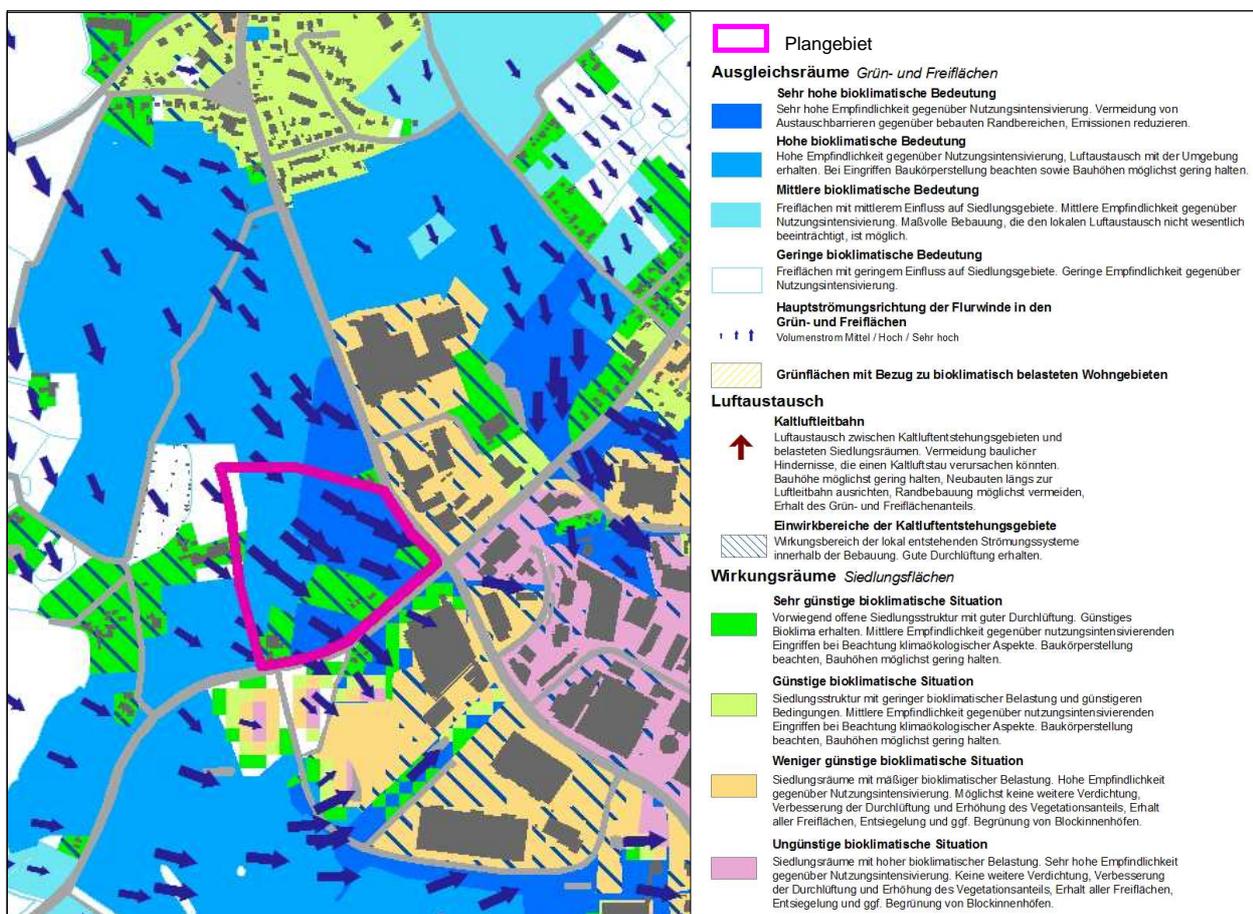


Abb. 22: Planungshinweiskarte und Lage des Beispielgebietes Erweiterung Nordport

Neben einer eigenen Kaltluftproduktion führt sie auch die weiter nordwestlich gebildete Kaltluft in Richtung auf die Ohechaussee heran.

Daraus lassen sich die folgenden wichtigsten *Auswirkungen* zusammenfassen:

- Mit der Entstehung weiterer Baufelder verringert sich die Größe von Kaltluft produzierender Fläche im stadtrandnahen Bereich um etwa 10 ha.
- Der Effekt der „städtischen Wärmeinsel“ wird sich im Bereich der Niendorfer Straße verstärken.
- Mit der Ansiedlung weiterer Unternehmen wird sich voraussichtlich auch die Emissionssituation innerhalb des Hauptstraßennetzes verändern.

Daraus ergeben sich die folgenden potentiellen *Konflikte*:

- Die Durchlüftung des bestehenden Gewerbequartiers wird reduziert.
- Der Anteil an überwärmter Fläche wird sich im südlichen Stadtgebiet von Norderstedt erhöhen.
- Bei einem zunehmenden Schwerlastverkehr könnte sich die lufthygienische Situation verschlechtern.

Um mögliche klimaökologische Auswirkungen zu minimieren, lassen sich in einem weiteren Schritt die entsprechenden *Maßnahmen* herleiten:

- Die Modellrechnung zeigt, dass das bestehende Gewerbeareal bereits gut durchlüftet wird. Über eine günstige Baukörperstellung sowie Abstandsflächen sollte auch weiterhin das Eindringen von Flurwinden ermöglicht werden.
- Durch den Einsatz von Dach- und Fassadenbegrünung lässt sich der Versiegelungs- und Überbauungsgrad verringern.

Wenngleich eine Wohnbebauung eine höhere Priorität bei Umsetzung von Maßnahmen zur Klimaanpassung genießt, besteht aus zweierlei Gründen auch für Gewerbeflächen eine Relevanz: Zum Einen tragen Gewerbeflächen aufgrund ihrer meist hohen Oberflächenversiegelung zum Entstehen einer „städtischen Wärmeinsel“ bei, zum Anderen sind sie auch als Aufenthaltsbereiche der Menschen anzusehen, die dort am Tage oder in der Nacht arbeiten.

Ein Einfluss auf die Temperatursituation in den bestehenden Wohnquartieren, welche je nach Lage einen Abstand von mindesten 100 m aufweisen, ist allerdings nicht zu erwarten. Die Kaltluftzufuhr für benachbarte Wohnbebauung wird voraussichtlich nicht beeinträchtigt.

Beispiel 2: Wohnbauflächen Mühlenweg - Harckesheyde

Das Plangebiet befindet sich östlich der Ulzburger Straße und wird vom Mühlenweg im Norden und der Harckesheyde im Süden eingerahmt. Bis auf kleinere Einzelhäuser ist es derzeit unbebaut, die Siedlungsstruktur der näheren Umgebung ist durch Einzel- und Doppelhäuser geprägt. Die Fläche selbst stellt eine bedeutsame Reservefläche für den Wohnungsbau in Norderstedt dar, wobei eine stufenweise Entwicklung des insgesamt ca. 47 ha großen Planareals vorgesehen ist. Als wesentliche Merkmale des Strukturplanes können die von Norden nach Süden hin zunehmende bauliche Dichte mit Einzel-, Doppel-, Reihenhaus und Geschosswohnungsbau sowie die Erhaltung der Grünzüge am östlichen Plangebietsrand bzw. am Harckesstieges genannt werden.

Die klimaökologische Bedeutung der Planfläche zeigt Abb. 23. Ein Großteil davon ist mit einer geringen Bedeutung ausgewiesen, da die umgebenden Siedlungsflächen eine vorwiegend günstige bis sehr günstige bioklimatische Situation aufweisen. Lediglich der als Ausgleichsfläche vorgesehene und an das überwärmte Gewerbegebiet angrenzende östliche Teil erlangt aufgrund dieser Nähe eine hohe bis sehr hohe Bedeutung.

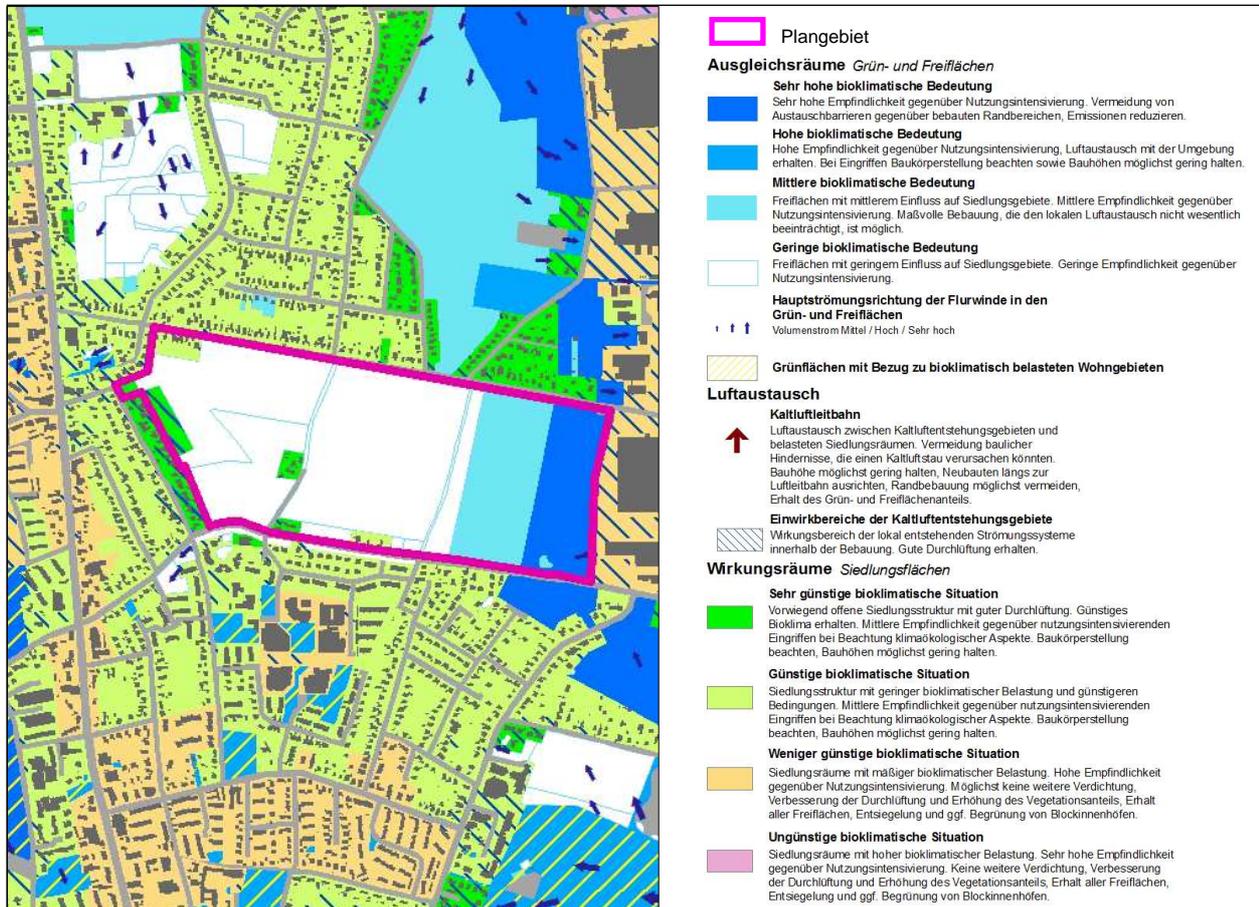


Abb. 23: Planungshinweiskarte und Lage des Beispielgebietes Mühlenweg

Trotz eines insgesamt eher unterdurchschnittlichen Kaltluftvolumenstroms der überplanten Fläche liefert der westliche Teil des Areals Kaltluft für die Bebauung bis zur Ulzburger Straße und trägt zum günstigen Bioklima in diesem Bereich bei.

