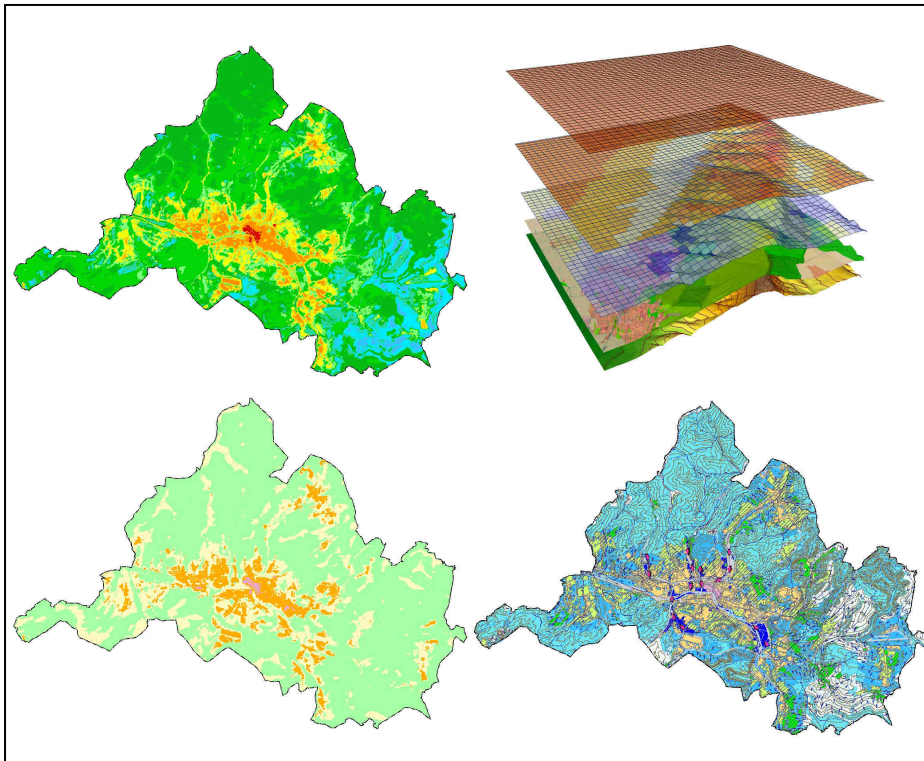


Stadtklimatische Gesamtanalyse der Landeshauptstadt Saarbrücken



Auftraggeber:

Landeshauptstadt Saarbrücken
Amt für Klima- und Umweltschutz
Bahnhofstraße 31
66111 Saarbrücken



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, März 2012

Auftrag: Stadtklimatische Gesamtanalyse der Landeshauptstadt Saarbrücken

Standort: Stadt Saarbrücken
Bundesland: Saarland
Deutschland

Auftraggeber: Landeshauptstadt Saarbrücken
Amt Umwelt- und Klimaschutz
Bahnhofsstraße 31
66111 Saarbrücken

Projektnummer: 2_10_011

Berichtsnummer: 2_10_011_SB_Klima_Rev02

Version: 3

Datum: 19. März 2012

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 von GEO-NET Umweltconsulting GmbH.

Inhaltsverzeichnis

Seite:

Inhaltsverzeichnis..... I

Abbildungsverzeichnis..... II

Tabellenverzeichnis..... III

1 Aufgabenstellung 1

2 Datengrundlage und Aufbau der Geodatenbasis für die Modellrechnungen 3

 2.1 Geländehöhe 3

 2.2 Nutzungsstruktur 4

3 Methodik..... 6

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

 3.2 Modellierung der verkehrsbedingten Luftschadstoffausbreitung 11

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

 3.3.1 Grün- und Freiflächen 12

 3.3.2 Bioklima in den Siedlungsflächen..... 14

4 Ergebnisse der Klimamodellierung 16

 4.1 Kaltlufthaushalt..... 16

 4.1.1 Bodennahes Lufttemperaturfeld 16

 4.1.2 Autochthones Windfeld 19

 4.1.3 Kaltluftvolumenstrom 23

 4.2 Ermittlung der lufthygienischen Belastung durch die Quellgruppe Verkehr 23

 4.2.1 Datengrundlage und Emissionsprognose 24

 4.2.2 Durchschnittliche Immissionsbelastung durch verkehrsbedingte Emissionen im Innenstadtbereich 28

 4.2.3 Immissionsbelastung durch verkehrsbedingte Emissionen während austauscharmer Wetterlagen 30

5 Klimaökologische Funktionen 32

 5.1 Grün- und Freiflächen 32

 5.2 Siedlungsräume 34

5.3	Luftaustausch.....	36
6	Planungshinweiskarte Stadtklima	37
6.1	Grün- und Freiflächen	39
6.2	Siedlungsräume	41
6.3	Luftaustausch.....	42
6.4	Nutzungshinweise für die Bauleitplanung	43
7	Fazit	45
8	Literatur.....	46
9	Glossar.....	47

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Geländehöhe im Untersuchungsraum	3
Abb. 2:	Untersuchungsraum der Klimamodellierung	4
Abb. 3:	Unterschiedliche Rasterweiten (links: 500 m x 500 m; rechts: 100 m x 100 m) 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:	Prinzipskizze Kaltluftleitbahn.....	14
Abb. 9:	Temperaturfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2 m ü. Grund)	18
Abb. 10:	Lage der B-Planfläche sowie Lufttemperatur in 2 m Höhe	19
Abb. 11:	Prinzipskizze Flurwind.....	10
Abb. 12:	Strömungsgeschwindigkeit zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens	21
Abb. 13:	3D-Geländemodell mit Kaltluftabflüssen sowie Strömungsfeld und Windgeschwindigkeit	22
Abb. 14:	Jahresmittelwerte der NO ₂ -Konzentrationen an IMMESA-Messstationen.....	29
Abb. 15:	Immissionsfeld im Innenstadtbereich (Jahresmittelwert).....	30
Abb. 16:	Immissionsfeld im Innenstadtbereich (austauscharme Wetterlage).....	31
Abb. 17:	Klimafunktionen im Bereich St. Johann.....	35
Abb. 18:	Planungshinweise im Bereich St. Johann	38
Abb. 19:	Vereinfachtes Verknüpfungsmodell zur Ermittlung der bioklimatischen Bedeutung der Grünflächen	40
Abb. 20:	Flächenanteile der bioklimatischen Belastung (Nachtsituation)	45

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Nutzungskategorien der Klimamodellierung	5
Tab. 2:	Bewertung der Kaltluftlieferung innerhalb von Grünflächen.....	13
Tab. 3:	Bewertung der Kaltluftlieferung innerhalb der Kaltlufteinzugsgebiete.....	13
Tab. 4:	Klassifizierung der bioklimatischen Belastung der Siedlungsflächen während einer windschwachen Sommernacht	15
Tab. 5:	Verkehrssituationen gemäß HBEFA 3.1 im Untersuchungsgebiet	26
Tab. 6	Qualitative Einordnung der Kaltluftlieferung von Grünflächen im Stadtgebiet Saarbrücken	33
Tab. 6:	Bilanzierung der planerisch relevanten Grünflächen	41
Tab. 7:	Stadtklimatische Hinweise für Planungsentscheidungen	43

1. Aufgabenstellung

Das Schutzgut Klima/Luft 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 über das in einer Stadt vorherrschende Lokalklima, die dadurch mitbestimmte lufthygienische Situation und den klimatischen Funktionszusammenhängen sind Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen zur Verbesserung von Klima und Luft abzuleiten. 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 Landeshauptstadt Saarbrücken wurde vom Büro GEO-NET Umweltconsulting GmbH in Kooperation mit Prof. Dr. G. Gross (Universität Hannover) im Jahr 2011 eine modellgestützte Analyse zu den klimaökologischen und lufthygienischen Funktionen für das Stadtgebiet Saarbrücken 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 Saarbrücken geführt. Die durchgeführten Untersuchungen haben darüber hinaus zum Ziel, die unterschiedlichen Teilflächen der Stadt Saarbrücken 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 klima- und immissionsökologischen Funktionen (Klimafunktionskarte). Als Grundlage für die Bewertung dienen die modellierten meteorologischen Parameter der Klimaanalyse. Im Hinblick auf die verkehrsbedingten Luftbelastung wurde ein flächendeckendes Immissionsfeld für eine windschwache Wettersituation modelliert. In diesem Zusammenhang findet das Ausbreitungsfeld für die verkehrstypische Komponente Stickstoffdioxid (NO₂) als lufthygienischer Belastungsbereich Eingang in die Klimafunktionskarte.

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

- bioklimatisch und/oder lufthygienisch 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 klima- und immissionsökologische 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 und/oder lufthygienischer Belastung identifiziert.

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

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

2. Datengrundlage und Aufbau der Geodatenbasis für die Modellrechnungen

Bei einer Gesamtgröße des Untersuchungsraums von ca. 391 km² geht die Abgrenzung des Untersuchungsraumes deutlich über das Stadtgebiet Saarbrücken hinaus und zielt darauf ab, auch außerhalb des Stadtgebiets vorhandene Strukturen wie Wald- und Ackerflächen in die Klimamodellierung zu integrieren (vgl. Abb. 12, S. 19). 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 Klimaaanalyse konnte auf ein digitales Geländehöhenmodell der Stadt Saarbrücken mit einer Auflösung von 5 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).

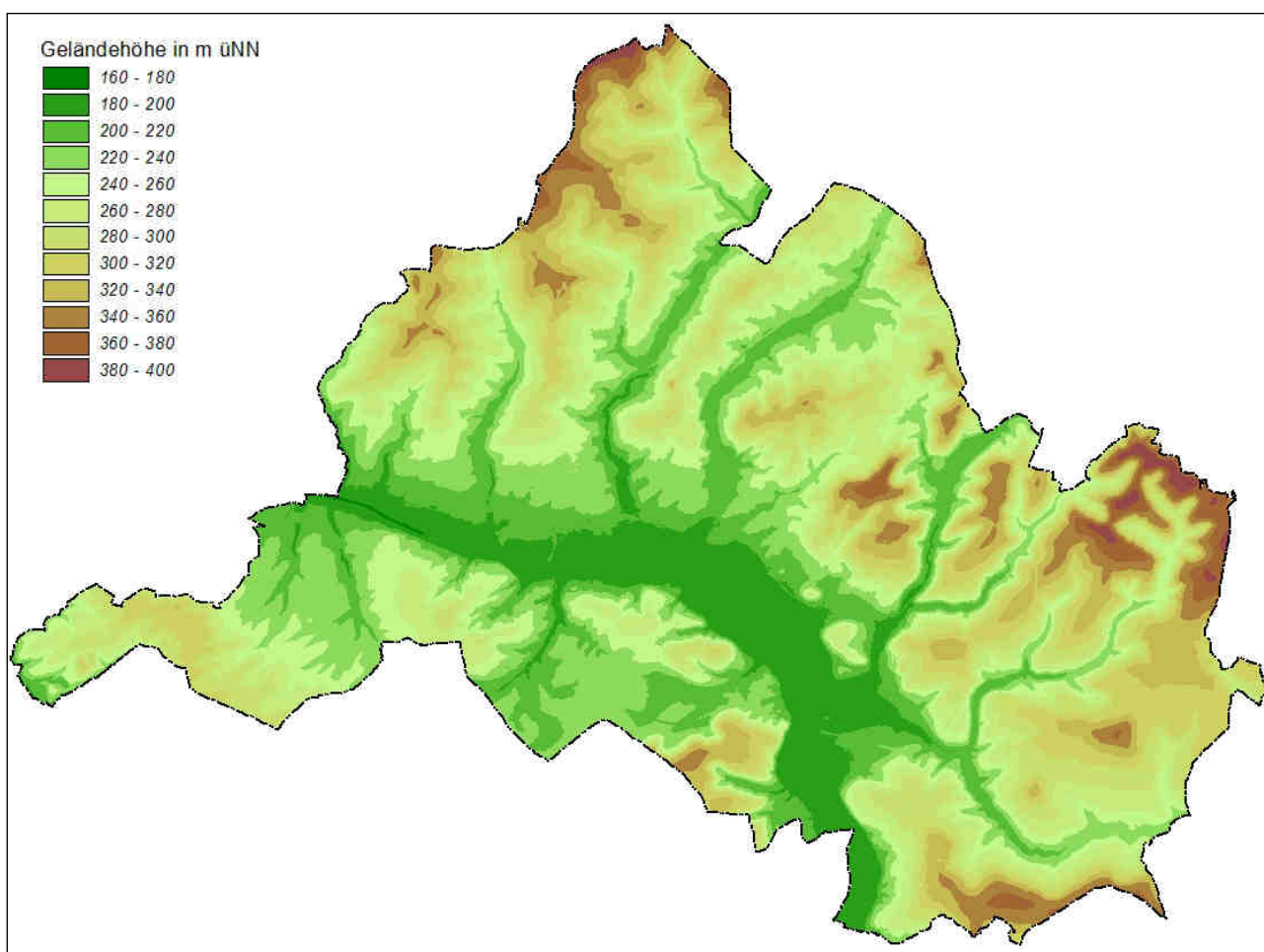


Abb. 1: Geländehöhe im Untersuchungsraum

Die höchste Erhebung im Stadtgebiet Saarbrücken ist mit ca. 400 m ü. NN der Steinkopf nördlich des Flughafens. Die niedrigsten Geländehöhen sind mit weniger als 170 m im Saartal anzutreffen. Somit ergibt sich eine maximale Höhendifferenz von etwa 230 m innerhalb des Untersuchungsraumes.