Ausgehend von diesen Rahmenbedingungen lassen sich die folgenden *Auswirkungen* benennen:

- Mit der Realisierung weiterer Wohngebiete entfällt eine siedlungsnahe Kaltluft produzierende Fläche.
- Gleichzeitig erhöht sich das Bauvolumen zwischen dem Mühlenweg und der Harckesheyde.

Ein potentieller *Konflikt* ist dahingehend zu sehen, dass sich durch die verringerte Durchlüftung die bioklimatische Situation im Bestand verändern könnte.

Als mögliche *Maßnahme* kommt in Betracht, den Versiegelungs- und Überbauungsgrad möglichst gering zu halten, um das günstige Bioklima sowohl im Bestand zu erhalten als auch in den geplanten Quartieren zu gewährleisten. Die Überbauung der Fläche wird voraussichtlich zu einer leicht herabgesetzten Durchlüftung in der sich westlich anschließenden Bebauung bis zur Ulzburger Straße führen. Aufgrund der vorwiegend lockeren, durchgrünten Siedlungsstruktur und den günstigen bioklimatischen Ausgangsbedingungen im näheren Umfeld sind die klimaökologischen Auswirkungen als gering einzuschätzen.

Beispiel 3: Bebauungsplan 291: Wohnbauflächen Moorbekpark

Im Rahmen der Klimamodellierung tritt der Moorbekpark als Leitbahn hervor, welche Kaltluft bis zu der stärker versiegelten und überwärmten Bebauung von Norderstedt-Mitte/Harksheide heranführt. Aufgrund dieser wichtigen Funktion ist hier eine sehr hohe stadtklimatische Bedeutung zugewiesen worden. Das Bioklima im Umfeld des Parks kann verbreitet als günstig beurteilt werden, erst im Bereich der Rathausallee liegen weniger günstige Bedingungen vor. Der Bebauungsplan 291 sieht eine Wohnbebauung am nordwestlichen Rand des Moorbekparks vor (Abb. 24), welche sich aus Stadtvillen und Reihenhausbauung zusammensetzen soll. Die zusätzlichen Baukörper werden sich somit auch auf die Strukturhöhen innerhalb der Leitbahn *auswirken*.

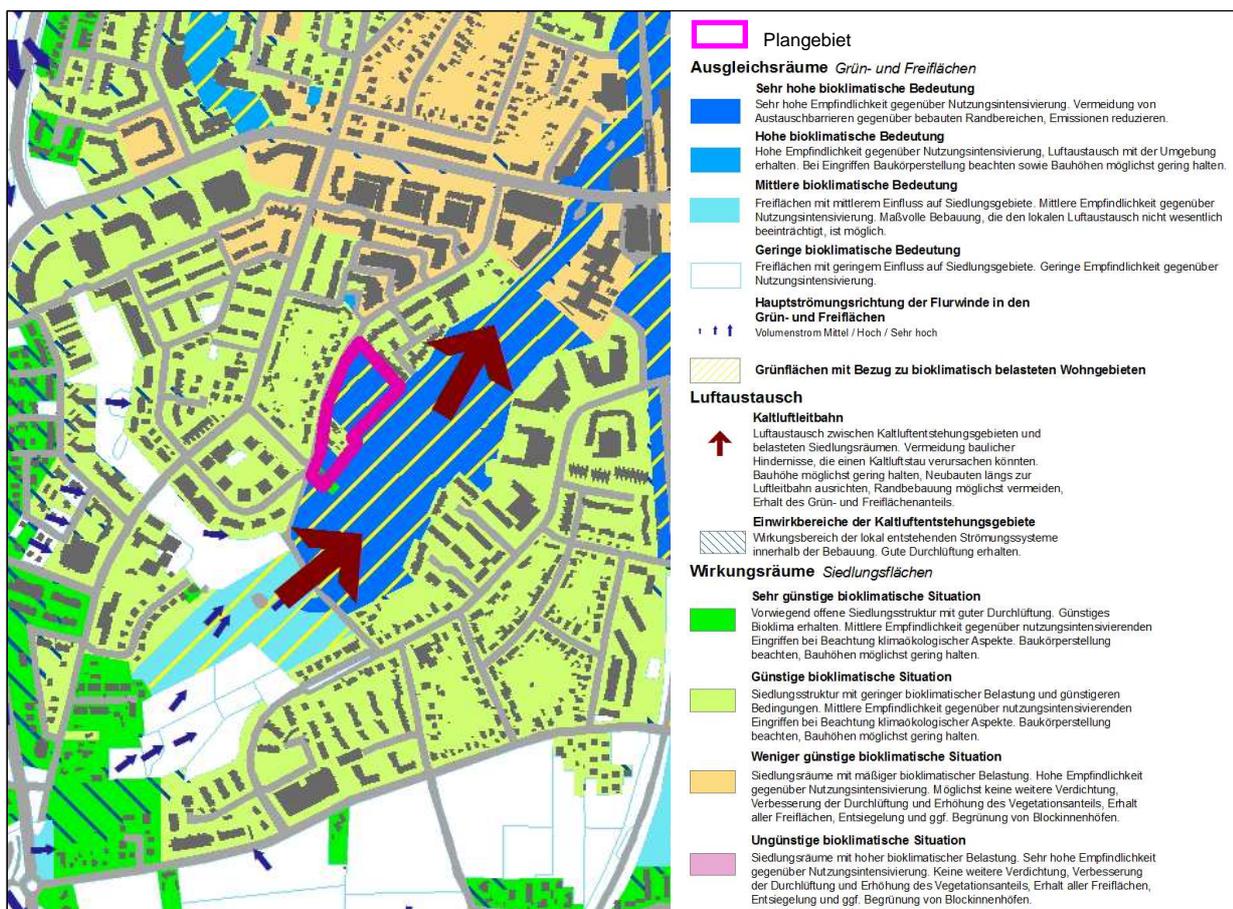


Abb. 24: Planungshinweiskarte und Lage des Beispielgebietes Moorbekpark

Daher stellt sich als potentieller *Konflikt* die Frage, in wiefern die Leitbahnfunktion bzw. der Luftaustausch insgesamt beeinträchtigt wird und sich ggf. die günstige bioklimatische Situation im Umfeld der Leitbahnbereiche verschlechtert. Mit Blick auf die möglichen klimaökologischen Auswirkungen lassen sich die folgenden *Maßnahmen* herleiten:

- Erhaltung der Kaltluftleitbahn für die Kalt-/Frischlufthilfeversorgung der bestehenden Bebauung.
- Die Baukörperstellung sollte weiterhin Flurwinde ermöglichen.
- Versiegelungs- und Überbauungsgrad sollten möglichst gering halten und das günstige Bioklima erhalten werden.
- Geschlossene Randbebauung vermeiden, eine „perforierte“ Bebauungsstruktur des Baufeldes ist anzustreben.

- Da in der Leitbahn freigesetzte Luftschadstoffe wie z.B. Feinstaub aus Festbrennstoffheizungen verfrachtet werden können, sollte eine emissionsarme Wärmeversorgung des Wohnquartiers angestrebt werden.

Die Modellergebnisse zeigen, dass die Kaltluft vor allem über den zentralen Bereich des Moorbekparks in Richtung Norderstedt-Mitte/Harksheide strömt. Aufgrund der Randlage ist das Planareal somit nicht unmittelbar am Lufttransport beteiligt. Der Bau des Wohngebietes wird deshalb keine nennenswerten Auswirkungen auf andere Siedlungsflächen haben.

Beispiel 4: Wohnbauflächen W 22 und W 23 des FNP 2020 sowie Bebauungsplan Nr. 282 Norderstedt „Kreuzweg“

Das Planbeispiel 4 beinhaltet über den Bebauungsplan 282 hinaus auch die Wohnbauflächen W 22 und W 23 des Flächennutzungsplans 2020. Die Bebauung setzt sich aus zweigeschossigen Einzel- und Doppelhäusern, Reihenhäusern sowie Geschossbauten zusammen, wobei die bauliche Dichte zum Glashütter Damm hin tendenziell zunimmt. Das Areal selbst sowie das nördliche Umfeld werden derzeit landwirtschaftlich genutzt, nach Süden hin schließt sich eine Einzel- und Reihenhausbauung an. Diese weist günstige bis sehr günstige Bedingungen auf, was auf die gute Durchlüftung und die lockere Bebauung zurückzuführen ist. Die Planfläche weist daher eine geringe bioklimatische Bedeutung auf (Abb. 25).

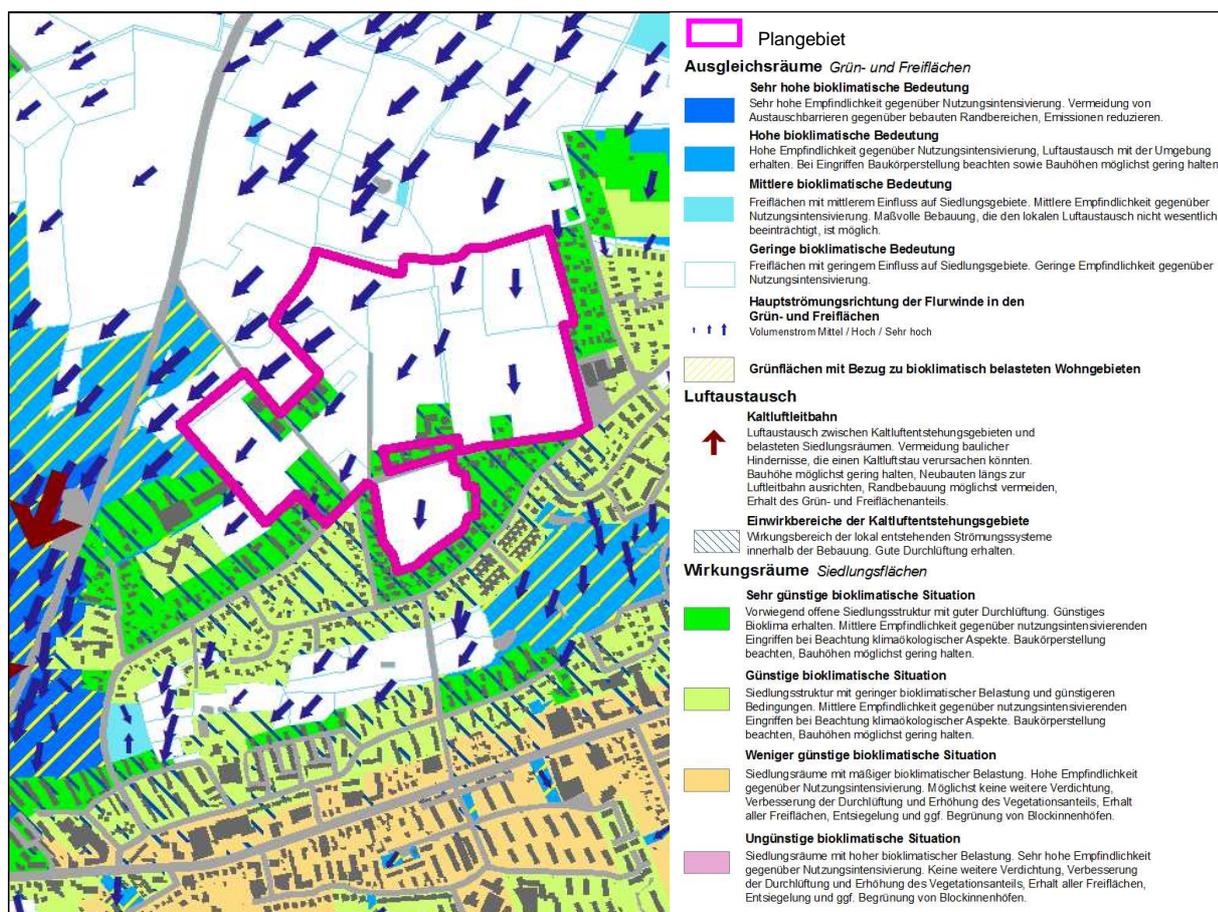


Abb. 25: Planungshinweiskarte und Lage des Beispielgebietes Wohnbauflächen W 22 und W 23 des FNP 2020 sowie Bebauungsplan 282 „Kreuzweg“

Strukturelles Merkmal des Baukonzeptes sind durchgrünte Abstandsflächen im Baufeld W 22, welche das Eindringen von Kaltluft in die Bebauung erleichtern. Wegen der stadtrandnahen Lage, der klimatisch

positiven Ausgangssituation und des intensiven Luftaustausches im Umfeld des Planareals ist das Konfliktpotential gering und es sind keine negativen Effekte für den Bestand zu erwarten. Die Funktion des Tarpenbekparks als Kaltluftleitbahn wird nicht beeinträchtigt.

Beispiel 5: Bebauungsplan 250 „Zwischen Weg am Denkmal und Glashütter Weg“

Bei der Planfläche handelt es sich um ein bereits locker bebautes Areal, welches durch vergleichsweise große Grundstücke und einen hohen Gartenanteil gekennzeichnet ist. Daraus resultiert eine günstige bioklimatische Ausgangssituation während sommerlicher windschwacher Wetterlagen (vgl. Abb. 26). Der Grundgedanke einer Nachverdichtung beruht auf dem Umstand, dass nördlich von Grootkoppelstraße und Glashütter Weg eine zweite Bauzeile möglich wäre, da hier bereits Baurechte nach § 34 BauGB bestehen. Diese Ausgangssituation würde die Parzellierung ausreichend großer Grundstücke erlauben.

Für dieses Szenario existieren zwei Konzepte: Variante A zielt auf eine Nachverdichtung in der zweiten Reihe in den rückwärtigen Gartenbereichen ab, während Variante B den Erhalt der Gartenstrukturen und eine Verdichtung durch größere Grundflächen und Aufstockung der Gebäude vorsieht. Die Innenentwicklung minimiert Flächenversiegelung im Außenbereich und ermöglicht die sinnvolle Auslastung der sozialen und technischen Infrastruktur. Allerdings tragen Nachverdichtungs- und Innenentwicklungsprojekte vermutlich auch zu weiteren Erwärmungen innerhalb von Siedlungsgebieten bei, was sich durch die regionalen Auswirkungen des Klimawandels in den nächsten Dekaden noch verstärken wird.

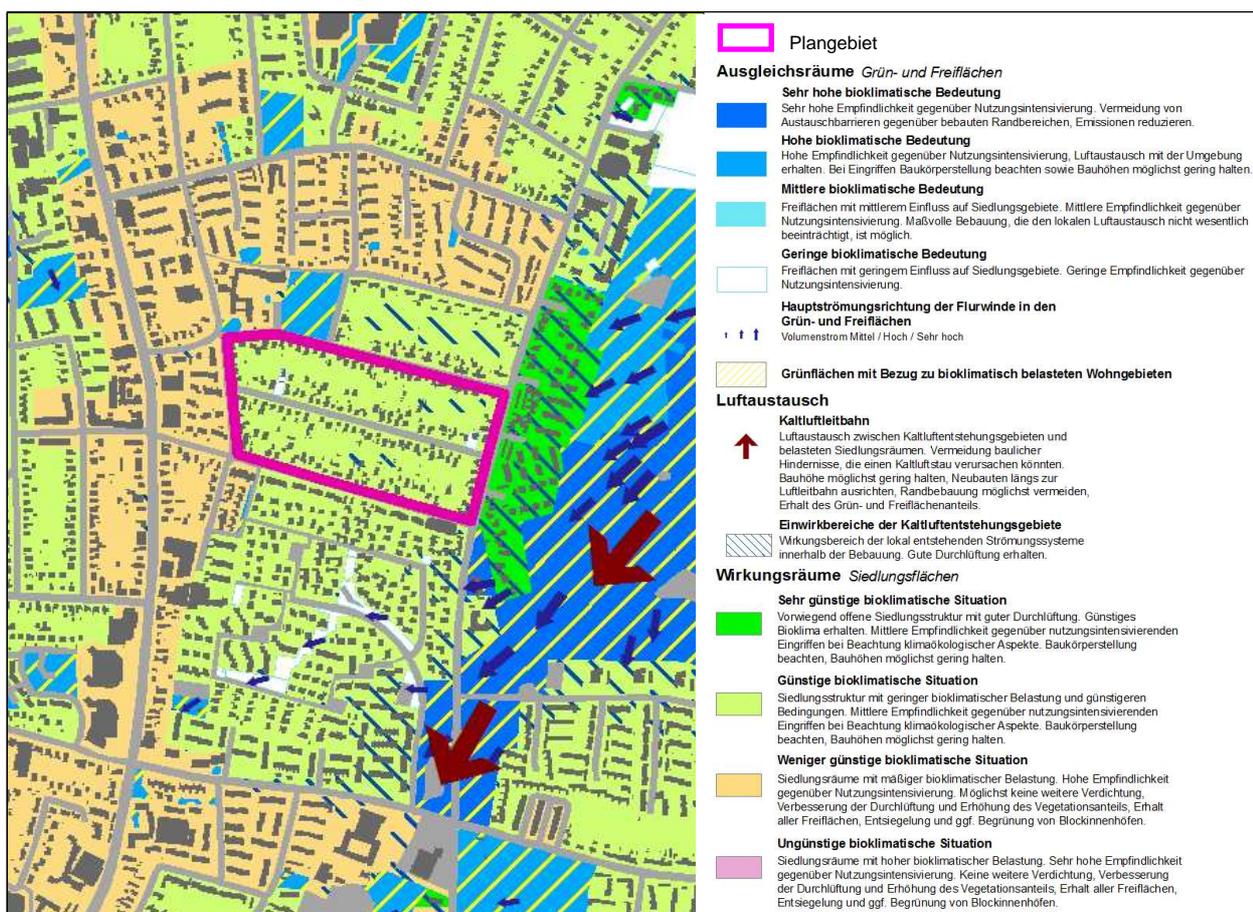


Abb. 26: Planungshinweiskarte und Lage des Beispielgebietes Bebauungsplan 250 „Zwischen Weg am Denkmal und Glashütter Weg“

Für die grundsätzliche Einschätzung der lokalklimatischen Auswirkungen dieser Bauungskonzepte können die im Rahmen des ExWoSt-Modellprojektes „Innenentwicklung versus Klimakomfort im

Nachbarschaftsverband Karlsruhe (NVK)“ gewonnenen Erkenntnisse herangezogen werden, bei der u.a. eine vergleichbare Fragestellung modellgestützt untersucht wurde (BBSR 2012). Die Modellierung der sommerlichen Wärmebelastung für die Tag- und Nachtsituation in einem Beispielgebiet mit vergleichbarer Siedlungsstruktur hat den Einfluss des Überbauungsgrades für die bioklimatischen Bedingungen deutlich gemacht. Während in der Variante mit Nachverdichtung durch Modifikation des Blockrandes die positive Wirkung der großen Gärten erhalten bleibt, führte in dem anderen Szenario die Nachverdichtung durch zusätzliche Bebauung in der zweiten/dritten Reihe zu einem Anstieg der Wärmebelastung. Es zeigte sich, dass der Versiegelungsanteil eines Areals einen stärkeren Einfluss auf die Wärmebelastung einer Siedlungsfläche hat als die Bebauungshöhe. Aufgrund des vergleichsweise höheren Anteils an unversiegelter Fläche und Schatten spendender Vegetation wird auch Variante B mit niedriger GRZ und damit geringerer Flächeninanspruchnahme tendenziell günstigere bioklimatische Bedingungen aufweisen als Variante A.

7 Zukunftsszenario Flächennutzungsplan 2020

In Ergänzung zur Aktualisierung der Klimaanalyse für das Gebiet der Stadt Norderstedt wird auch ein Bebauungsszenario „Zukunft“ auf seine klimaökologischen Auswirkungen hin untersucht. Grundlage für die Siedlungskulisse ist der Flächennutzungsplan 2020, welcher die zukünftige städtebauliche Entwicklung in Norderstedt steuert. Die Bestandsflächen sowie die zukünftige Bebauung zeigt Abb. 27.