2.2 Nutzungsstruktur

Für die Aufbereitung der Nutzungsstrukturen wurde das Freiraumentwicklungsprogramm der Stadt Saarbrücken herangezogen und durch Daten aus dem ATKIS ergänzt (STADT Saarbrücken 2010). Im Anschluss wurde eine Überprüfung auf Basis von Luftbildern (Stand 2010) durchgeführt. 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:

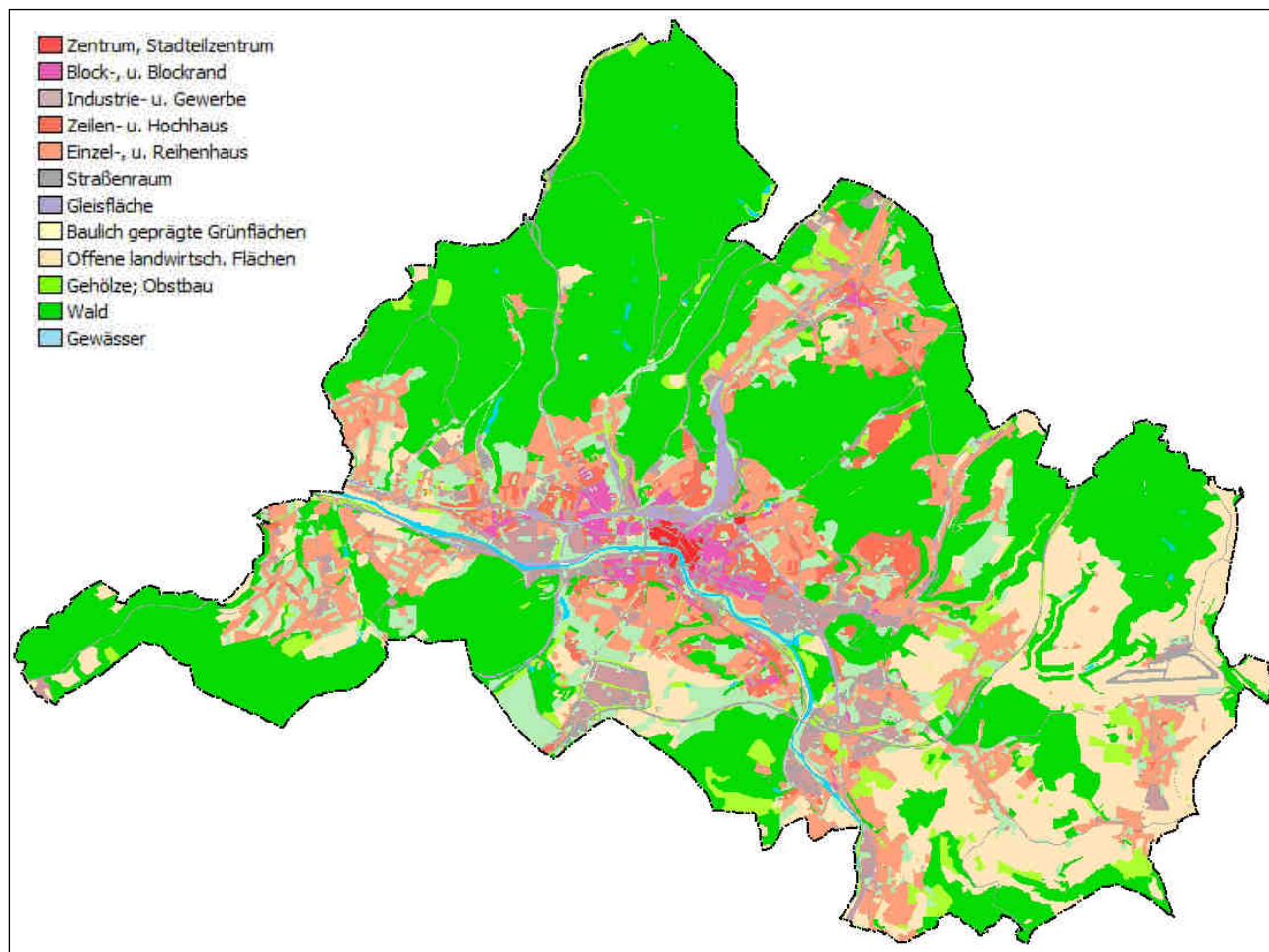


Abb. 2: Untersuchungsraum der Klimamodellierung

Ein wichtiger Modelleingangsparameter stellt darüber hinaus die Höhe der Baustrukturen dar, welche einen wesentlichen Einfluss auf das lokale Windfeld ausüben. Da auf Maßstabsebene der gesamtstädtischen Klimamodellierung keine Einzelgebäude aufgelöst wurden, sind für die Einordnung der Strukturhöhe und des Oberflächenversiegelungsgrades nutzungsklassifizierte vorliegende Literaturdaten (u.a. MOSIMANN et al. 1999) genutzt worden, die auf 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. Die verwendeten Nutzungskategorien zeigt Tab. 1.

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

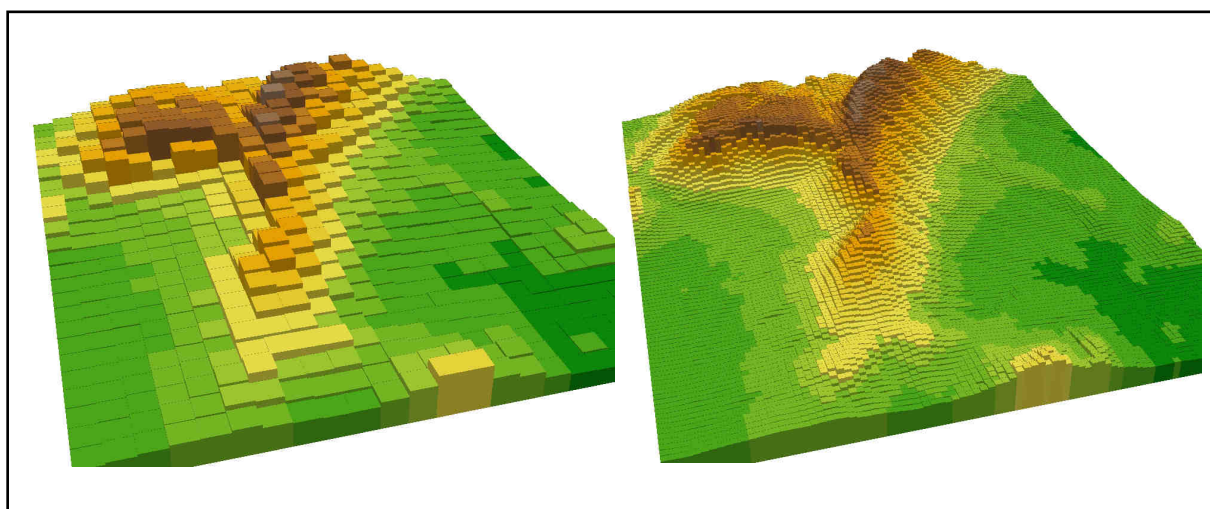


Abb. 3: Unterschiedliche Rasterweiten (links: 500 m x 500 m; rechts: 100 m x 100 m) bei einem digitalem Geländehöhenmodell

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.

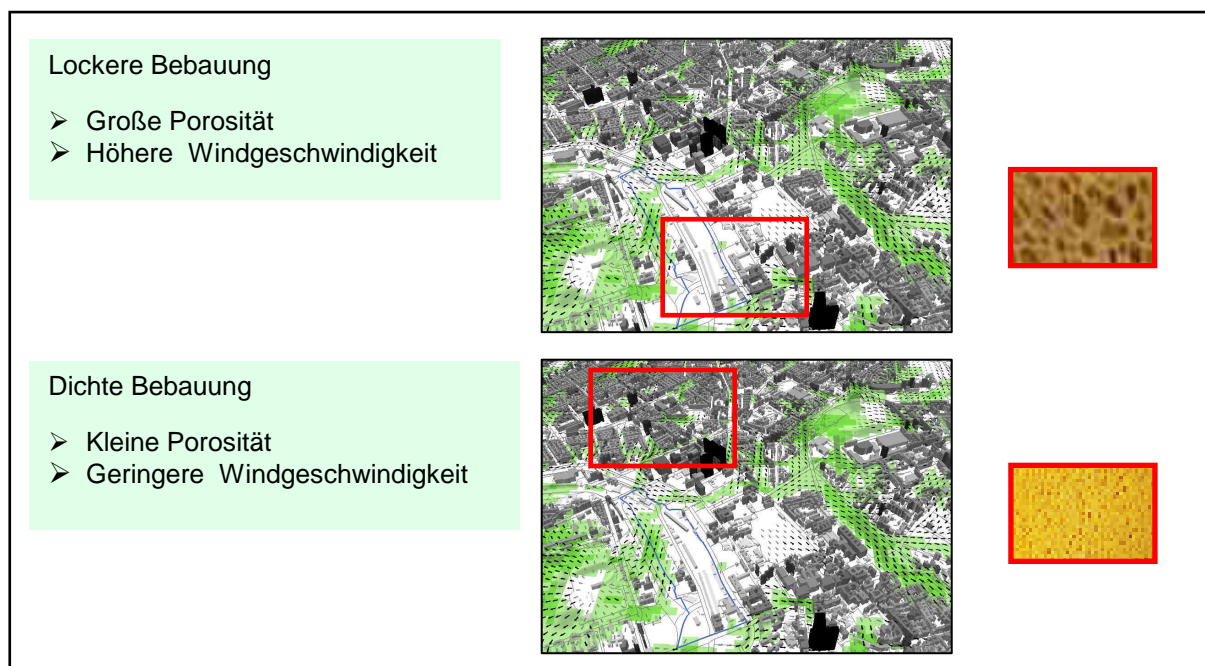


Abb. 4: Einfluss der Bebauungsdichte auf die Strömungsgeschwindigkeit

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).

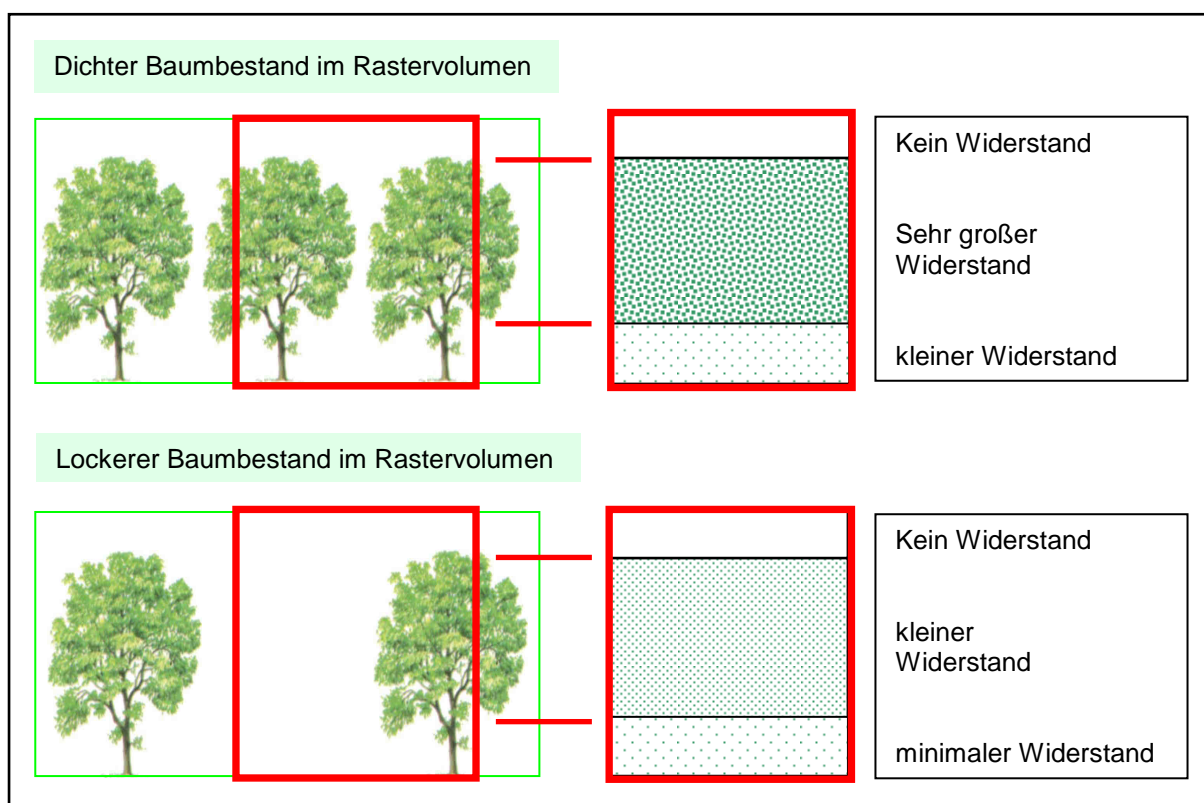


Abb. 5: Einfluss der Vegetation auf die Durchströmbarkeit einer Rasterzelle

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.