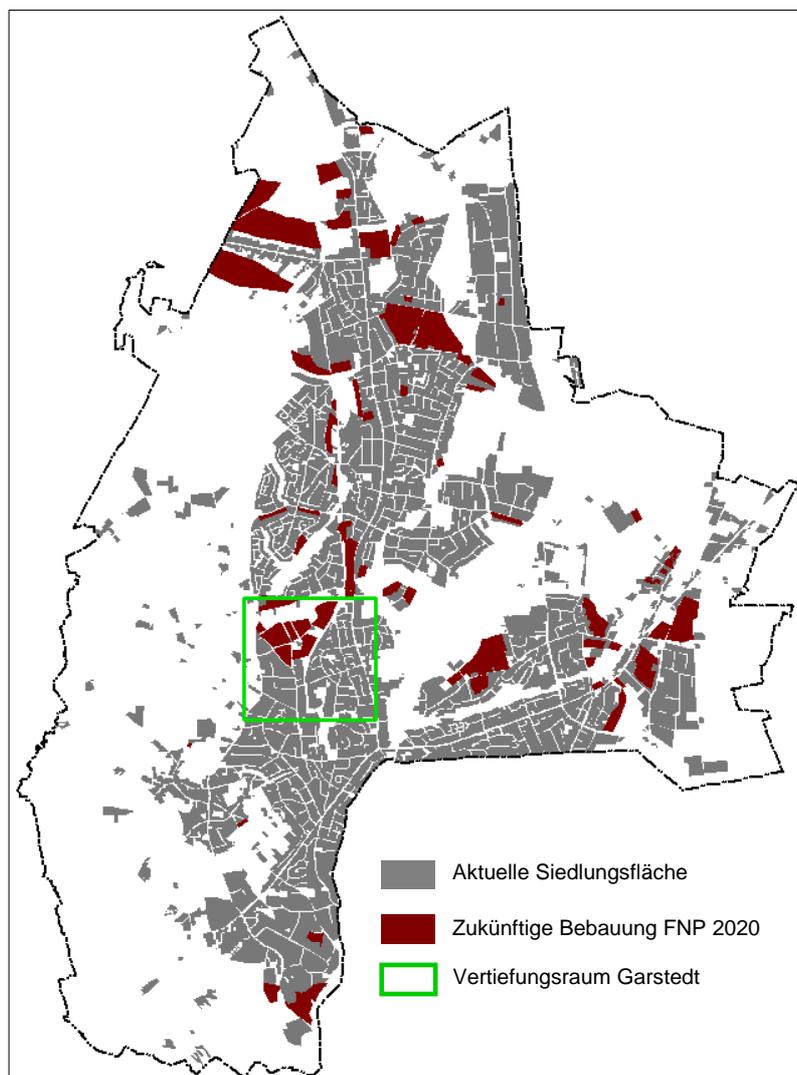


Abb. 27: Flächenkulisse Zukunftsszenario

In dem betrachteten Szenario sollen bis 2020 etwa 138 ha Wohnbaufläche realisiert werden. Darüber hinaus soll auf 15 ha weitere Gewerbefläche entstehen. Zusätzliche Misch- und Sonderbauflächen sind auf jeweils ca. 24 ha vorgesehen. Der Zuwachs an Gemeinbedarfsflächen beträgt 6 ha, während auf etwa 19 ha Kiesabbau erfolgen soll. Die Gesamtfläche summiert sich damit auf etwa 226 ha, wobei die tatsächlich überbaute Fläche aufgrund von Abstandsflächen und in den Baufeldern vorgesehenen Grünbereichen geringer ausfallen wird. Zudem sind auch die bereits jetzt bebauten Flächen mit einbezogen, welche durch eine Ausweisung im FNP in ihrem Bestand gesichert werden sollen.

Im Folgenden werden die Auswirkungen auf den nächtlichen Kaltlufthaushalt am Beispielraum Garstedt beschrieben und in Form von Differenzenabbildungen dargestellt. Daran anschließend wird die Anpassung von Klimafunktions- und Planungshinweiskarte erläutert.

7.1 Auswirkungen auf den Kaltlufthaushalt

Bodennahe Lufttemperatur

Das Temperaturfeld in 2 m Höhe für den Bereich Garstedt ist in Abb. 28 für den Istzustand sowie mit der im Szenario FNP 2020 vorgesehenen Bebauung dargestellt. Dabei handelt es sich um das Wohnquartier „Garstedter Dreieck“ als eines der größten und zentral gelegenen Siedlungsentwicklungsprojekte in Norderstedt. Im gegenwärtigen Zustand sind über den unbebauten Teilflächen Werte zwischen 15°C und 16°C zu beobachten. Im Szenario FNP 2020 zeichnen sich die neuen Quartiere deutlich im Temperaturfeld ab. Die Werte liegen hier in einer Größenordnung von 17°C bis 18°C und gehen lokal auch darüber hinaus. Das Temperaturniveau ist daher mit den angrenzenden Bestandsflächen vergleichbar.

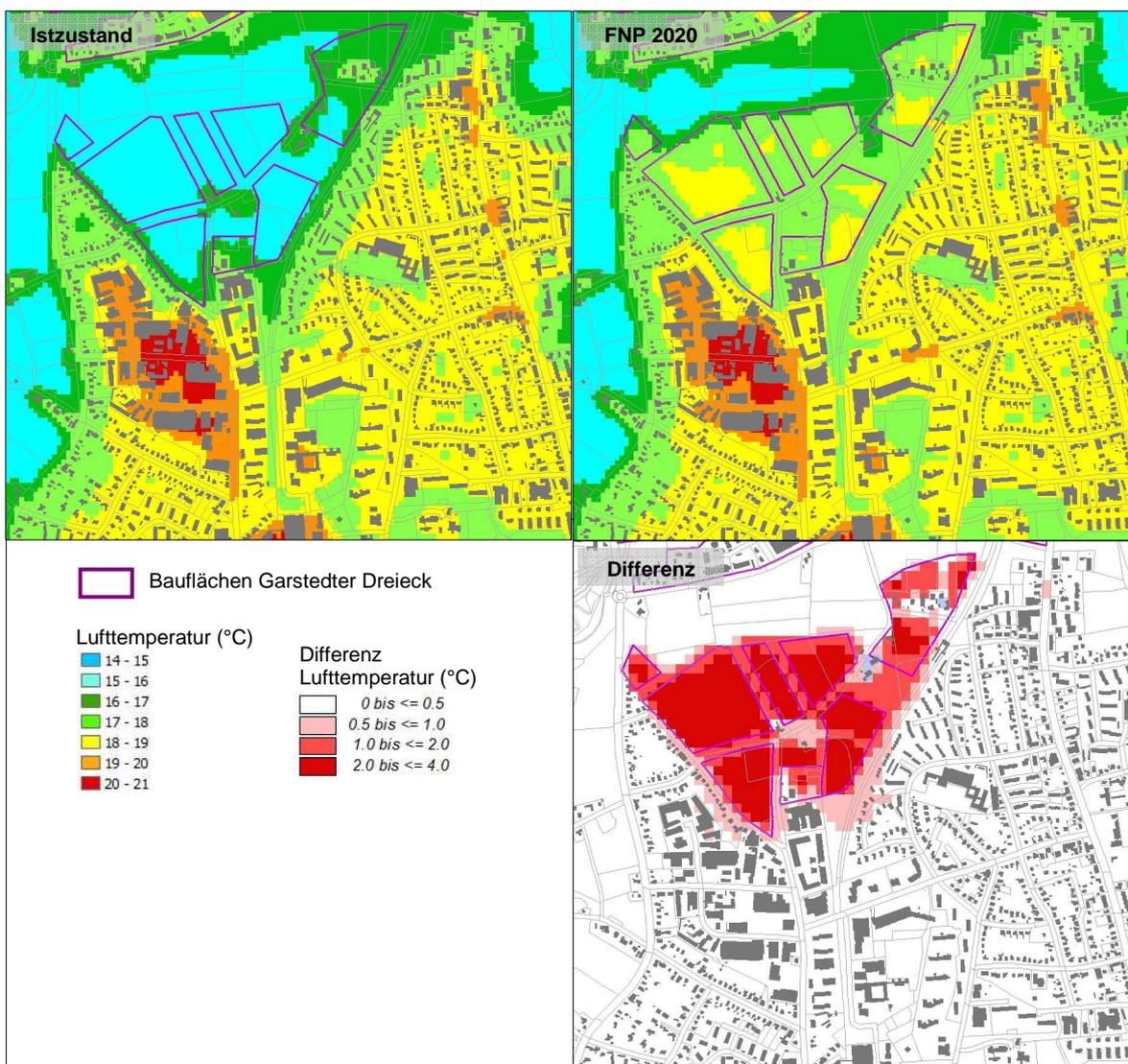


Abb. 28: Veränderung der Lufttemperatur im Bereich Garstedt

Die Abweichungen zwischen dem Szenario 2020 und dem Istzustand sind in Abb. 28 als Absolutwerte dargestellt. Dabei werden die beschriebenen Nutzungsänderungen als Zunahmen (rote Farbe) sichtbar. Sehr deutlich wird die geplante Bebauung in der Differenzenabbildung sichtbar. Die Zunahmen der Lufttemperatur können hier bis zu 4 °C betragen, da im Szenario 2020 die Gebäude und versiegelte Flächen die am Tage aufgenommene Wärme wieder an die Luft abgeben.

Es zeigt sich aber auch, dass der Einfluss der Nutzungsänderungen auf die Lufttemperatur rasch abklingt und im Wesentlichen auf die Bauflächen begrenzt bleibt. Die Temperatursituation im bodennahen Bereich des Bestands bleibt unverändert.

Autochthones Windfeld

Das nächtliche Strömungsfeld für den Istzustand und das Szenario 2020 zeigt Abb. 29. Gegenwärtig erfolgt ein flächenhafter Luftaustausch über die Baufelder hinweg in Richtung Süden. Über der Gleisanlage bzw. der Copernicusstraße wird die Kaltluftströmung durch die Randbebauung kanalisiert, woraufhin die Strömungsgeschwindigkeit auf bis zu 0,5 m/ ansteigt (Dunkelblau).

Im Szenario FNP 2020 sind deutliche Auswirkungen gegenüber dem Istzustand zu beobachten. Hier stellen die geplanten Quartiere mit ihren Baukörpern einerseits Hindernisse für den Luftaustausch dar, wobei die Strömungsgeschwindigkeit in den Bauarealen selbst auf weniger als 0,1 m/s absinken kann. Andererseits erfolgt noch eine Durchlüftung des südlich angrenzenden Bestands über die zwischen den Baufeldern vorhandenen Abstandsflächen.

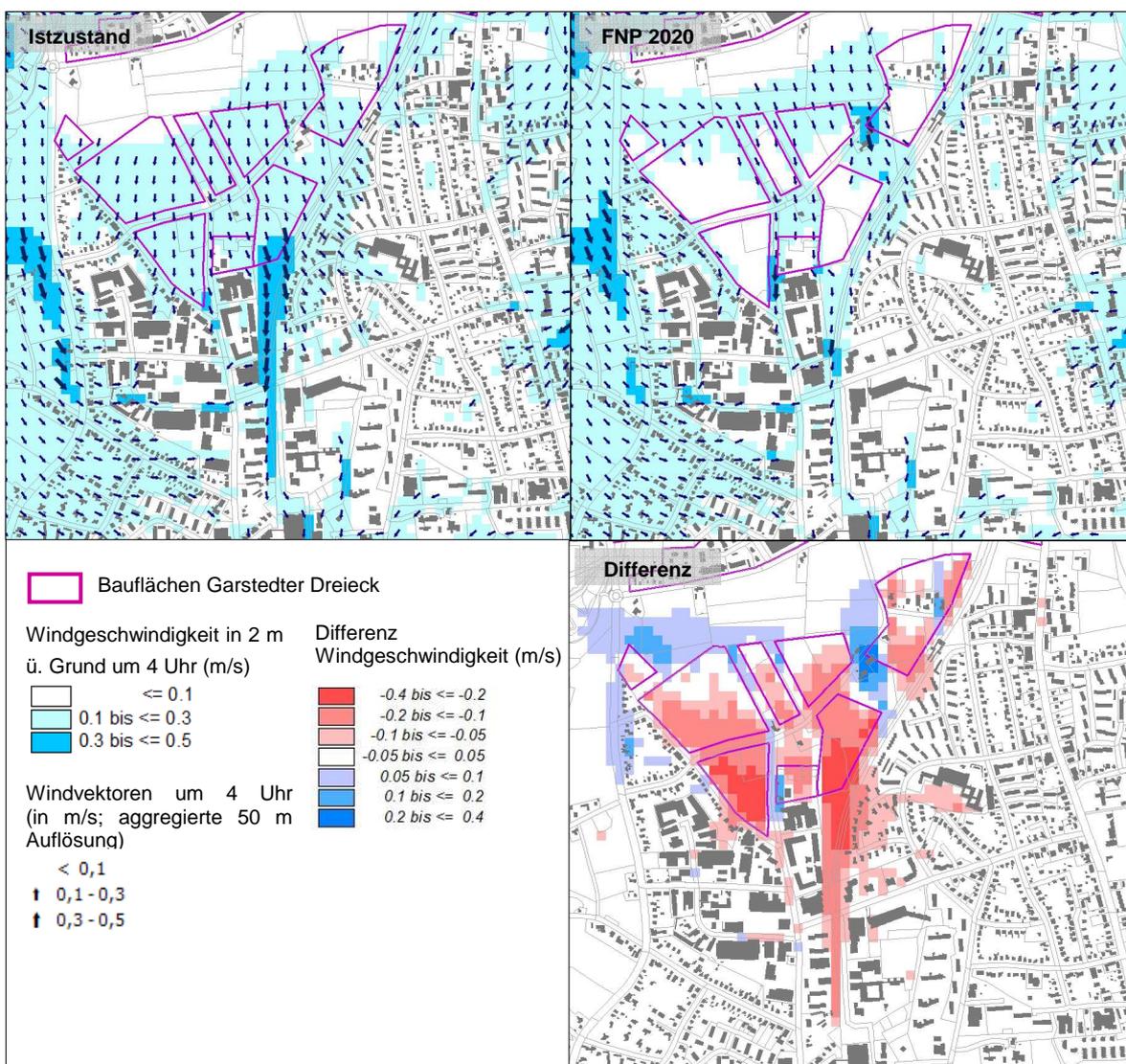


Abb. 29: Veränderung der Windgeschwindigkeit im Bereich Garstedt

Die Differenzkarten machen die angesprochene lokale Beeinflussung des Kaltluftströmungsfeldes sichtbar (Abb. 29). Im Szenario 2020 führt die neue Bebauung zu einer Reduktion der Strömungsgeschwindigkeit von bis zu 0,4 m/s (rote Farbe) in den geplanten Baufeldern sowie darüber hinaus. Die räumliche Wirkung dieser Abschwächung ist im Bereich der Copernicusstraße mit bis zu 600 m am intensivsten ausgeprägt, wengleich der Kaltluftströmung auch im Planszenario erhalten bleibt. Allerdings ist in den östlich angrenzenden Siedlungsflächen eine herabgesetzte Windgeschwindigkeit im bodennahen Bereich zu verzeichnen.

Kaltluftvolumenstrom

Die Situation für den Kaltluftvolumenstrom ist in Abb. 30 dargestellt. Mit Umsetzung des FNP 2020 lassen sich auch hier die für das eigenbürtige Windfeld beschriebenen Veränderungen erkennen, die durch die zusätzlichen Baufelder als Strömungshindernisse ausgelöst werden. Gleichzeitig liegt innerhalb der Abstandsflächen ein hoher Kaltluftvolumenstrom vor. Die Differenzdarstellung zeigt eine Zunahme des Kaltluftvolumenstroms zwischen den einzelnen Baufeldern. Damit wird deren wichtige Funktion für die Durchlüftung im Bestand sichtbar. Insgesamt gesehen wird der Kaltluftvolumenstrom aber weniger stark beeinträchtigt als das bodennahe Strömungsfeld.

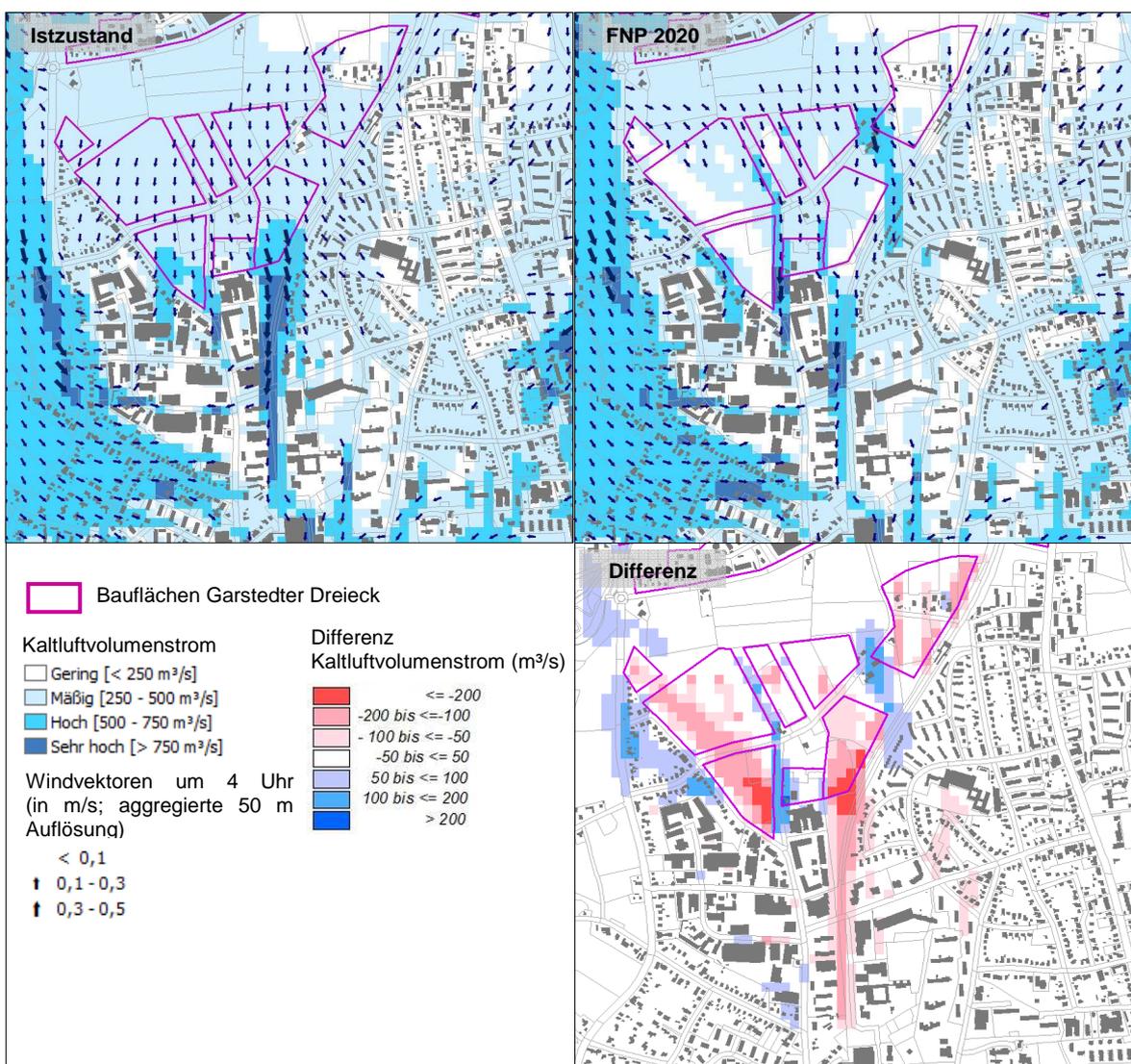


Abb. 30: Veränderung des Kaltluftvolumenstroms im Bereich Garstedt

7.2 Klimafunktionskarte

Für die Erstellung von Klimafunktions- und Planungshinweiskarte wurde die Flächenkulisse der Bebauung ergänzt und der Grünflächenbestand entsprechend überarbeitet. Im Anschluss erfolgte eine erneute Bewertung der bioklimatischen Situation in den Siedlungsräumen sowie des Kaltluftvolumenstroms innerhalb der Grünflächen. Für die Erstellung der Planungshinweiskarte sind in einem weiteren Schritt die Grünflächen hinsichtlich ihrer stadtklimatischen Bedeutung eingeordnet worden.

In Abb. 31 ist die Klimafunktionskarte von Ist- und Planzustand gegenübergestellt. Gegenwärtig liegt über den Baufeldern ein flächenhaft mäßiger Kaltluftvolumenstrom vor. Die bioklimatische Situation im näheren Umfeld kann aufgrund der Randlage und der guten Durchlüftung als günstig bis sehr günstig eingeordnet werden. Erst im Gewerbegebiet Stettiner Straße treten weniger günstige bis ungünstige Bedingungen auf. Darüber hinaus ist vereinzelt entlang der Ulzburger Straße sowie südlich der Marommer Straße ein weniger günstiges Bioklima anzutreffen.