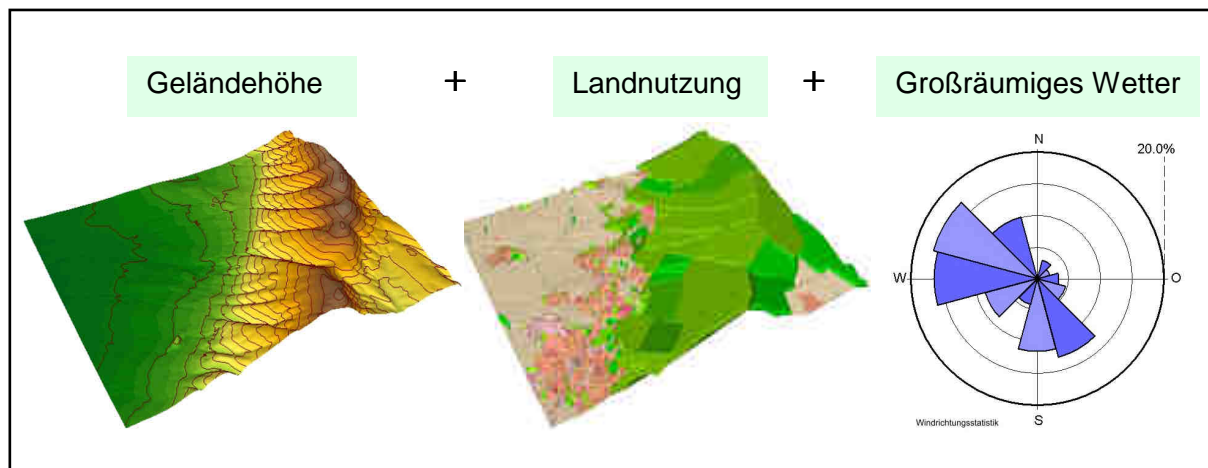


Abb. 6: Eingangsdaten für die Modellrechnung

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,.....
 - Bei Bewuchs: z.B. Bestandshöhe, Bestandsdichte, Blattflächenverteilung,...

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 Saarbrücken typischerweise an ca. 30 % der Nachtstunden in den Sommermonaten Juni, Juli und August auf. Bei den hier durchgeführten numerischen Simulationen wurden die großräumigen Rahmenbedingungen entsprechend festgelegt:

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

Die vergleichsweise geringen Windgeschwindigkeiten bei einer austauscharmen Wetterlage bedingen einen herabgesetzten Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht und tragen zur Anreicherung von Luftschadstoffen bei. Bei gleichzeitiger Wärmebelastung in den Siedlungsflächen können sich lokal bioklimatische und lufthygienische Belastungsräume ausbilden.

Charakteristisch für diese (Hochdruck-) Wetterlage ist die Entstehung eigenbürtiger Kaltluftströmungen (Flurwinde), die durch den Temperaturgradienten zwischen kühlen Freiflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetrieben werden und zu einem Abbau der Belastungen beitragen. Diese Wettersituation stellt damit ein „Worst-Case“-Szenario dar.

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

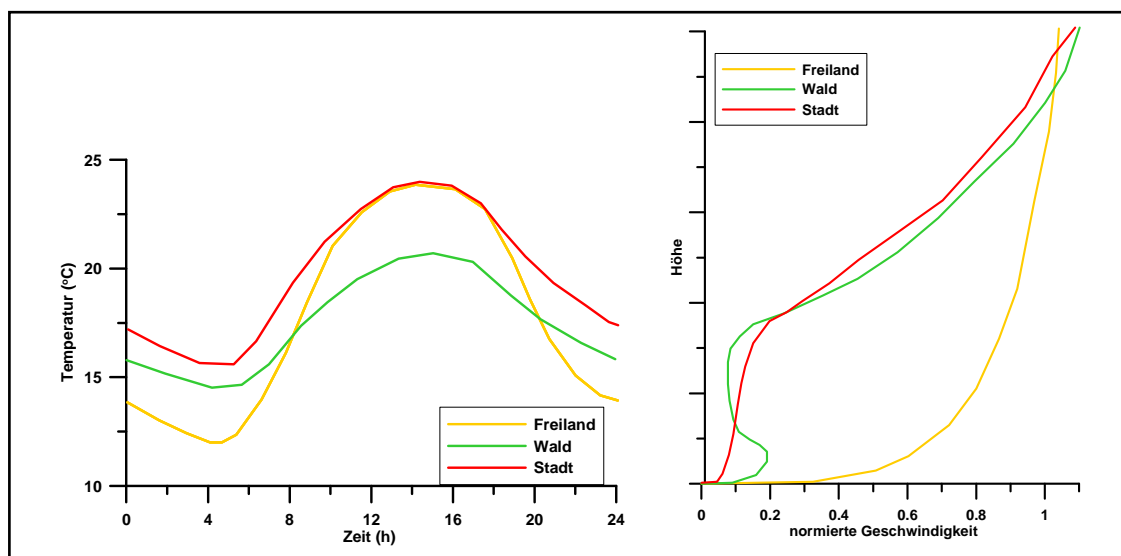


Abb. 7: Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für verschiedene Landnutzungen

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

3.2 Modellierung der verkehrsbedingten Luftschadstoffausbreitung

Zur Abschätzung der Luftschadstoffbelastung an Straßen ist es notwendig, die Kausalbeziehung Emission-Transmission-Immission modellhaft möglichst exakt nachzubilden. Die vorliegende Untersuchung berücksichtigt die Situation während einer austauscharmen Wetterlage mit Verkehrsdaten des Bezugsjahres 2010. Die notwendigen Informationen wurden von Verkehrsplanungsbüro R+T Topp aus Darmstadt erarbeitet und von der Stadt Saarbrücken zur Verfügung gestellt. Nach Berechnung der straßenabschnittsbezogenen Emissionen sind diese in das Geodatenbankumfeld des Verkehrsnetzes überführt und auf ein für das Simulationsmodell FITNAH geeignetes Raster mit einer Zellengröße von 25 m x 25 m abgebildet worden. Somit steht ein GIS-gestütztes Kataster für die Ausbreitungssimulation der verkehrsbürtigen Luftschadstoffe am Beispiel von Stickstoffdioxid (NO₂) bereit. Weitere Erläuterungen zur lufthygienischen Situation werden in Kap. 4.2 (S. 25) gegeben.

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. Das Ausbreitungsfeld für den verkehrsbedingten Luftschadstoff Stickstoffdioxid (NO₂) wurde ebenfalls in dieser Rastergröße berechnet.

Umfasst ein Baublock mehrere Rasterzellen eines Parameters, wird aus den Zelleneinzelwerten ein Mittelwert gebildet. Somit steht für jede Blockfläche (bebaute als auch unbebaute Freiflächen) eine Reihe von Klimaparametern bereit. Darauf basierend werden den Teilflächen Bewertungsindices zugewiesen, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

3.3.1 Grün- und Freiflächen

Während in der Klimafunktionskarte die Grünflächen vor allem hinsichtlich ihres Kaltluftliefervermögens charakterisiert werden, steht in der Planungshinweiskarte deren stadtklimatische Bedeutung sowie die Ableitung der Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen im Mittelpunkt. Daraus ergibt sich eine unterschiedliche Vorgehensweise bei der Bewertung der Grünareale, auf die in Kap. 6.1 (S. 40) 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. 4.1.3, S. 24).

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. 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 S₁-Schranke (Standardabweichung) nach der Z-Transformation abgegrenzt werden. Positive Abweichungen >0 bedeuten überdurchschnittliche Werte, woraus sich die Bewertung in mittel und hoch ergibt. Negative Ausprägungen von <0 bedeuten hingegen ein unterdurchschnittliches Niveau (entsprechend gering und sehr gering). Der Vorteil dieser Vorgehensweise liegt in der Standardisierung eines Klimaparameters und die daraus resultierende Vergleichbarkeit der Variablen untereinander oder mit anderen Untersuchungen.

Die qualitative Einordnung des Kaltluftvolumenstroms zeigt Tabelle 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. 4.1.3, S. 25).

Mittlerer Z-Wert pro Grünfläche	Kaltluftvolumenstrom in m ³ /s	Bewertung
> 1 (obere S ₁ -Schranke)	> 950	Sehr hoch
1 bis 0	950 bis ≥ 550	Hoch
0 bis -1	550 bis ≥ 160	Mäßig
< -1 (untere S ₁ -Schranke)	< 160	Gering

Tab. 2: Bewertung der Kaltluftlieferung innerhalb von Grünflächen

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

Ergänzend sind noch die *Kaltlufteinzugsgebiete* dargestellt worden. Sie sind das Ergebnis einer Reliefanalyse, bei der eine Berechnung der Abflussbahnen mit ihren Abflussrichtungen durchgeführt wurde (KING 1973). Als Abflussbahnen können vor allem Tiefenlinien wie z.B. Fließgewässer angesprochen werden, innerhalb derer sich die Kaltluftströmungen kanalisieren. Aus der gegenseitigen Abgrenzung ergeben sich Areale einheitlicher Gefällrichtungen, aus denen die auf Freiflächen produzierte Kaltluft abfließen kann. Die gemeinsame Darstellung von Grünflächen und Einzugsgebieten hat den Vorteil, dass in der Klimafunktionskarte auch die Differenzierung der Kaltluftlieferung durch Einzelflächen sichtbar wird.

Darüber hinaus sind zur qualitativen Einordnung der Wirksamkeit der Kaltlufteinzugsgebiete deren Kaltluftvolumenstrom und die Hauptabflussrichtung der Kaltluft jeweils über einen einzelnen Pfeil dargestellt. Die Abflussrichtung innerhalb der Einzugsgebiete wurde aus dem Windfeld gemittelt und orientiert sich meist an der Ausrichtung an vorhandenen Taleinschnitten als Leitbahnen oder Hangbereichen. Die Qualitative Einordnung der Kaltluftdynamik in den Einzugsgebieten zeigt Tabelle 3:

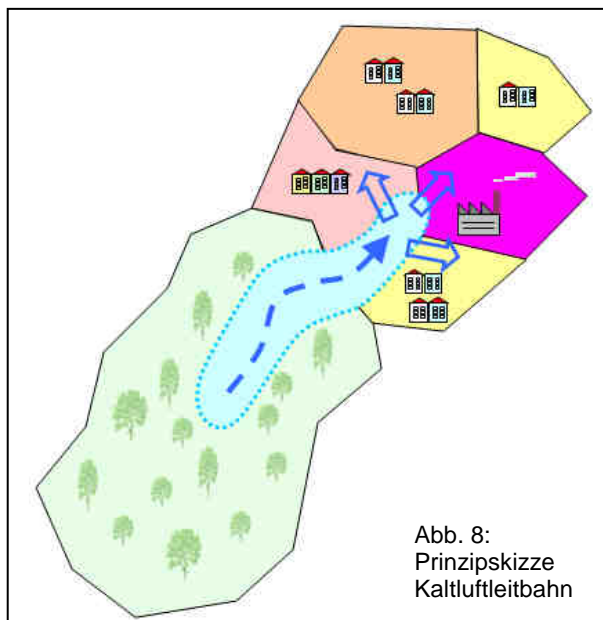
Mittlerer Z-Wert pro Kaltlufteinzugsgebiet	Bewertung
< 0	Mittel
0 bis 1	Hoch
> 1	Sehr hoch

Tab. 3: Bewertung der Kaltluftlieferung innerhalb der Kaltlufteinzugsgebiete

Ausgangspunkt für die Einordnung ist das arithmetische Mittel des Z-transformierten Volumenstroms innerhalb eines einzelnen Kaltlufteinzugsgebietes. Da der mittlere Z-Wert nicht unter -1 absinkt, entfällt hier die Kategorie „Gering“.

Kaltluftleitbahnen

Leitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete (Ausgleichsräume) und Belastungsbereiche (Wirkungsräume) miteinander und sind somit elementarer Bestandteil des Luftaustausches (Abb. 8). Die Ausweisung der Leitbahnbereiche orientiert sich am autochthonen Strömungsfeld der FITNAH-Simulation und werden 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. Da wegen der Reliefsituation im Untersuchungsraum vorrangig Kaltluftabflüsse auftreten, werden sie 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 *Kaltlufteinwirkbereich* 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 0,2 m/s erreichen. Damit geht einher, dass die im Einwirkbereich 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 Saarbrücken 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. Es handelt sich um den PMV-Wert für eine typische *Sommernacht* mit geringem Luftaustausch und ungehinderter langweiliger 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.

Für die Zuordnung eines Baublocks ist die jeweilige durchschnittliche Ausprägung des Z-Wertes des PMV innerhalb der Fläche relevant (als Rasterzellenmittelwert), aus der sich die Zuordnung zu den Bewertungskategorien ergibt (vgl. Tabelle 4). Als Resultat ergeben sich mit diesem Verfahren vier qualitative Bewertungskategorien, 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. 4 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>Block- und Blockrandbebauung</i>
4 Ungünstig	< 1 (obere S ₁ -Schranke)	 <i>verdichteter Siedlungsraum</i>

Tab. 4: 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 separaten Kartenanhang zu entnehmen.

4.1 Kaltlufthaushalt

4.1.1 Bodennahe 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 K (Kelvin) 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 langwelligeren Strahlungsgewinns veränderte Strahlungsbilanz (lokaler Treibhauseffekt)
- die Wirkung der Stadt als Strömungshindernis mit hoher aerodynamischer 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 auch am Tage Kaltluft zugunsten des Siedlungsraumes erzeugen.

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

Die Ermittlung des bodennahen Temperaturfeldes ermöglicht es, Bereiche mit potenziellen bioklimatischen Belastungen abzugrenzen, Aussagen zum Auftreten thermisch und/oder orographisch induzierter Ausgleichsströmungen zu treffen und die räumliche Ausprägung und Wirksamkeit von Kalt- bzw. Frischluftströmungen abzuschätzen. Im Folgenden wird das gesamtstädtische Temperaturfeld für den Zeitpunkt 4 Uhr morgens erläutert (Abb. 10). Für den Vertiefungsbereich Deutschmühlental wird das Ergebnis in Abb. 11 (S. 20) dargestellt.