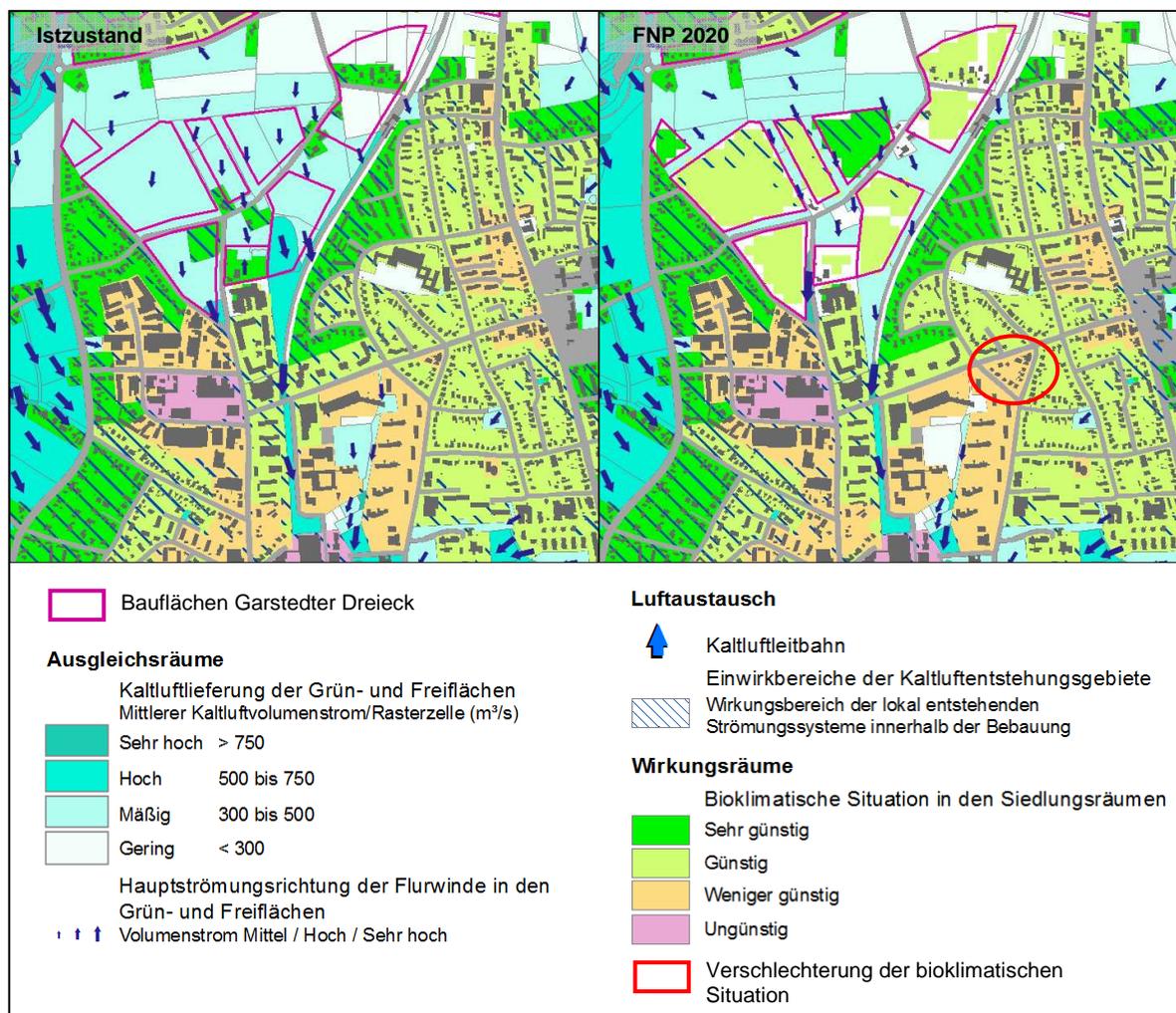


Abb. 31: Klimafunktionskarte im Bereich Garstedt

Im Szenario FNP 2020 liegt in der zukünftigen Bebauung selbst ein günstiges bis sehr günstiges Bioklima vor. Die Situation in den unmittelbar angrenzenden Bestandsflächen bleibt unverändert. Im dargestellten Ausschnitt verschlechtert sich lediglich lokal im Bereich Lütjenmoor/Marommer Straße die Situation aufgrund der herabgesetzten Durchlüftung (s. Abb. 31).

Die Flächenkulisse von Istzustand, dem Szenario 2020 sowie die mit den Flächennutzungsänderungen einher gehenden Auswirkungen auf die bioklimatische Situation sind in Abb. 32 dargestellt. Es zeigt sich, dass ein Anstieg der Wärmebelastung in der Nacht während sommerlicher Hitzeperioden lediglich kleinräumig zu erwarten ist. Über das Beispiel Garstedt hinaus ist dies noch in Harksheide sowie Glashütte der Fall.

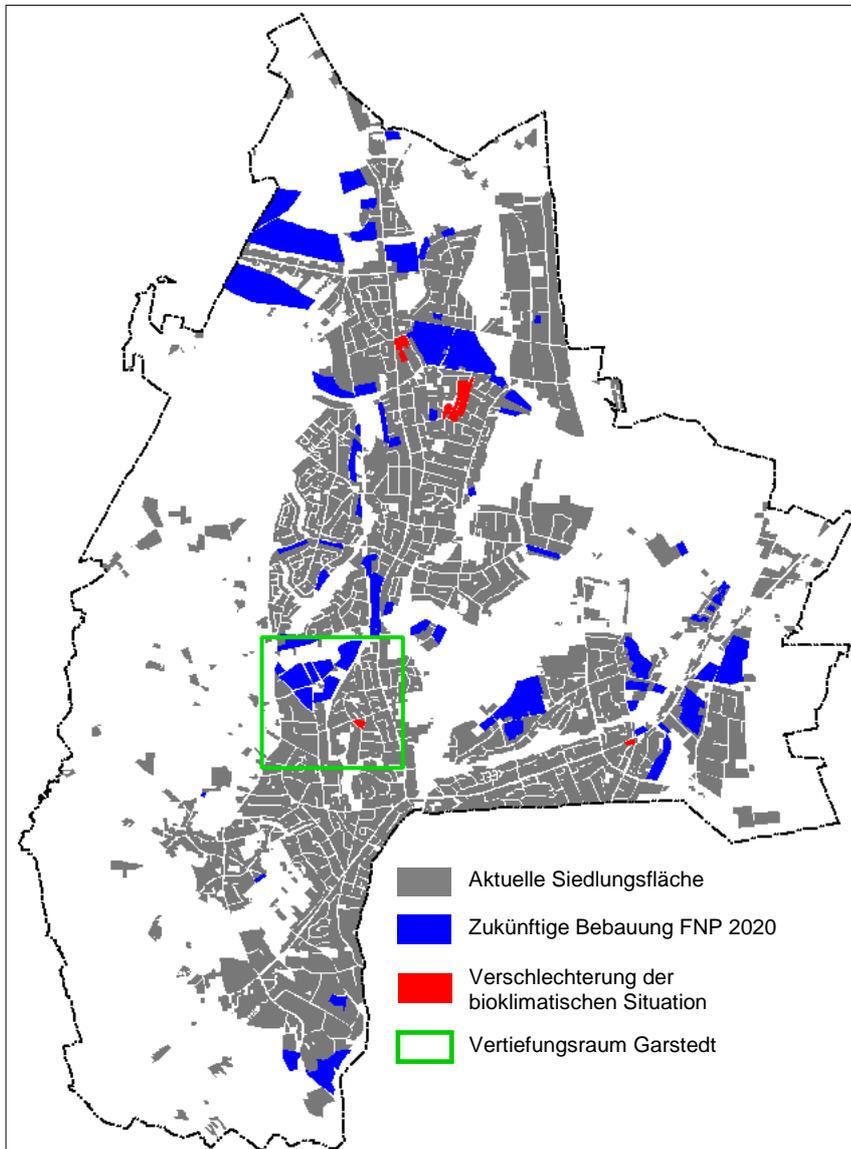


Abb. 32: Flächenkulisse Zukunftsszenario

Insgesamt gesehen sind die mit den im Flächennutzungsplan 2020 vorgesehenen Nutzungsänderungen einhergehenden klimaökologischen Effekte als gering einzuschätzen. Neben der klimatisch günstigen Ausgangssituation für eine Erweiterung der Siedlungsfläche ist auch die Lage der jeweiligen Planflächen selbst als wenig problematisch für die Funktion der Kaltluftleitbahnen einzuordnen. Wie das Beispiel Garstedt zeigt, übt die Gestaltung zukünftiger Bauflächen allerdings einen großen Einfluss auf die Situation im Bestand aus. Die Durchlüftungsdefizite für den Bestand sind umso geringer, je besser ein Bauareal über Abstandsflächen von Kaltluft durchströmt wird. Dies kann durch eine an den Luftaustausch angepasste Baukörperstellung ergänzt werden.

7.3 Planungshinweiskarte Stadtklima

Die im Beispielraum Garstedt für eine Überbauung vorgesehenen Grünflächen weisen im Istzustand ein breites Spektrum an klimatischer Bedeutung auf (Abb. 33). Während ein Teil der Flächen einen lediglich geringen Einfluss auf Siedlungsräume ausübt, steigt mit zunehmender Nähe zum Bestand auch deren Relevanz an. Dabei kommt den Grünflächen im sich nach Süden hin verengenden Freiraum eine sehr hohe Bedeutung zu, welche sich aus der weniger günstigen bzw. ungünstigen Situation im Gewerbegebiet Stettiner Straße ergibt. Die östlichen, entlang des Gleiskörpers lokalisierten Grünflächen haben dagegen einen Bezug zu bioklimatisch belasteten Wohngebieten und sind mit einer Schraffur entsprechend gekennzeichnet.

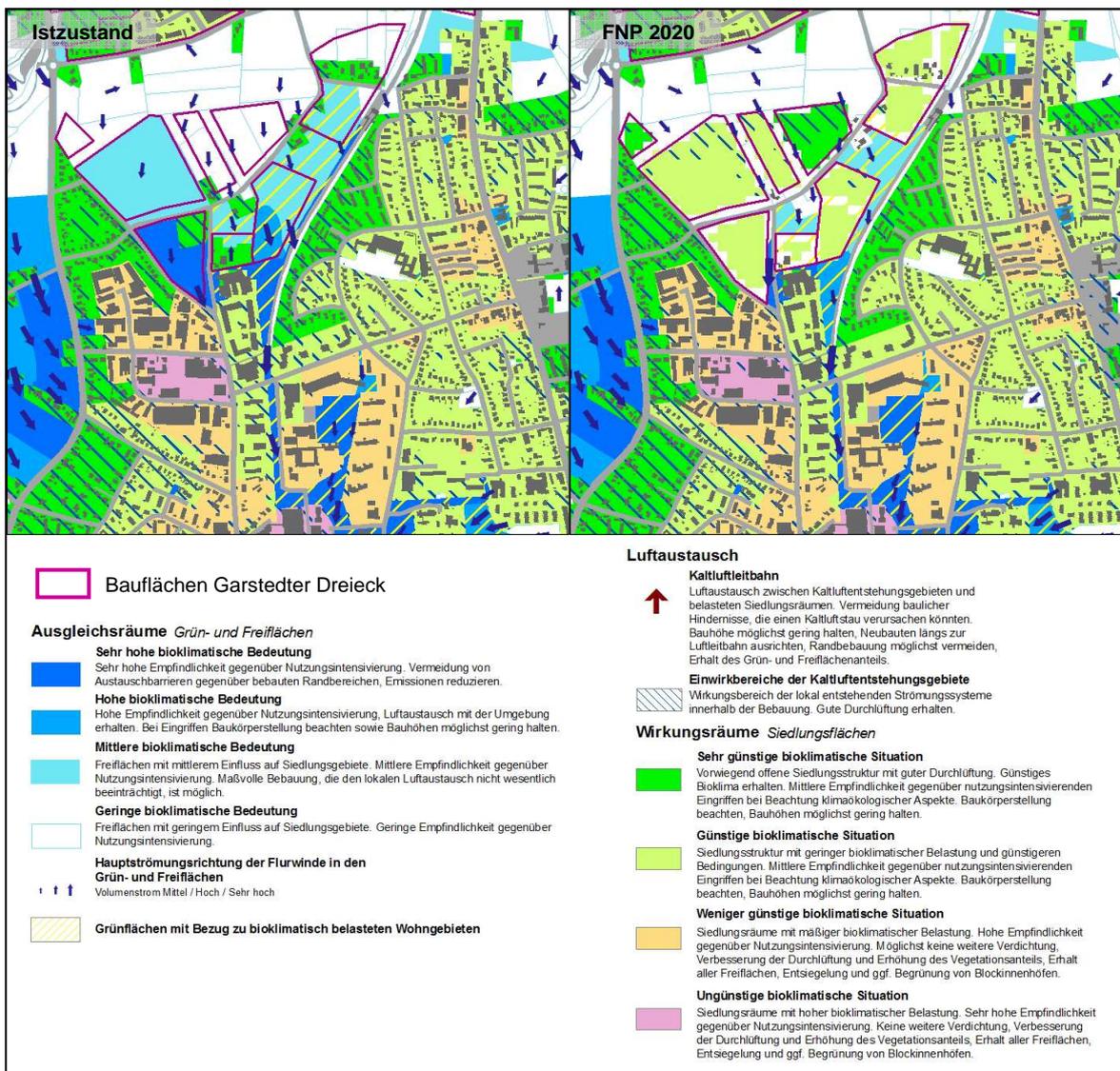


Abb. 33: Planungshinweiskarte im Bereich Garstedt

Im Szenario FNP 2020 werden die westlich gelegenen Grünflächen im Bereich Kohfurth/Buschweg komplett von den Baufeldern eingenommen und entfallen somit in der Kartendarstellung. Im Gegensatz dazu bleiben im östlichen Teil des „Garstedter Dreiecks“ weiterhin Grünflächen erhalten. Aufgrund deren Bedeutung für die Durchlüftung der bioklimatisch belasteten Wohngebiete entlang der Copernicusstraße bleibt im Szenario 2020 die planerische Einordnung trotz reduzierter Flächengröße unverändert.

8 Fazit

Die vorliegende Untersuchung hat die klimaökologischen Funktionszusammenhänge im Stadtgebiet Norderstedt während austauscharmer, sommerlicher Hochdruckwetterlagen dargelegt. Durch die Zufuhr von frischer und kühlerer Luft können klimaökologische Ausgleichsleistungen für die Belastungsräume erbracht werden. In diesem Rahmen sind bioklimatisch belastete Siedlungsräume einerseits sowie entlastende, Kaltluft produzierende Flächen andererseits ausgewiesen worden. Insgesamt gesehen ist das klimatische Ausgleichspotenzial der umgebenden Freiflächen als hoch anzusehen. Jedoch weisen Teilräume des Untersuchungsgebietes ein erhöhtes bioklimatisch-lufthygienisches Belastungspotenzial in der Nacht auf (Abb. 34). Eine Flächenbilanzierung der vorliegenden Belastungsklassen ergibt:

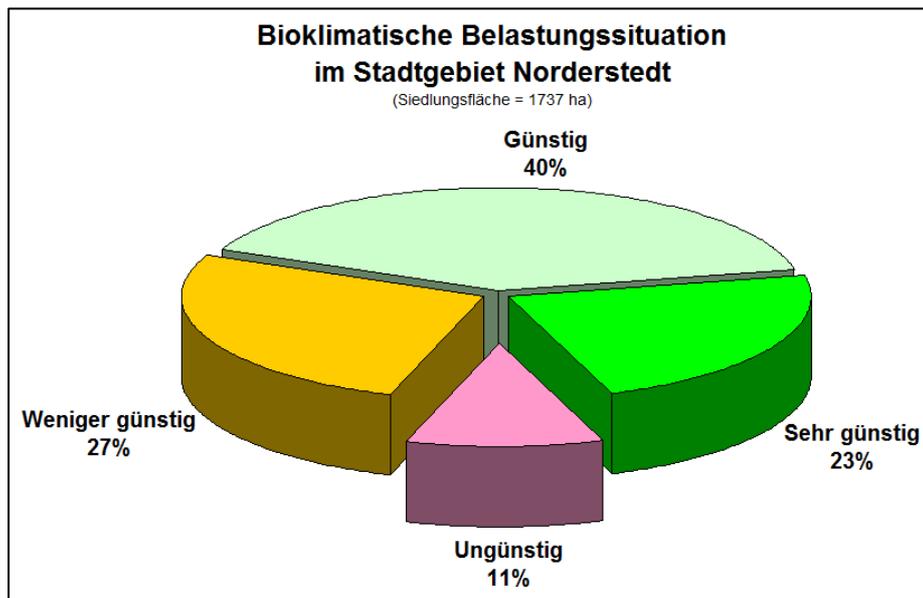


Abb. 34: Flächenanteile der bioklimatischen Belastung (Nachtsituation)

- 11 % der Siedlungsfläche weisen, bezogen auf die Verhältnisse in der Stadt Norderstedt, eine hohe bioklimatische Belastung auf und sind als ungünstig einzuordnen
- 27 % sind als bioklimatisch weniger günstig anzusehen
- 40 % weisen günstige Bedingungen auf und haben damit eine geringe Belastung
- 23 % des Siedlungsraumes sind unbelastet und als bioklimatisch sehr günstig anzusehen

Des Weiteren befinden sich 31,4 % der Siedlungsfläche bis 04:00 Uhr morgens im Einwirkungsbereich von Flurwinden und lokalen Kaltluftabflüssen. Aufgrund der Tatsache, dass die Stadtstruktur vor allem durch eine gering verdichtete Wohnbebauung geprägt ist und sich die wenigen ungünstigen Bereiche auf die Stadtteilzentren und Gewerbegebiete begrenzen, ist die bioklimatische Situation insgesamt günstiger einzustufen als in Großstädten wie z.B. Hamburg. Auch vor dem Hintergrund des sich abzeichnenden Klimawandels ist eine klimagerechte Stadtentwicklung auch für eine küstennahe Stadt wie Norderstedt relevant. Als klimaökologisches Qualitätsziel ergibt sich die Sicherung, Entwicklung und Wiederherstellung wichtiger Oberflächenstrukturen zur Verbesserung bzw. Erhaltung bioklimatisch günstiger Verhältnisse sowie der Luftqualität. Durch die Kenntnis der wichtigen, das klimaökologische Prozessgeschehen steuernden Strukturelemente wie Kaltluftentstehungsflächen, Luftleitbahnen und Komforträumen sowie ihrer qualitativen Einordnung steht mit der vorliegenden Untersuchung eine wichtige Grundlage zur Umsetzung dieser Ziele bereit.

Um die gemachten Aussagen zur bioklimatischen Situation in Norderstedt besser einordnen zu können, sind in Abb. 35 am Beispiel des Parameters „Tage mit Wärmebelastung“ die Werte für Hamburg, Hannover und Karlsruhe vergleichend für verschiedene Stadtstrukturen dargestellt. Dabei handelt es sich um die Ergebnisse verschiedener Untersuchungen, bei denen mit dem Modell FITNAH unter Berücksichtigung regionaler Klimawandelszenarien der Einfluss unterschiedlicher Stadtstrukturen auf die sommerliche Wärmebelastung bis zum Ende des Jahrhunderts beurteilt wurde (BBSR 2012; GEO-NET 2012; GEO-NET 2011). Es zeigt sich, dass die relative Werteverteilung innerhalb der Nutzungsstrukturen zwischen den Städten vergleichbar ist, sie sich aber deutlich in ihrem Wertenniveau unterscheidet.

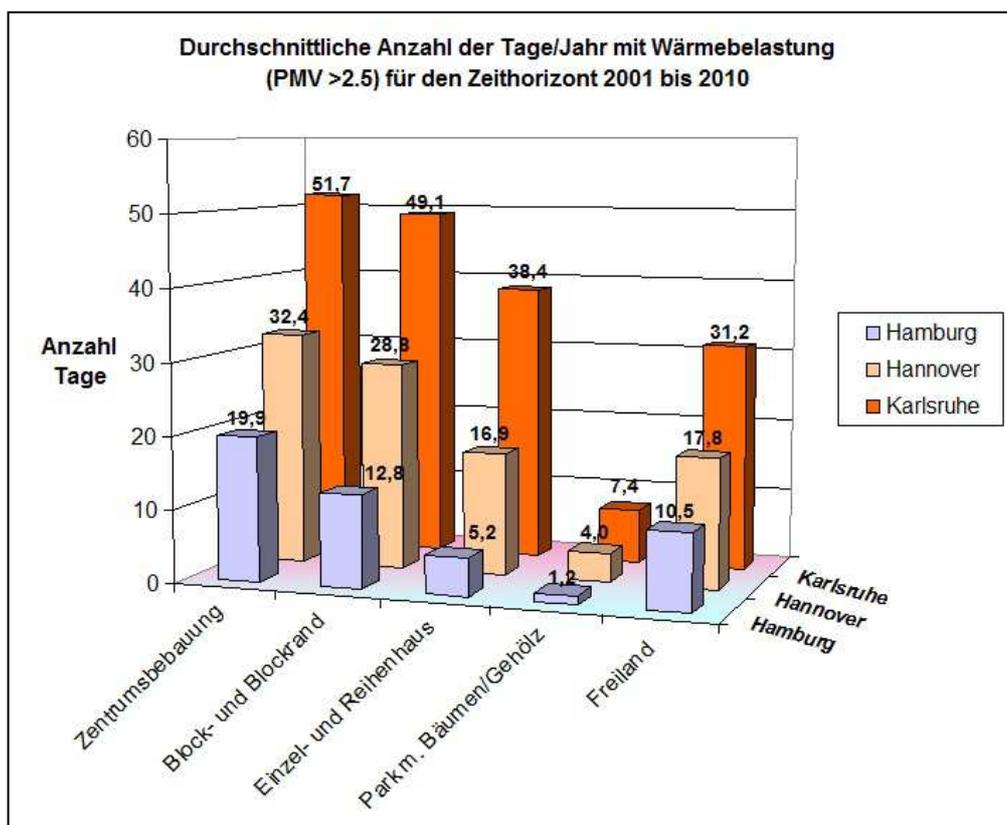


Abb. 35 Ausprägung der sommerlichen Wärmebelastung (tagsüber) in verschiedenen Städten

Die Gegenüberstellung in Abb. 28 macht deutlich, dass aufgrund der räumlichen Lage der Region Hamburg und den damit einhergehenden maritimen Wettereinflüssen auch das Belastungsniveau geringer ist. Während in der Hamburger Neustadt mit einer ausgeprägten Zentrumsbebauung derzeit bis zu 20 Tage/Jahr mit Wärmebelastung zu beobachten sind, liegen sie in der Innenstadt von Hannover bei etwa 34 Tage/Jahr.