Ergebnisse Temperaturfeld: Das sich um 4 Uhr in der Nacht einstellende Temperaturfeld im Untersuchungsraum umfasst zwischen Minimalwerten von 11°C und Maximalwerten von bis zu 21°C eine Spannweite von etwa 10 Kelvin (K). Die mittlere Temperatur des Untersuchungsgebietes liegt bei den angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen bei 15,3°C.

Innerhalb der bebauten Gebiete ist die Temperaturverteilung räumlich differenziert, da Areale mit Einzelhausbebauung, Kernbebauung und Verkehrsanlagen unterschiedliche Boden- und Oberflächeneigenschaften aufweisen. Im Rahmen der durchgeführten Klimamodellierung weist die Zentrumsbebauung der Innenstadt die höchsten Temperaturen von mehr als 20°C auf und geht mit dem hohen Bauvolumen und der hohen Oberflächenversiegelung von bis zu 95% einher (Abb. 9). Diese Temperaturen sind, wenn auch weniger flächenhaft ausgeprägt, noch im dicht bebauten Block Meerwiesertalweg/An der Trift zu beobachten.

Die sich an den Innenstadtbereich anschließende Block- und Blockrandbebauung besitzt mit ca. 19°C bis 20°C ebenfalls ein erhöhtes Temperaturniveau. Dies trifft auch für die Gewerbeflächen zu, die vor allem im Südwesten und Osten des Stadtgebietes größere Areale einnehmen. Ausgedehnte Areale des Siedlungsraumes sind durch eine ausgedehnte Einzel- und Reihenhausbauung geprägt. Diese Bauungsstruktur weist unter den Siedlungsflächen das geringste Temperaturniveau auf, wobei 19°C selten überschritten werden.

In den dörflich geprägten Stadtteilen Saarbrückens wie z.B. Bischmisheim oder Fechingen betragen die Lufttemperaturen nur noch zwischen 16°C und 17°C. 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 Flächen auch in den folgenden Kapiteln näher eingegangen wird.

Die niedrigsten Temperaturen im Untersuchungsgebiet sind mit weniger als 12°C über den ausgedehnten landwirtschaftlich genutzten Arealen im südöstlichen Stadtgebiet anzutreffen, was in der starken langwelligigen Ausstrahlung nach Sonnenuntergang begründet liegt (Abb. 9). Ähnlich geringe Werte können auch in Senkenbereichen auftreten, wo sich die Kaltluft aufgrund ihrer höheren Dichte sammelt. Waldareale besitzen in Abhängigkeit von der Höhenlage ein vergleichsweise hohes Temperaturniveau von 14°C bis 16°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 15°C und 17°C beträgt.

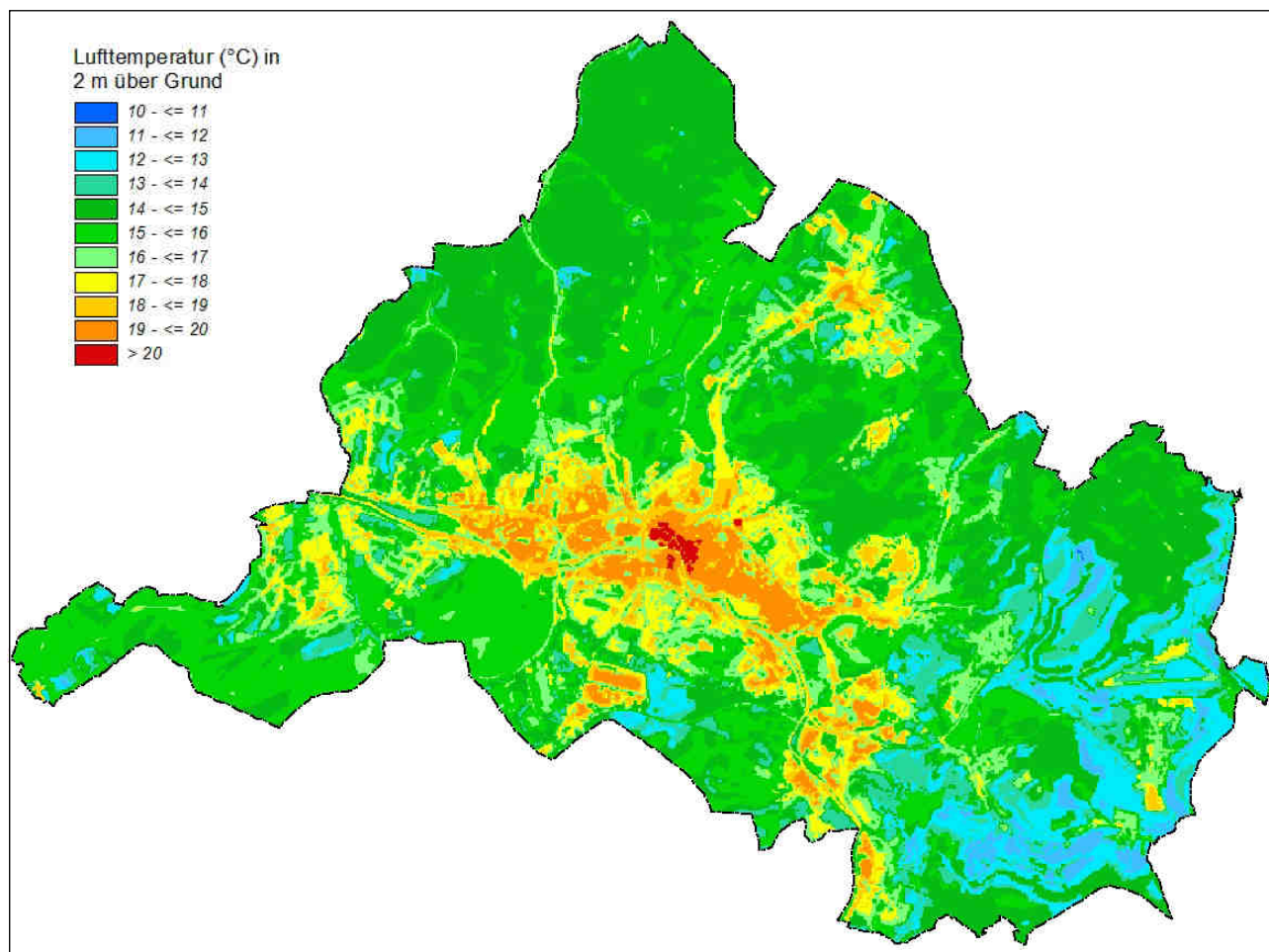


Abb. 9: Temperaturfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2m ü. Grund)

Über den weiteren, 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. Insgesamt gesehen treten die vegetationsgeprägten Areale im Stadtgebiet Saarbrücken mit vergleichsweise niedrigen Temperaturen hervor.

Lufttemperatur - Beispiel Deutschmühlental

Das Beispielgebiet Deutschmühlental zeigt Abb. 10 mit Blickrichtung aus Süden. Das auf das Geländemodell projizierte Temperaturfeld für den bodennahen Bereich bis 2 m Höhe stellt die Kaltluftentstehungsflächen in blauer Farbe dar. Über Freiland können diese in der zweiten Nachthälfte bis auf unter 13°C zurückgehen .

Die stärkste Abkühlung ist östlich der größeren Gewerbefläche in einem Senkenbereich zu beobachten. Neben der lokalen Abkühlung der Luft über der Fläche selbst führen auch die Kaltluftabflüsse der angrenzenden Hangareale zu dem vergleichsweise niedrigen Temperaturniveau (dunkelblaue Farbe). Dieses setzt sich über den Deutsch-Französischen Garten hinaus in Richtung auf das Deutschmühlental fort.

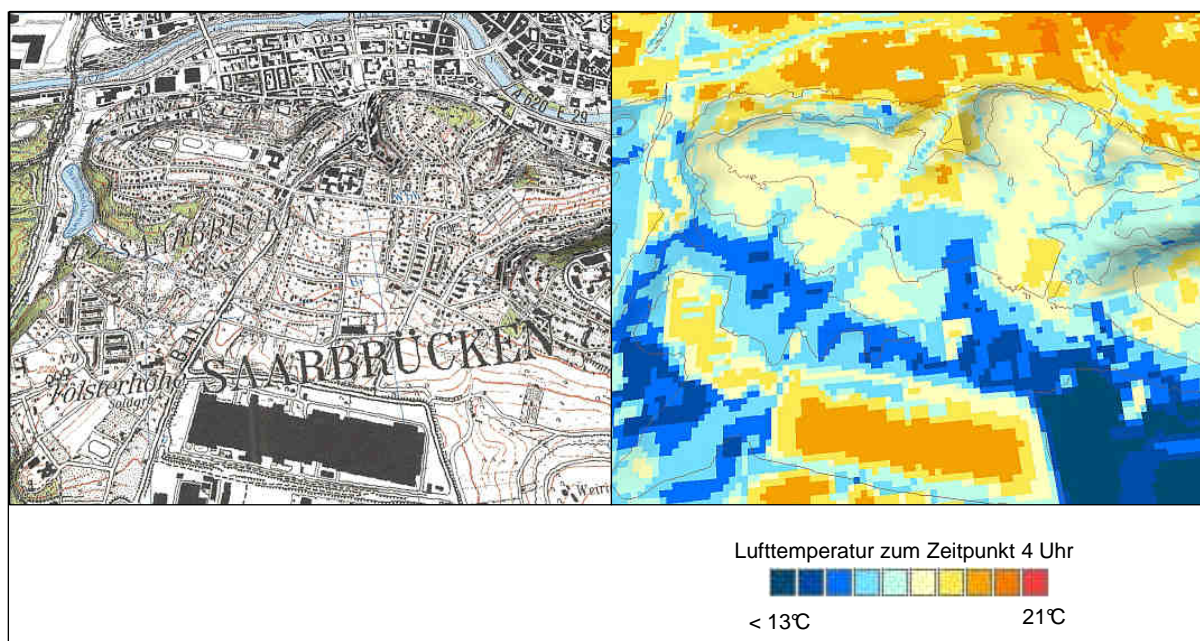


Abb. 10 Lage der B-Planfläche sowie Lufttemperatur in 2 m Höhe (Hintergrund: TK 25 Blatt 6707)

Siedlungsflächen weisen dagegen insgesamt höhere Werte auf. In den eher peripheren, weniger dicht bebauten Bereichen wie der lockeren Wohnbebauung in Alt-Saarbrücken ist ein Temperaturniveau von 17°C bis 18°C anzutreffen (Beige). Innerhalb der stark versiegelten Gewerbeflächen sowie dem Innenstadtbereich kann aufgrund des hohen Bauvolumens die Lufttemperatur bis zum frühen Morgen noch mehr als 20°C betragen (Orange). Zwischen dem Deutsch-Französischen Garten und dem Messegelände lässt sich somit ein Temperaturgradient von bis zu 5,5 K auf einer Entfernung von etwa 800 m beobachten.

4.1.2 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. 11).

Der resultierende Druckgradient kann daraufhin durch einströmende kühlere Luftmassen aus dem Umland ausgeglichen werden (u.a. KIESE et al. 1992).

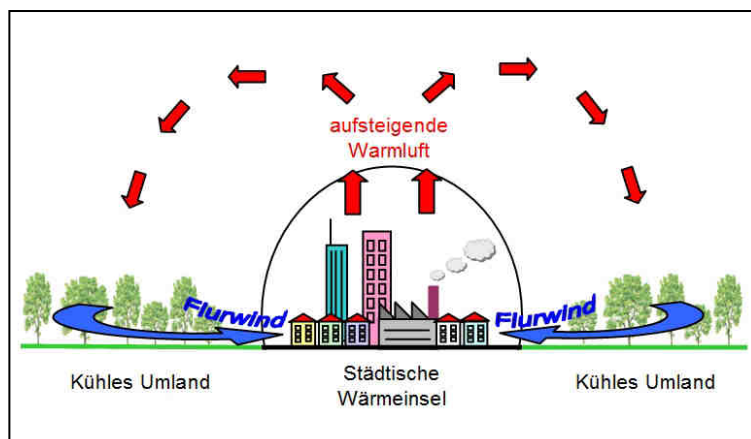


Abb. 11: Prinzipskizze Flurwind

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 kältluftproduktiv. Abhängig von den Oberflächeneigenschaften und Abkühlungsraten geht damit die rasche Entwicklung von Kältluftströmungen 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 klima- und immissionsökologische Ausgleichsleistung für die Belastungsräume erbringen.

Ergebnisse Strömungsfeld:

Die Kältluftströmung ist in der vorliegenden Untersuchung ein wichtiger Parameter zur Beurteilung des Kältluftthaushaltes, 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, welche im separaten Anhang enthalten ist, stellt das sich zum nächtlichen Analysezeitpunkt ausgeprägte Kältluftströmungsfeld in zwei Ebenen dar. Die Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit wird über die Pfeilrichtung und Pfeillänge in Form von Vektoren abgebildet, wobei die Pfeile der Karte für eine übersichtlichere Darstellung auf 100 m x 100 m Kantenlänge (entspricht 16 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 $\geq 0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 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 $1,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ über den ausgedehnten landwirtschaftlich genutzten Freiflächen im südöstlichen Stadtgebiet Saarbrückens. Abbildung 12 zeigt die räumliche Ausprägung der Strömungsgeschwindigkeit zum Zeitpunkt 4 Uhr als Raster im Stadtgebiet. Auftretende Hangneigungen mit deutlich mehr als 1° führen zu Kaltluftabflüssen, welche gegenüber den rein thermisch angetriebenen Flurwinden meist höhere Strömungsgeschwindigkeiten aufweisen.