Deutlich höher ist die Anzahl der Belastungstage in Karlsruhe, wo sich die Werte im Vergleich zu Hamburg durch die Lage im Rheintal, dem häufigen Auftreten austauscharmer Wetterlagen sowie einem insgesamt höheren Temperaturniveau mehr als verdoppeln. In allen drei Städten weisen andererseits die weniger stark überbauten Flächentypen wie Einzel- und Reihenhäuser relativ günstige bioklimatische Bedingungen auf. Da bis zum Ende des Jahrhunderts von einem weiteren Anstieg der sommerlichen Wärmebelastung auszugehen ist, wird vor dem Hintergrund des sich abzeichnenden Klimawandels eine klimagerechte Stadtentwicklung auch für küstennahe Regionen relevant.

Eine heterogene Ausprägung der sommerlichen Wärmebelastung lässt sich darüber hinaus auch innerhalb von Schleswig-Holstein feststellen, welche anhand der Stationen HH-Fuhlsbüttel, Quickborn, Kiel und Schleswig beschrieben werden sollen. Eine Auswertung für die Sommermonate der Jahre 1990 bis 2010 zeigt, dass die Anzahl der Sommertage mit Maximaltemperaturen von mehr als 25°C an den Station

Fuhlsbüttel und Quickborn am höchsten ist (Abb. 36). An den Standorten Kiel und Schleswig dämpfen hingegen die nahe Ostsee bzw. die Schlei die Anzahl der Sommertage. Die Spannweite der Anzahl von heißen Tagen mit Temperaturen von mehr als 30°C ist an den betrachteten Stationen ebenfalls hoch. Während heiße Tage an den Stationen Kiel und Schleswig selten mehr als 4 Mal pro Jahr vorkommen, können diese in HH-Fuhlsbüttel und Quickborn wesentlich häufiger auftreten (Abb. 30).

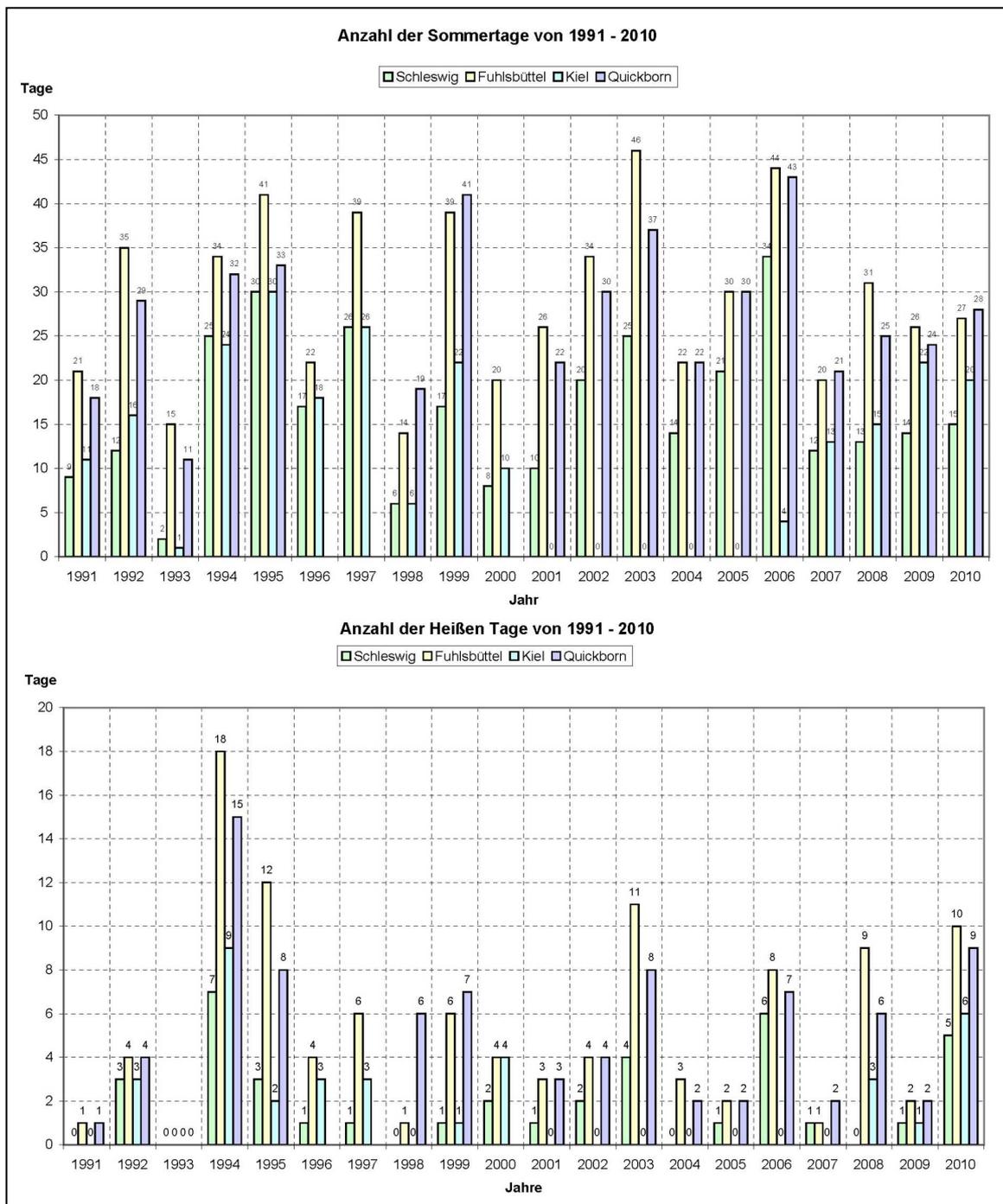


Abb. 36 Sommertage und Hitzetage an den Stationen HH-Fuhlsbüttel, Quickborn, Kiel und Schleswig

Im betrachteten Messzeitraum tritt das Jahr 1994 mit besonders hohen Werten hervor und macht das Temperaturgefälle in der Region deutlich. Während an den Stationen Fuhlsbüttel und Quickborn 18 bzw. 15 Hitzetage gemessen wurden, wurden in Kiel und Schleswig lediglich 9 bzw. 7 verzeichnet. Damit zeigt sich, dass der Aspekt Überwärmung im Großraum Hamburg und damit auch im Stadtgebiet Norderstedt relevant ist.

9 Literatur

- BBSR - Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (2012): Modellvorhaben des experimentellen Wohnungs- und Städtebaus (ExWoSt). Modellprojekt „Innenentwicklung versus Klimakomfort im Nachbarschaftsverband Karlsruhe (NVK)“. Endbericht 2012
- GEO-NET (2012): Stadtklimatische Bestandsaufnahme und Bewertung für das Landschaftsprogramm Hamburg. Klimaanalyse und Klimawandelszenario 2050.
- GEO-NET (2012): Modellierung von Kenngrößen zum Klimawandel für das Stadtgebiet von Hannover.
- 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.
- EUROPEAN COMMISSION (1994): EUR 12585 - CORINE Landcover project - Technical guide. Office for official publications of the European Communities. Luxembourg.
- KIESE, O. et al. (1992): Stadtklima Münster. Entwicklung und Begründung eines klimarelevanten Planungskonzeptes für das Stadtgebiet von Münster. Stadt Münster - Werkstattberichte zum Umweltschutz 1/1992
- MOSIMANN, Th., P. TRUTE & Th. FREY (1999): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, Heft 4/99, S. 202-275.
- NATIONAL GEOSPATIAL INTELLIGENCE AGENCY (2004): Digital Terrain Elevation Data.
- RÖCKLE, R. und C.-J. RICHTER (1995): Ermittlung des Strömungs- und Konzentrationsfeldes im Nahfeld typischer Gebäudekonfigurationen - Modellrechnungen. PEF-Bericht 136, Forschungszentrum Karlsruhe.
- RODI, W. (1980): Turbulence models and their application in hydraulics. IAHR Section on Fundamentals of Division II: Experimental and mathematical fluid dynamics, Delft.
- SCHÄDLER, G. et al. (1996): Vergleich und Bewertung derzeit verfügbarer mikroskaliger Strömungs- und Ausbreitungsmodelle. PEF Bericht 138, Forschungszentrum Karlsruhe.
- SCHERER, D. (2007): Viele kleine Parks verbessern Stadtklima. Mit Stadtplanung Klima optimieren. In: TASPO Report. Die Grüne Stadt. Oktober 2007
- ULRICH, W. (1987): Simulationen von thermisch induzierten Winden und Überströmungssituationen. Wiss. Mitt. Meteor. Inst. Univ. München Nr. 57.
- VDI Verein Deutscher Ingenieure (2008): Richtlinie VDI 3785, Blatt1, Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima, Düsseldorf.
- VDI Verein Deutscher Ingenieure (1997): Richtlinie VDI 3787 Blatt 1. Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Düsseldorf.

10 Glossar

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

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

Austauscharme Wetterlage: → Strahlungswetterlage

Autochthone Wetterlage: → Strahlungswetterlage

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

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

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

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

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

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

Kaltluftvolumenstrom: Unter dem Begriff Kaltluftvolumenstrom versteht man, vereinfacht ausgedrückt, das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite). Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit m³, die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer Leitbahn fließt. Da die Modellergebnisse nicht die Durchströmung eines natürlichen Querschnitts widerspiegeln, sondern den Strömungsdurchgang der gleichbleibenden Rasterzellenbreite, ist der resultierende Parameter streng genommen nicht als Volumenstrom, sondern als rasterbasierte

Volumenstrom-*dichte* aufzufassen. Dies kann man so veranschaulichen, indem man sich ein quer zur Luftströmung hängendes Netz vorstellt, das ausgehend von der Obergrenze der Kaltluftschicht⁴ bis hinab auf die Erdoberfläche reicht. Bestimmt man nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft, erhält man den rasterbasierten Kaltluftvolumenstrom.

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

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

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

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

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

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

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

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

Reichweite: → Eindringtiefe

Strahlungswetterlage: Wetterlage mit schwacher Windströmung und ungehinderten Ein- und Ausstrahlungsbedingungen. Die meteorologische Situation in Bodennähe wird bei dieser Wetterlage vornehmlich durch den Wärme- und Strahlungshaushalt und nur in geringem Maße durch die Luftmasse geprägt. Voraussetzung für ihre Ausbildung sind eine geringe Bewölkung von weniger als 3/8 und eine mittlere Geschwindigkeit des Windes von unter 1,5 m/s.

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

⁴ Die Schichtgrenze wird dort angesetzt, wo die horizontale Fließgeschwindigkeit geringer als 0,1 m·s⁻¹ wird

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

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

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

Wirkungsraum: Bebaute (oder zur Bebauung vorgesehene), bioklimatisch und/oder lufthygienisch belastete Räume (Belastungsraum), die an einen oder mehrere Ausgleichsräume angrenzen oder über wenig raue Strukturen angebunden sind. Durch lokale Luftaustauschprozesse erfolgt eine Zufuhr von Kalt-/Frischlufte aus dem → Ausgleichsraum, die zur Verminderung oder zum Abbau der Belastungen beiträgt.

KARTENANHANG