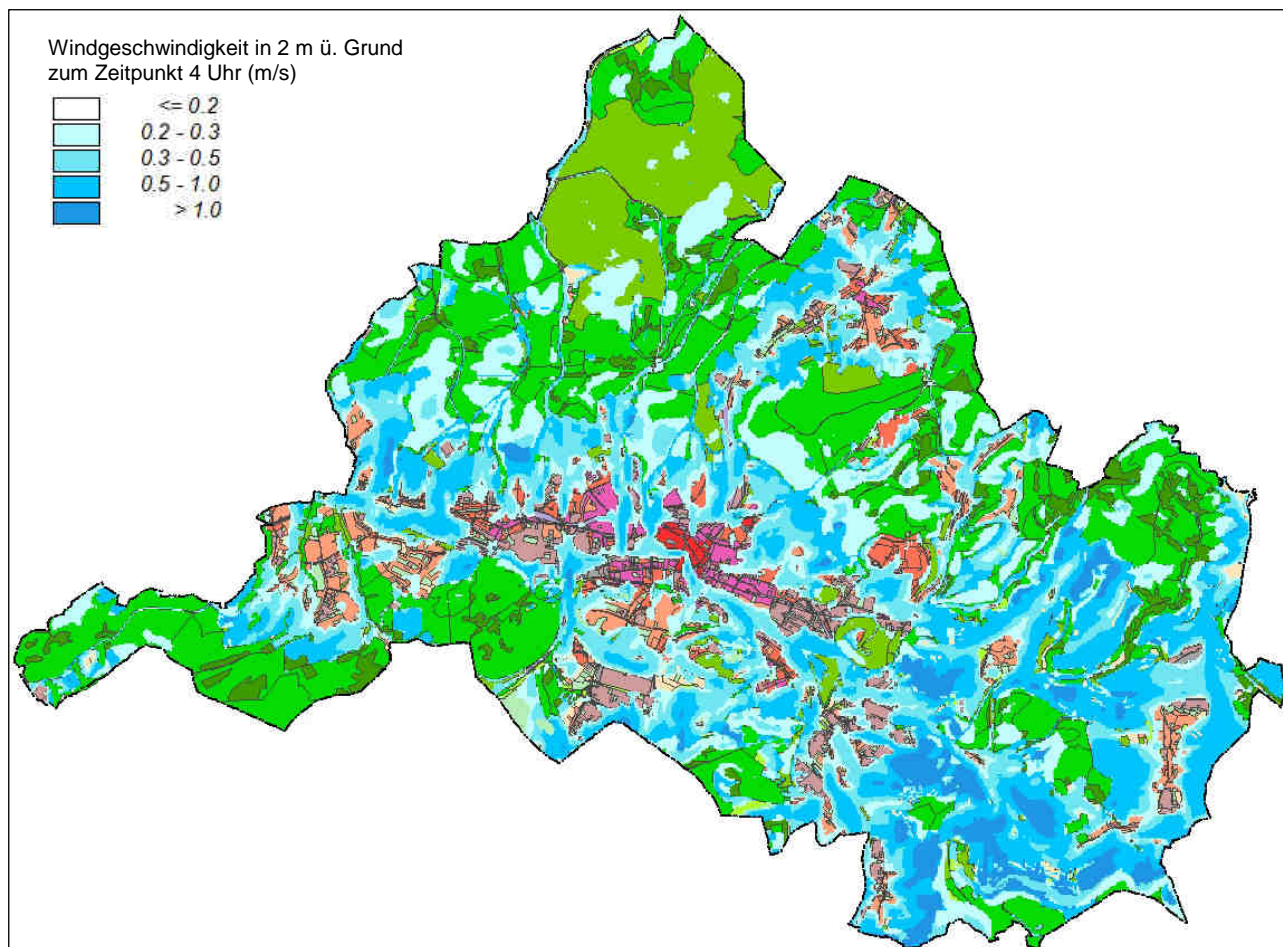


Abb. 12: Strömungsgeschwindigkeit zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens

Überdurchschnittlich hohe Werte von mehr als $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ sind über den Hangbereichen oberhalb der Siedlungsflächen von **Rockershausen** und **Burbach** sowie im südöstlichen Stadtgebiet zu beobachten. Während die über den Waldflächen gebildete Kaltluft bodennah aufgrund des Strömungswiderstands im Stammraum vergleichsweise geringe Geschwindigkeiten aufweist, kann diese über den hangabwärts angrenzenden und weniger von Bäumen bestandenen Grünflächen wie dem Waldfriedhof Burbach wieder beschleunigt werden.

Im Bereich von Kaltluftleitbahnen wie dem **Deutschmühlental** oder dem Bereich **Waldfriedhof Burbach-Weyerbachtal** liegen die Strömungsgeschwindigkeiten in einer Größenordnung von $0,5$ bis $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Hier wird das Eindringen von Kaltluft in den Siedlungskörper durch eine gering überbaute und grüneprägte 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 beträgt zwischen 100 m in Gewerbegebieten wie der ehemaligen Burbacher Hütte und bis zu 1900 m im Bereich **Am Homburg/Rothenbühl**, wo die intensive Durchlüftung zu günstigen bzw. sehr günstigen Bedingungen führt.

Hier ermöglichen die über den angrenzenden ausgedehnten Waldflächen entstehenden Kaltluftvolumina einerseits und die vergleichsweise durchströmungsgünstige Einzel- und Reihenhausbauung andererseits eine flächenhafte Durchlüftung auf einer Breite von etwa 2 km. Für diese Bereiche eines flächenhaften Kaltluftabflusses erfolgt keine separate Ausweisung von Leitbahnen. Große Teile des Innenstadtbereiches werden hingegen nicht nennenswert von Kaltluft durchströmt, da die hohe Bebauungsdichte und das im Vergleich zum Freiland höhere Temperaturniveau die Kaltluftströmung abschwächen.

Kaltluftströmungsfeld - Beispiel Deutschmühlental

Den Bereich Deutschmühlental mit seinem näheren Umfeld zeigt Abb. 13, 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 Bereich Deutsch-Französischer Garten sowie die benachbarten vegetationsgeprägten Areale als Kaltluft produzierende Freiflächen hervor. Die gebildete Kaltluft fließt dem Gefälle folgend in Richtung Westen ab und strömt über den Deutsch-Französischen Garten in Richtung Deutschmühlenweiher, um über die dortige ausgeprägte Tiefenlinie weiter in das Saartal abzufließen.

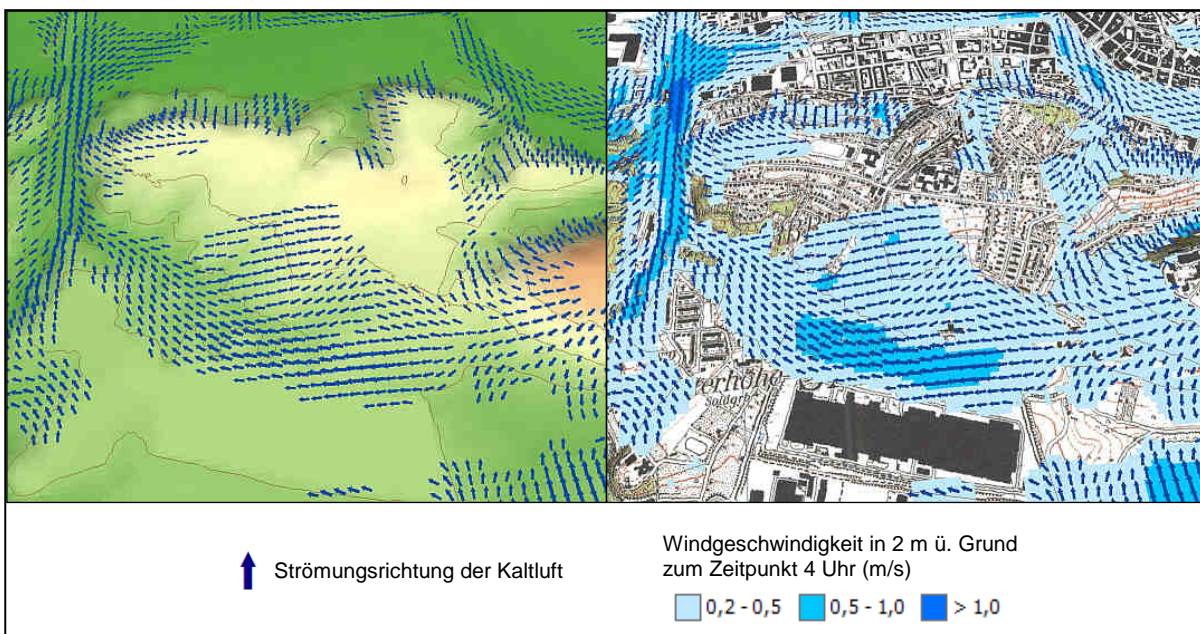


Abb. 13: 3D-Geländemodell mit Kaltluftabflüssen sowie Strömungsfeld und Windgeschwindigkeit (Hintergrund: TK 25 Blatt 6707)

Die höchsten Windgeschwindigkeiten von mehr als 1 m/s sind dort durch eine Kanalisierung der Strömung anzutreffen (dunkelblaue Farbe). Ansonsten liegen verbreitet Strömungsgeschwindigkeiten zwischen 0,2 m/s und 1 m/s vor. Durch die abbremsende Wirkung der Bebauung sowie das höhere Temperaturniveau in den Siedlungsflächen geht die Strömungsgeschwindigkeit allmählich auf weniger als 0,2 m/s zurück.

4.1.3 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 Kaltluftabflüsse voll ausgeprägt ist.

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 Klassifizierung des Volumenstroms innerhalb von Grünflächen ab. Die qualitative Bewertung dieser meteorologischen Größe zeigt Tab. 5.

Bewertung	Kaltluftvolumenstrom in m ³ /s
Sehr hoch	> 1400
Hoch	1400 bis ≥ 700
Mittel	700 bis ≥ 350
Gering	< 350

Tabelle 5: Qualitative Einordnung des Kaltluftvolumenstroms

Ausgehend vom der gebietstypischen Ausprägung im Untersuchungsraum wird als Schwellenwert für einen klimaökologisch wirksamen Kaltluftstrom ein Wert von mehr als 350 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 Strömungsfeldes einher, weshalb auf eine gesonderte Ergebnisbeschreibung verzichtet wird.

4.2 Ermittlung der lufthygienischen Belastung durch die Quellgruppe Verkehr

Die im Rahmen der vorliegenden Klimaanalyse durchgeführte lufthygienische Untersuchung für eine austauscharme Wetterlage wurde ebenfalls mit dem Modell FTNAH durchgeführt. Anhand des verkehrstypischen Luftschadstoffs Stickstoffdioxid (NO₂) wurden durchschnittliche Emissionen aus dem Straßenverkehr mit dem Strömungsfeld, das sich im Laufe einer sommerlichen Strahlungsnacht ausbildet, verdriftet. Das dem Transport der Luftbeimengungen zugrunde gelegte bodennahe autochthone Strömungsfeld wurde in den vorangegangenen Kapiteln bereits analysiert.

Bei der Interpretation der vorliegenden Modellergebnisse muss berücksichtigt werden, dass die Simulationen, bedingt durch die Ausdehnung des Beurteilungsgebietes, mit einer horizontalen Auflösung von 25 m durchgeführt wurden und größere Strömungshindernisse wie z.B. Einzelgebäude nicht explizit aufgelöst wurden.

Die unterschiedlichen Oberflächeneigenschaften im Untersuchungsgebiet gehen durch die Definition von sogenannten Nutzungsklassen in die Modellierung ein, die eine mittlere Rauigkeit und Hindernishöhe sowie einen durchschnittlichen Versiegelungsgrad jeder Rasterzelle beschreiben (siehe auch Kapitel 2). Bei der Bewertung der Modellergebnisse muss bedacht werden, dass durch diese Parametrisierung kleinräumige Sondersituationen innerhalb der angewandten Rasterauflösung nicht wiedergespiegelt werden können. Die Immissionsbelastung wird im Rahmen der eingesetzten Methodik vor allem durch Verkehrsmenge, Fahr situation und die durch das Relief beeinflusste Strömung bestimmt. Im Mittelpunkt der vorliegenden Ausbreitungsrechnung steht somit die flächenhafte Belastungssituation für eine austauscharme nächtliche Situation die eine Ausweisung möglicher Belastungsschwerpunkte erlaubt.

Die Emissionsprognose beruht auf mittleren täglichen Verkehrszahlen. Während der Nacht sind in der Regel deutlich geringere Verkehrsbelastungen zu erwarten. Die Verwendung durchschnittlicher Verkehrsemissionen für eine nächtliche Ausbreitungssituation darf somit als eine pessimistische Abschätzung eingestuft werden. Die Simulationsrechnungen für die Schadstoffausbreitung erfolgten in dem in Kapitel 2 beschriebenen Untersuchungsgebiet. Die Ergebnisse beziehen sich jeweils auf die bodennahe Schicht der Atmosphäre (= 2 m über Grund), die mit dem Aufenthaltsbereich des Menschen gleichzusetzen ist.

Eine detaillierte Untersuchung der Immissionsbelastung durch verkehrsbedingte Emissionen wurde im Rahmen von Untersuchungen zum Luftreinhalteplan für die Stadt Saarbrücken durchgeführt (Stadtklimatische und lufthygienische Gesamtanalyse der Landeshauptstadt Saarbrücken, Teilprojekt: Luftreinhalteplan Saarbrücken, GEO-NET 2011). Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden an dieser Stelle nochmals kurz zusammengefasst.

4.2.1 Datengrundlage und Emissionsprognose

Verkehrssituationen:

Zur Abschätzung der Luftschadstoffbelastung an Straßen ist es notwendig, die Kausalbeziehung Emission-Transmission-Immission modellhaft möglichst exakt nachzubilden. Eine wichtige Grundlage zur Modellierung der Schadstoffausbreitung ist die Kenngröße „Verkehrsemission“. Zur Durchführung der dafür notwendigen Emissionsberechnungen sollten folgende Eingabedaten bekannt sein:

- Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV = Fahrzeuge/24h gemäß VDI-RL 3782 Blatt 7),
- LKW-Anteil (leichte und schwere Nutzfahrzeuge),
- Anteil Linienbusverkehr,
- Verkehrssituation je Straßenabschnitt entsprechend HBEFA 3.1(UBA 2010),
- Auslastungsgrad der Straßenabschnitte,
- Längsneigung der Straßenabschnitte.

Den Emissionsberechnungen liegen Daten des aktuellen Verkehrsmodells für die Stadt Saarbrücken (Version April 2011) zu Grunde. Das Verkehrsmodell wurde von dem Verkehrsplanungsbüro R+T Topp aus Darmstadt erarbeitet und von der Stadt Saarbrücken nochmals geprüft. Die Daten beinhalten Angaben zum durchschnittlichen werktäglichen Verkehrsaufkommen der betrachteten Streckenabschnitte, aufgeteilt auf Fahrten von PKW, schweren Nutzfahrzeugen und Linienbussen. Bei den Angaben zu Linienbussen wird zusätzlich zwischen Fahrten von Bussen der Saarbahn GmbH und Bussen regionaler Betreiber unterschieden.

Die Daten beinhalten weiterhin eine Beschreibung der Straßenkategorie, Angaben zur durchschnittlichen Fahrgeschwindigkeit, sowie Informationen zum Auslastungsgrad. Mit Hilfe dieser Daten wurden die Streckenabschnitte einzelnen Verkehrssituationen zugeordnet, entsprechend den Einteilungen im Handbuch Emissionsfaktoren (HBEFA 3.1, 2010) des Umweltbundesamtes. Als pessimistischer Ansatz wurden die bereitgestellten durchschnittlichen Verkehrsbelastungen an Werktagen als über den gesamten Wochenverlauf auftretende durchschnittliche tägliche Verkehrsbelastung (DTV) angenommen. Nach Abschätzungen beträgt die durchschnittliche tägliche Verkehrsbelastung etwa 90% bis 98% der durchschnittlichen werktäglichen Verkehrsbelastung.

Neben einer Klassifizierung der Verkehrssituationen erfolgt in dem neuen Handbuch Emissionsfaktoren 3.1 vom Januar 2010 für jede Verkehrssituation auch eine Unterscheidung verschiedener „Verkehrszustände“ (level of service, LOS), die den Störungsgrad des Verkehrsflusses beschreiben. Hierbei werden im HBEFA 3.1 die folgenden 4 Verkehrszustände unterschieden:

- Flüssig: frei und stetig fließender Verkehr, konstante, eher hohe Geschwindigkeit;
- Dicht: flüssiger Verkehrsfluss bei starkem Verkehrsvolumen, vergleichsweise konstante Geschwindigkeit;
- Gesättigt: Unstetiger Verkehrsfluss mit starken Geschwindigkeitsschwankungen bei gesättigtem/ gebundenen Verkehrsfluss, erzwungene Zwischenstopps möglich;
- Stop+go: Stop+go, starke Stauerscheinungen bis Verkehrszusammenbruch, Geschwindigkeitsschwankungen bei allgemein tiefer Geschwindigkeit.

Die Einteilung der Verkehrszustände erfolgt anhand der Angaben zum Auslastungsgrad der einzelnen Straßenabschnitte. Die Relation von „gezählten Fahrzeugen pro Tag“ zur „Kapazität der Straße in Fahrzeugen pro Tag“ bestimmt den Störungsgrad des Verkehrsflusses. Nach Angaben des Verkehrsplanungsbüros R+T Topp kann für einen Quotienten von weniger als 0,45 der Verkehrszustand „flüssig“ angenommen werden, für einen Quotienten von mehr als 0,65 ist der Verkehrsfluss als „gesättigt“ einzustufen.

Als Bezugsjahr für die Ermittlung der Emissionen gemäß HBEFA 3.1 wurde das Jahr 2010 ausgewählt. Für 2010 liegen zahlreiche Messungen innerhalb des Untersuchungsgebietes vor allem für NO₂ vor, so dass ein Vergleich der Berechnungsergebnisse mit Messwerten möglich ist.

Eine Auflistung der klassifizierten Straßenabschnitte des Hauptnetzes ist in der folgenden Tabelle 6 zusammengestellt.

Fahrsituation gemäß HBEFA 3.1	Beschreibung
Agglo/Erschliessung/30/dicht	Innerörtliche Erschließungsstraße, 30 km/h, dichter Verkehrsfluss
Agglo/Erschliessung/30/fluessig	Innerörtliche Erschließungsstraße, 30 km/h, flüssiger Verkehrsfluss
Agglo/Erschliessung/30/gesättigt	Innerörtliche Erschließungsstraße, 30 km/h, gesättigter Verkehrsfluss
Agglo/Erschliessung/30/stop+go	Innerörtliche Erschließungsstraße, 30 km/h, starker Störungsgrad, Stop+go
Agglo/Erschliessung/40/dicht	Innerörtliche Erschließungsstraße, 40 km/h, dichter Verkehrsfluss
Agglo/Erschliessung/40/fluessig	Innerörtliche Erschließungsstraße, 40 km/h, flüssiger Verkehrsfluss
Agglo/Erschliessung/40/gesättigt	Innerörtliche Erschließungsstraße, 40 km/h, gesättigter Verkehrsfluss / Ampelsituation mit starken Störungen
Agglo/Erschliessung/50/dicht	Innerörtliche Erschließungsstraße, 50 km/h, dichter Verkehrsfluss
Agglo/Erschliessung/50/fluessig	Innerörtliche Erschließungsstraße, 50 km/h, flüssiger Verkehrsfluss
Agglo/FernStr-City/50/dicht	Fernstraße mit regionalem Verkehr, 50 km/h, dichter Verkehrsfluss
Agglo/FernStr-City/50/fluessig	Fernstraße mit regionalem Verkehr, 50 km/h, flüssiger Verkehrsfluss
Agglo/FernStr-City/60/dicht	Fernstraße mit regionalem Verkehr, 60 km/h, dichter Verkehrsfluss
Agglo/HVS/50/dicht	Hauptverkehrsstraße, mittlere Kapazität, 50 km/h, dichter Verkehrsfluss
Agglo/HVS/50/fluessig	Hauptverkehrsstraße, mittlere Kapazität, 50 km/h, Verkehrsfluss flüssig
Agglo/HVS/50/gesättigt	Hauptverkehrsstraße, mittlere Kapazität, 50 km/h, gesättigter Verkehrsfluss
Agglo/HVS/60/dicht	Hauptverkehrsstraße, mittlere Kapazität, 50 km/h, dichter Verkehrsfluss
Agglo/HVS/60/gesättigt	Hauptverkehrsstraße, mittlere Kapazität, 50 km/h, gesättigter Verkehrsfluss
Agglo/HVS/70/flüssig	Hauptverkehrsstraße, mittlere Kapazität, 70 km/h, Verkehrsfluss flüssig
Agglo/Sammel/50/dicht	Sammelstraße, 50 km/h, dichter Verkehrsfluss
Agglo/Sammel/50/flüssig	Sammelstraße, 50 km/h, Verkehrsfluss flüssig
Agglo/Sammel/50/gesättigt	Sammelstraße, 50 km/h, gesättigter Verkehrsfluss auch Ampelsituation mit mittlerer Störung
Land/HVS/50/fluessig	Hauptverkehrsstraße mit überregionalem Verkehr, mittlere Kapazität, 50 km/h, Verkehrsfluss flüssig
Land/FernStr/80/flüssig	Fern-, Bundesstraße, 80 km/h, Verkehrsfluss flüssig
Land/HVS/50/fluessig	Hauptverkehrsstraße mit überregionalem Verkehr, mittlere Kapazität, 50 km/h, Verkehrsfluss flüssig
Land/HVS/50/gesättigt	Hauptverkehrsstraße mit überregionalem Verkehr, mittlere Kapazität, 50 km/h, gesättigter Verkehrsfluss
Agglo/AB-City/60/dicht	Autobahn städtischer Bereich, 60 km/h, dichter Verkehrsfluss
Agglo/AB-City/60/fluessig	Autobahn städtischer Bereich, 60 km/h, Verkehrsfluss flüssig
Agglo/AB-City/70/flüssig	Autobahn städtischer Bereich, 70 km/h, Verkehrsfluss flüssig
Agglo/AB-City/80/dicht	Autobahn städtischer Bereich, 80 km/h, dichter Verkehrsfluss
Agglo/AB-Nat./80/gesättigt	Autobahn städtischer Bereich, 80 km/h, gesättigter Verkehrsfluss
Land/AB/100/gesättigt	Autobahn, 100 km/h, gesättigter Verkehrsfluss
Land/AB/110/gesättigt	Autobahn, 110 km/h, gesättigter Verkehrsfluss

Tab. 6: Verkehrssituationen gemäß HBEFA 3.1 im Untersuchungsgebiet .

Straßenverkehrsbedingte Emissionen:

Auf Grundlage der Verkehrsmengen wurden entsprechend der jeweiligen Verkehrssituation mit Hilfe des Handbuches für Emissionsfaktoren des Umweltbundesamtes HBEFA 3.1 (UBA 2010) die Emissionsraten für Stickstoffoxide (NO_x) als lufthygienische Leitkomponente für verkehrbedingte Emissionen bestimmt.

Das HBEFA stellt Emissionsfaktoren für alle gängigen Fahrzeugkategorien jeweils in emissionsrelevanter Differenzierung für eine Vielzahl von Verkehrssituationen zur Verfügung. Die so bestimmten Emissionsfaktoren beziehen sich auf eine durchschnittliche Zusammensetzung der Fahrzeugflotte innerhalb von Deutschland. Emissionen aus der Linienbusflotte wurden hiervon abweichend ermittelt: Hier wurden für die 51 Gasbusse der Saarbahn GmbH, Emissionen entsprechend der Emissionsklasse Euro V angenommen, während für die übrige Linienbusflotte durchschnittliche Emissionen verwendet wurden. Da Fahrten von Bussen der Saarbahn in den Verkehrsdaten separat ausgewiesen sind, können die Emissionen der vergleichsweise neuen Busflotte auf den betreffenden Streckenabschnitten berücksichtigt werden. Hierbei wurde angenommen, dass auf allen Buslinien der Saarbahn die Gasbusse den gleichen Anteil an den Fahrten haben und damit gleichmäßig in dem Liniennetz eingesetzt werden.

Entsprechend der örtlichen Gegebenheiten werden die Emissionsfaktoren für das Bezugsjahr 2010 bestimmt und gemäß den Verkehrsmengen zu tatsächlichen Emissionen verrechnet. Die berechneten Emissionen werden in das Geodatenbankumfeld des Straßenverkehrsnetzes überführt und in ein für das Simulationsmodell FITNAH geeignetes Raster mit einer Zellengröße von 25 m x 25 m überführt. Die Emissionshöhe beträgt 0,5 m über Grund.

Hintergrundbelastung:

Die Zusatzbelastung durch den Straßenverkehr ist einer Hintergrundbelastung überlagert. Für eine Einschätzung der lufthygienischen Belastung wurden vom Landesamt für Umwelt- und Arbeitsschutz Messwerte aus dem IMMESA –Messnetz, sowie der Passivsammler für NO_2 für die Jahre 2009 und 2010 im Stadtgebiet von Saarbrücken zur Verfügung gestellt.

Abbildung 14 zeigt Jahresauswertungen für IMMESA-Stationen in Saarbrücken bzw. der näheren Umgebung für den Schadstoff NO_2 . Die Station Biringen dient der Ermittlung der regionalen, bzw. ländlichen Hintergrundbelastung, während die im Stadtteil Eschberg gelegene Station Saarbrücken-Ost eher den städtischen Hintergrund widerspiegelt. Nach Einschätzung des Landesamtes für Umwelt- und Arbeitsschutz repräsentiert die Station Saarbrücken-Burbach den städtischen Hintergrund mit geringer Verkehrsbeeinflussung, während die in der Mainzer Straße gelegene Station Saarbrücken Verkehr als städtische Verkehrsstation innerhalb dichter Bebauung bewertet wird. An dieser Station kommt es für die Leitkomponente NO_2 durchgängig zu Überschreitungen des gemäß BImSchV einzuhaltenden Jahresmittelwertes für NO_2 von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. An allen übrigen Stationen des IMMESA-Messnetzes können die Jahresimmissionswerte für NO_2 eingehalten werden.

Zur Berücksichtigung der Hintergrundbelastung wurden für die Ermittlung der Gesamtbelastung im Untersuchungsgebiet der Klimaanalyse eine konstante Belastung von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$ angenommen. Es kann allerdings davon ausgegangen werden, dass die Hintergrundbelastung innerhalb des Untersuchungsgebietes eine räumliche Differenzierung aufweist.

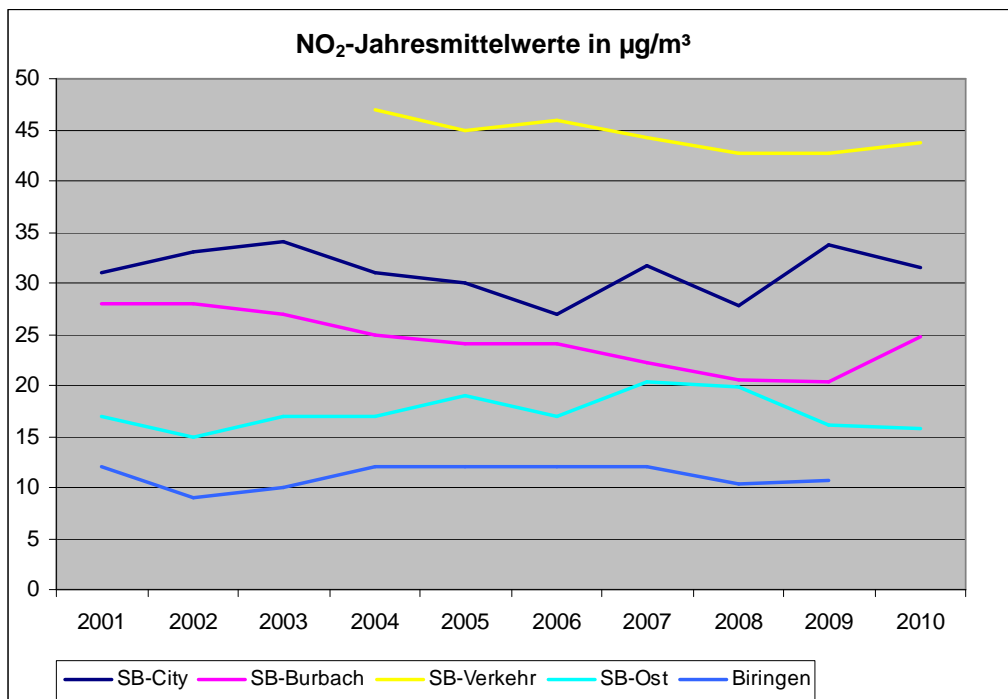


Abb. 14: Jahresmittelwerte der NO₂-Konzentration in µg/m³ an IMMESA-Messstationen in Saarbrücken und Umgebung.

4.2.2 Durchschnittliche Immissionsbelastung durch verkehrsbedingte Emissionen im Innenstadtbereich

Im Rahmen der lufthygienischen Untersuchungen zum Luftreinhalteplan Saarbrücken wurden detaillierte Modellsimulationen zur verkehrsbedingten Luftschadstoffbelastung für das Zentralgebiet von Saarbrücken durchgeführt (GEO-NET, 2011). Hierfür wurden mit dem Modell ASMUS mit einer räumlichen Auflösung von 5 m Jahresmittelwerte der NO₂ –Immissionskonzentrationen berechnet. Bei diesen Simulationen wurden Gebäude und größere Strömungshindernisse explizit aufgelöst. Für eine weiterführende Analyse von innerstädtischen Belastungsschwerpunkten wurden Simulationen auf einem 2 m x 2 m Raster durchgeführt, bei der auch einzelne Fahrspuren aufgelöst wurden. Die Verkehrsdaten, die die Grundlage für die Emissionsprognosen bilden, waren für die Untersuchungen zum Luftreinhalteplan wie auch für die Klimaanalyse identisch. An dieser Stelle sollen nur die wesentlichen Ergebnisse zusammengefasst werden:

Auch im Jahresmittel wird das NO₂-Immissionsfeld deutlich durch die Emissionen der A620 mit einem Verkehrsaufkommen von mehr als 80.000 KFZ pro Tag und die Westspange mit etwa 56.000 KFZ pro Tag geprägt. Dementsprechend treten hohe NO₂-Konzentrationen und Überschreitungen des Jahresimmissionswertes von 40 µg/m³ entlang der Autobahn auf. Hohe Konzentrationen mit Überschreitungen des Jahresimmissionswertes wurden aber ebenso im Bereich von Straßen mit Verkehrsbelastungen von mehr als 20.000 Fahrzeugen pro Tag berechnet. Dies betrifft die Breite Straße und Brückenstraße, Lebacherstraße, Stengelstraße, Dudweiler Straße und den südlichen Teil der Paul-Marien-Straße.

Hohe Konzentrationen im Straßenraum mit Grenzwertüberschreitungen treten weiterhin in Abschnitten der Viktoriastraße, der Eisenbahnstraße, der Kaiserstraße und im Kreuzungsbereich Paul-Marien-Straße / Mainzer Straße auf. Die Verkehrsbelastungen dieser Straßenabschnitte sind geringer als die der zuvor betrachteten Straßen, dafür führen Verkehrssituationen mit deutlichem Störungsgrad oder ein hoher Anteil

von Linienbussen am Verkehrsaufkommen zu hohen Emissionen. Diese Bereiche weisen außerdem ungünstige Ausbreitungsbedingungen auf, da der Straßenraum eng und schlecht durchlüftet wird, was letztlich zu hohen Immissionskonzentrationen führt.

In Teilbereichen von Viktoriastraße, Eisenbahnstraße, Kaiserstraße und Dudweilerstraße befinden sich außerdem überbaute Gehwegbereiche. Unter diesen Arkaden ist aufgrund der einseitigen Abschirmung die Durchlüftung deutlich eingeschränkt. Die Fahrspuren liegen hier teilweise in unmittelbarer Nähe, so dass die verminderte Durchmischung der Luftschadstoffe in den Arkadenbereichen zu einer – verglichen mit den freien Gehwegen – deutlichen Erhöhung der Schadstoffkonzentration führt. Insbesondere bei autochthonen Wetterlagen können PM10- und auch NO₂-Kurzfristgrenzwerte in solchen Gebäudebereichen überschritten werden.

Abbildung 15 verdeutlicht am Beispiel des Jahresmittewertes der NO₂- Immissionskonzentration die lufthygienische Situation für einen Ausschnitt der Innenstadt.

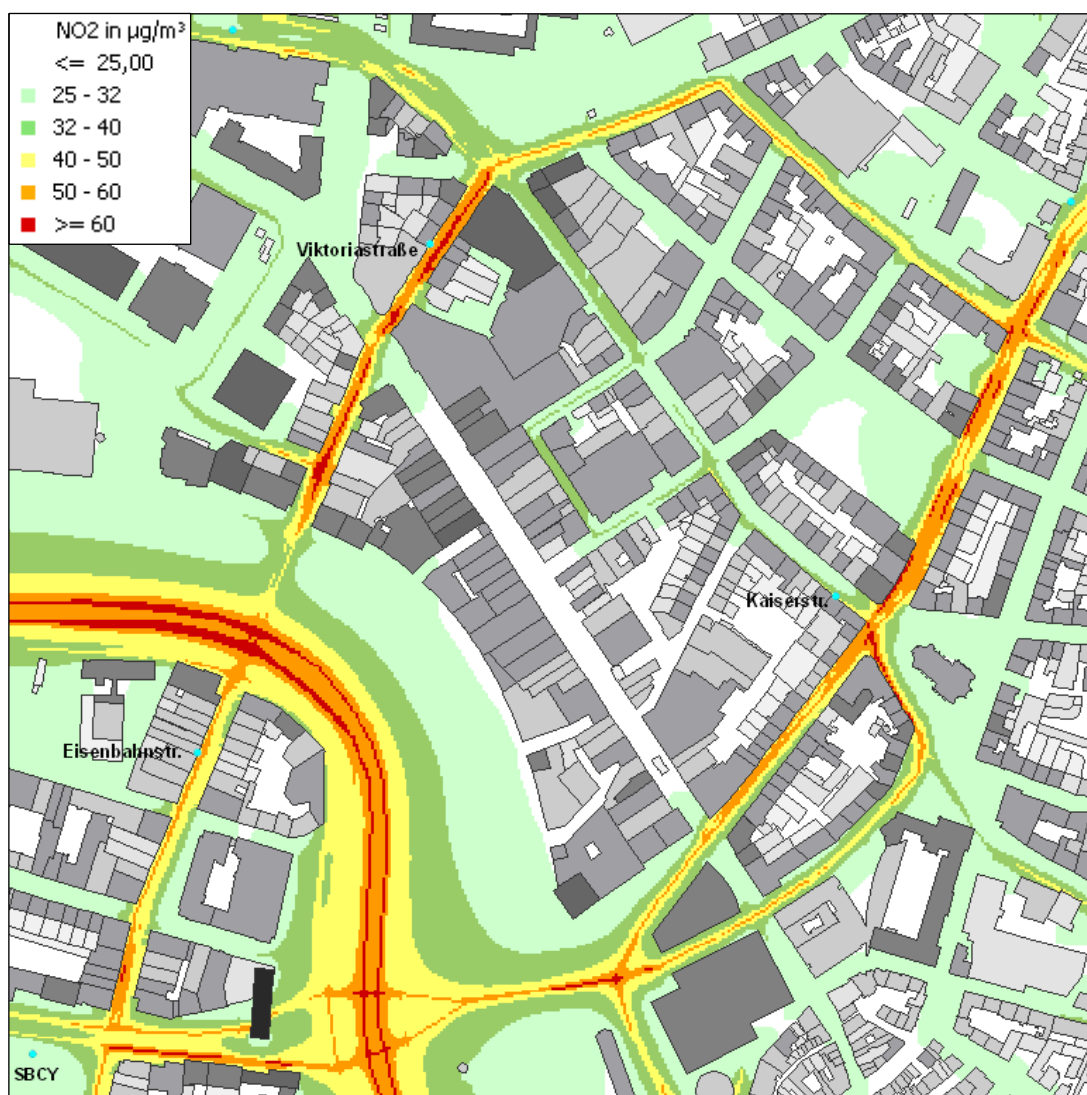


Abb. 15: NO₂-Immissionsfeld (Jahresmittelwert in µg/m³) im Jahr 2010. Quelle: Lufthygienische Untersuchungen zum Luftreinhalteplan Saarbrücken (GEO-NET, 2011).

4.2.3 Immissionsbelastung durch verkehrsbedingte Emissionen während austauscharmer Wetterlagen

Die Ergebnisse charakterisieren sowohl hinsichtlich der Immissionen als auch der Wetterlage eine „Worst-Case“-Situation, so dass das Immissionsfeld in einer ersten Näherung mit der Kurzzeitbelastung verglichen werden kann. In diesem Szenario ist von einer hohen Belastungssituation auszugehen, da die atmosphärischen Verdünnungsprozesse nicht durch die übergeordnete Strömung sondern vor allem durch kleinräumig wirksame Prozesse erfolgen. Diese Windsysteme bilden sich, angetrieben durch die strukturbedingten Temperaturunterschiede, zwischen bebauten und unbebauten Flächen aus (vgl. Kap. 4.1.2). Das Immissionsfeld wird somit ausschließlich durch die Emissionssituation und die eigenbürtigen aus dem Umland bzw. Stadtraum entstehenden Strömungssystemen geprägt. Hohe Verkehrszahlen mit entsprechenden Emissionen einerseits und eingeschränkter Luftaustausch andererseits begünstigen das Auftreten von Belastungen. Ausgehend von der räumlichen Verteilung der Verkehrsmengen ergeben sich im Stadtgebiet Saarbrücken mehrere Belastungsschwerpunkte. Dabei sind vor allem die Autobahn A 620, die Westspange sowie der Verlauf Hochstraße/Breite Straße hervorzuheben. Hier sind im Nahbereich des Straßenraums NO_2 -Konzentrationen von bis zu $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ anzutreffen. Da die Verfrachtung der Immission in die Siedlungsflächen hinein durch den kleinräumigen Luftaustausch mitbestimmt wird, können, ausgehend vom Straßenraum, NO_2 -Konzentrationen von mehr als $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis zu 150 m weit verfrachtet werden. Die Immissionssituation während einer windschwachen Sommernacht zeigt Abb. 16 für einen Ausschnitt der Innenstadt.

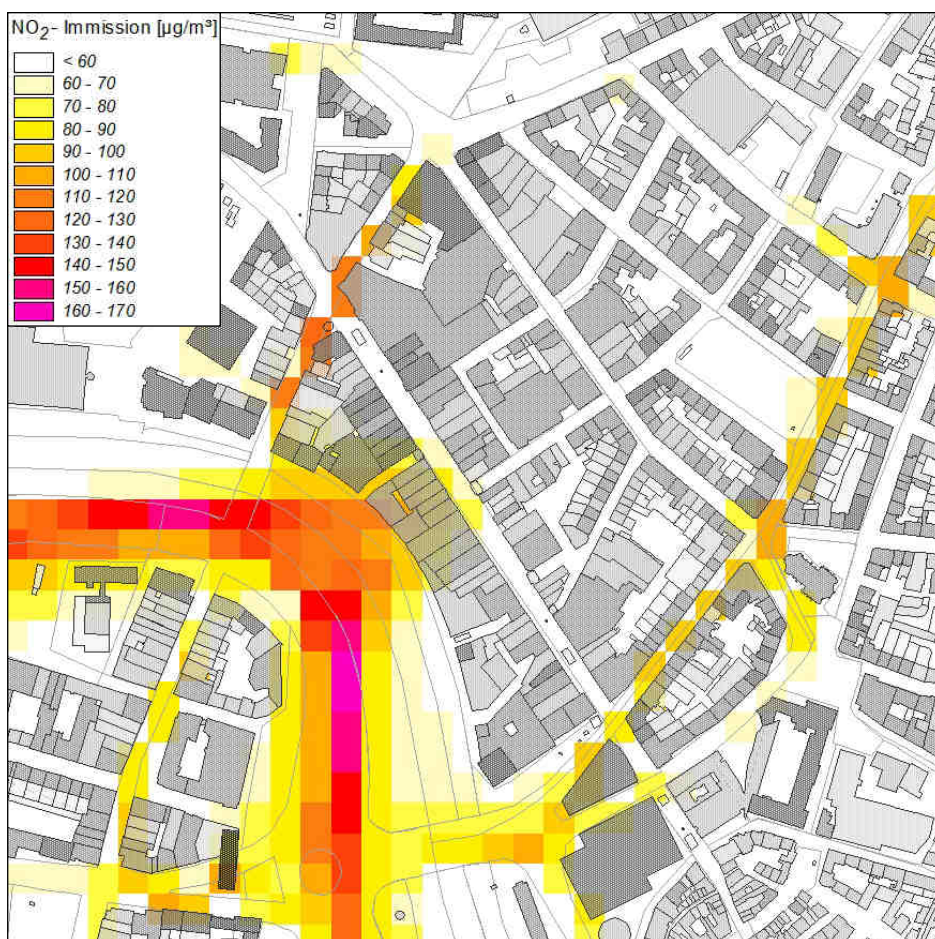


Abb. 16: NO_2 -Immissionsfeld (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) im Innenstadtbereich (austauscharme Wetterlage)

Dabei treten vor allem die Fahrbahnbereiche von Viktoriastraße und Kaiserstraße mit NO_2 -Konzentrationen in einer Größenordnung von $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2 hervor. Im Umfeld der Luisenbrücke sind im Verlauf der A 620 deutlich höhere Werte von bis zu $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ anzutreffen, wobei sich die Immission bis über die Saar ausdehnt. In den übrigen Straßenabschnitten des gezeigten Ausschnitts betragen die NO_2 -Immissionen weniger als $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. An den in Kap. 4.2.1 (S. 25) genannten IMMESA-Stationen „City“ und „Verkehr“ wurden für die austauscharme sommerliche Wettersituation Werte von $64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. $79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ simuliert. Für die Klimafunktionskarte sind in einem weiteren Bearbeitungsschritt alle Areale mit einer NO_2 -Konzentration $> 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erfasst und als lufthygienischer Belastungsbereich mit einer einheitlichen Signatur dargestellt worden.

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 Saarbrücken zugrunde. Darin wurden die relevanten meteorologischen Parameter wie Temperaturfeld, Kaltluftvolumenstrom und autochthones Strömungsfeld sowie die lufthygienische Belastung durch verkehrsbezogene Schadstoffe 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 Saarbrücken. 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 Saarbrücken. 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 Klima/Luft 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 klima- und immissionsökologische 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 mehr als 1° dominieren in Saarbrücken vorwiegend Kaltluftabflüsse. Die Gesamtfläche der Kaltluft produzierenden Grünflächen beziffert sich auf etwa 12.262 Hektar, was einem Flächenanteil von rund 73 % des Stadtgebietes entspricht.

Dabei werden vor allem die Hangbereiche als Zonen einer *sehr hohen Kaltluftlieferung* sichtbar. Dies ist auf die intensiven Kaltluftabflüsse zurück zu führen, die mit entsprechenden Kaltluftvolumina einhergehen. Besonders im Raum Güdingen-Bischmisheim-Ensheim führen die durch das Relief ausgelösten Kaltluftabflüsse über Ackerflächen zu einer intensiven Kaltluftdynamik.

Aufgrund der Randlage im südöstlichen Stadtgebiet ist ihr Einfluss auf Siedlungsflächen aber eher gering. Eine sehr hohe Kaltluftlieferung von Grünarealen und Bezug zu Siedlungsflächen ist vor allem im Raum Rockershausen-Burbach sowie Dudweiler gegeben und sind darüber hinaus noch kleinräumig im gesamten Stadtgebiet anzutreffen. Grünflächen *hoher Kaltluftlieferung* sind häufig mit den zuvor beschriebenen Hangbereichen vergesellschaftet. Mit einer Gesamtfläche von ca. 1.938 ha für die sehr hohe und 1476 ha für die hohe Kaltluftlieferung beträgt der Flächenanteil dieser Kategorie an der Gesamtgrünfläche ca. 15,8 % bzw. 12,1 %.

Die Ausgleichsleistung von Flächen, die eine *mittlere Kaltluftlieferung* aufweisen, ist ebenfalls als klimaökologisch relevant einzuschätzen. Dies betrifft sowohl vor allem die ausgedehnten Waldflächen im Stadtgebiet Saarbrücken. Die Flächensumme dieser mittleren Kategorie beträgt ca. 7.916 Hektar, was einem Anteil von ca. 64,5 % an der Gesamtgrünfläche entspricht.

Darüber hinaus sind die kleineren städtischen Parkareale, Friedhöfe 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 geringen Werten einher geht. Einen sehr geringen Kaltluftvolumenstrom weisen mit 933 ha etwa 7,6% 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 6 fasst die ausgewiesenen Kategorien zusammen:

Kaltluftlieferung	Gesamtgröße der Klasse in Hektar	Anteil am Grünflächenbestand
Sehr hoch	1.938	15,8 %
Hoch	1.476	12,1 %
Mittel	7.916	64,5 %
Gering	933	7,6 %

Tab. 6 Qualitative Einordnung der Kaltluftlieferung von Grünflächen im Stadtgebiet Saarbrücken

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

Wie in Kap. 3.3.2 (S. 15) 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. 56 % des Siedlungsraums mit Kalt-/Frischlufte versorgt und befinden sich damit im Einwirkungsbereich von Flurwinden und lokalen Kaltluftabflüssen.

Wie in Kap. 4.1.2 erläutert, hängt die Reichweite einer Kaltluftströmung in die Bebauung vor allem vom Ausmaß der Kaltluftdynamik ab. Sie ist bei Kaltluftabflüssen mit Bezug zu großräumigen Kaltluftentstehungsflächen wie z.B. im Raum **Am Homburg/Rothenbühl** am intensivsten. Die Eindringtiefe der Kaltluft beträgt, abhängig von der Bebauungsstruktur, zwischen ca. 100 m und bis zu 1900 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 geringen Versiegelungsgrad und hohem Grünanteil am geringsten ausgeprägt. Daher weisen vor allem die peripheren Stadtteile wie **Fechingen** oder **Eschringen** in günstige bis sehr günstige Bedingungen auf.

Diesen Gunsträumen stehen Belastungsbereiche mit einer überdurchschnittlichen Wärmebelastung und einem Durchlüftungsdefizit gegenüber. Dies betrifft vor allem die innerstädtischen Siedlungsräume, 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 17 zeigt in einem Ausschnitt aus der Klimafunktionskarte den Bereich **St. Johann**, wobei die bioklimatische Situation der Siedlungsräume mit einer Farbabstufung dargestellt ist. Dabei sind große Bereiche der Innenstadt als bioklimatisch ungünstig anzusprechen (Magenta). Die daran angrenzende Block- und Blockrandbebauung ist insgesamt durch weniger günstige Bedingungen (Orange) gekennzeichnet, wobei sie verbreitet ein Defizit an Durchlüftung aufweist.

Östlich der **Innenstadt** schließt ab den Gleisflächen eine ausgedehnte Einzel- und Reihenhausbauung mit günstigen Bedingungen an, was auf das Einwirken der Kaltluft und dem wenig verdichteten Siedlungstyp zurück zu führen ist (Hellgrün). Der Einwirkungsbereich der Kaltluft ist mit einer Schraffur dargestellt. Östlich der Kaiserslauterer Straße liegen sogar sehr günstige Bedingungen vor (Dunkelgrün), welche sich aus der Lage am Siedlungsrand und den intensiven Kaltluftabflüssen ergibt.

Darüber hinaus sind flächenhaft Areale abgegrenzt, die eine erhöhte Konzentration von mehr als 60 µg/m³ NO₂ während austauschbarer Wetterlagen aufweisen (Punktsignatur). Dies betrifft vor allem den Verlauf der A 620, Viktoriastraße und Kaiserstraße.

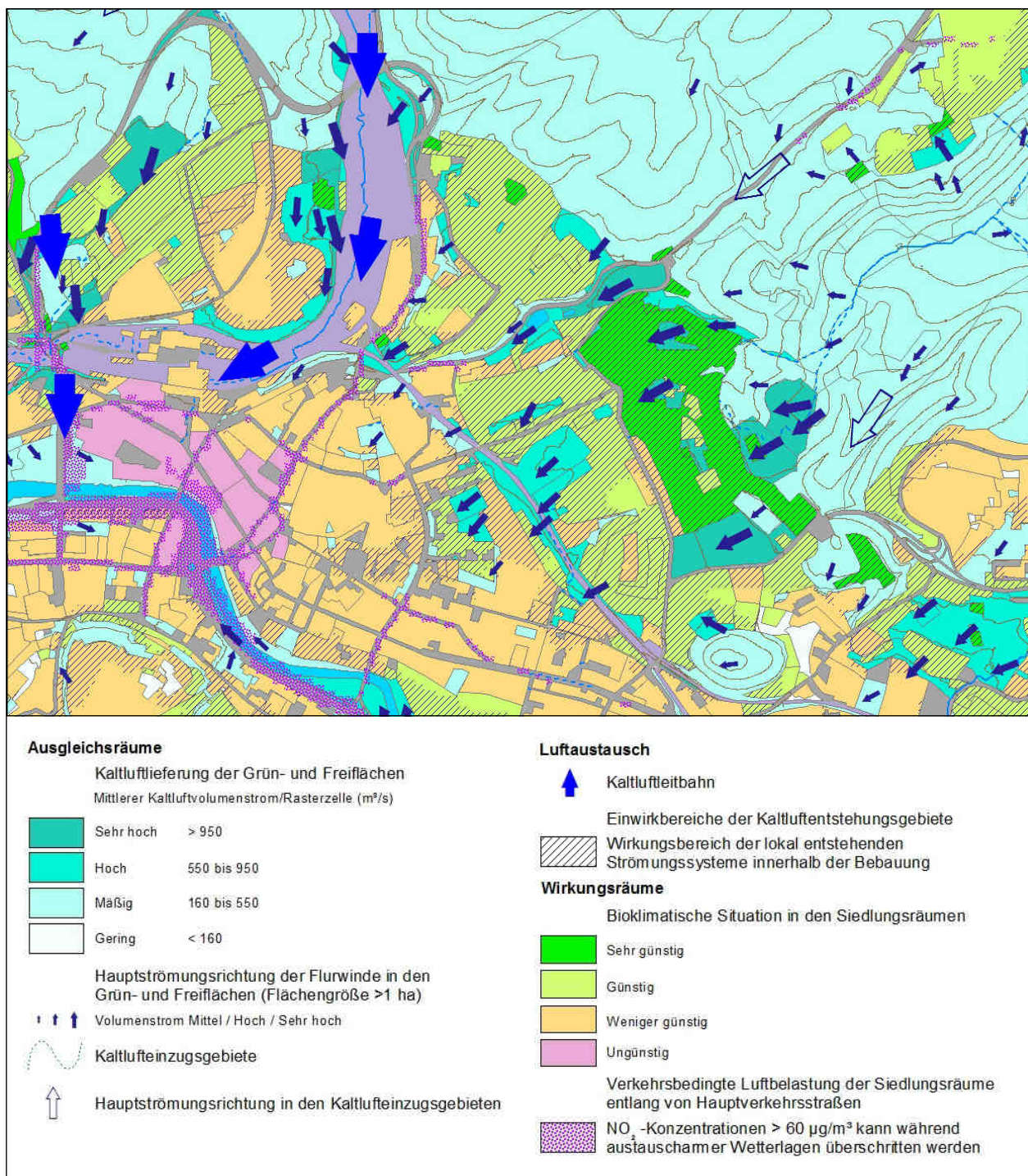


Abb. 17 Klimafunktionen im Bereich St. Johann

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. Als besonders bedeutsam sind die folgenden zu nennen:

- Bereich Waldfriedhof Burbach-Weyerbachtal
- Alter Friedhof Jenneweg-Jahnplatz
- Stadtpark Ludwigsberg
- Rangierbahnhof
- Deuschmühlental
- St. Arnualer Wiesen

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

6 Planungshinweiskarte Stadtklima

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

- Sicherung,
- Entwicklung und
- Wiederherstellung

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

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. 12).

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

Damit wird die unterschiedliche Bedeutung bzw. Bedeutung von Grünflächen am Tage bzw. in der Nacht deutlich. Einerseits sollen sie eine gute Aufenthaltsqualität am Tage gewährleisten, andererseits könne nächtliche Flurwinde die Wärmebelastung in den Siedlungsräumen lindern. Die Mindestgröße zur Ausbildung einer Kaltluftströmung lässt sich auf etwa 1 ha beziffern (SCHERER 2007). Abgesehen von der Flächengröße wird dies aber auch durch die grünplanerische Ausgestaltung mitbestimmt. Sofern ein bedeutsamer Luftaustausch durch Flurwinde stattfinden kann, sollte dieses (eigenbürtige) Luftaustauschsystem Grünfläche – angrenzende Bebauung und die damit verbundene klimaökologische Wohlfahrtswirkung 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 18 zeigt einen Ausschnitt aus der Planungshinweiskarte für den Bereich Innenstadt/St. Johann.

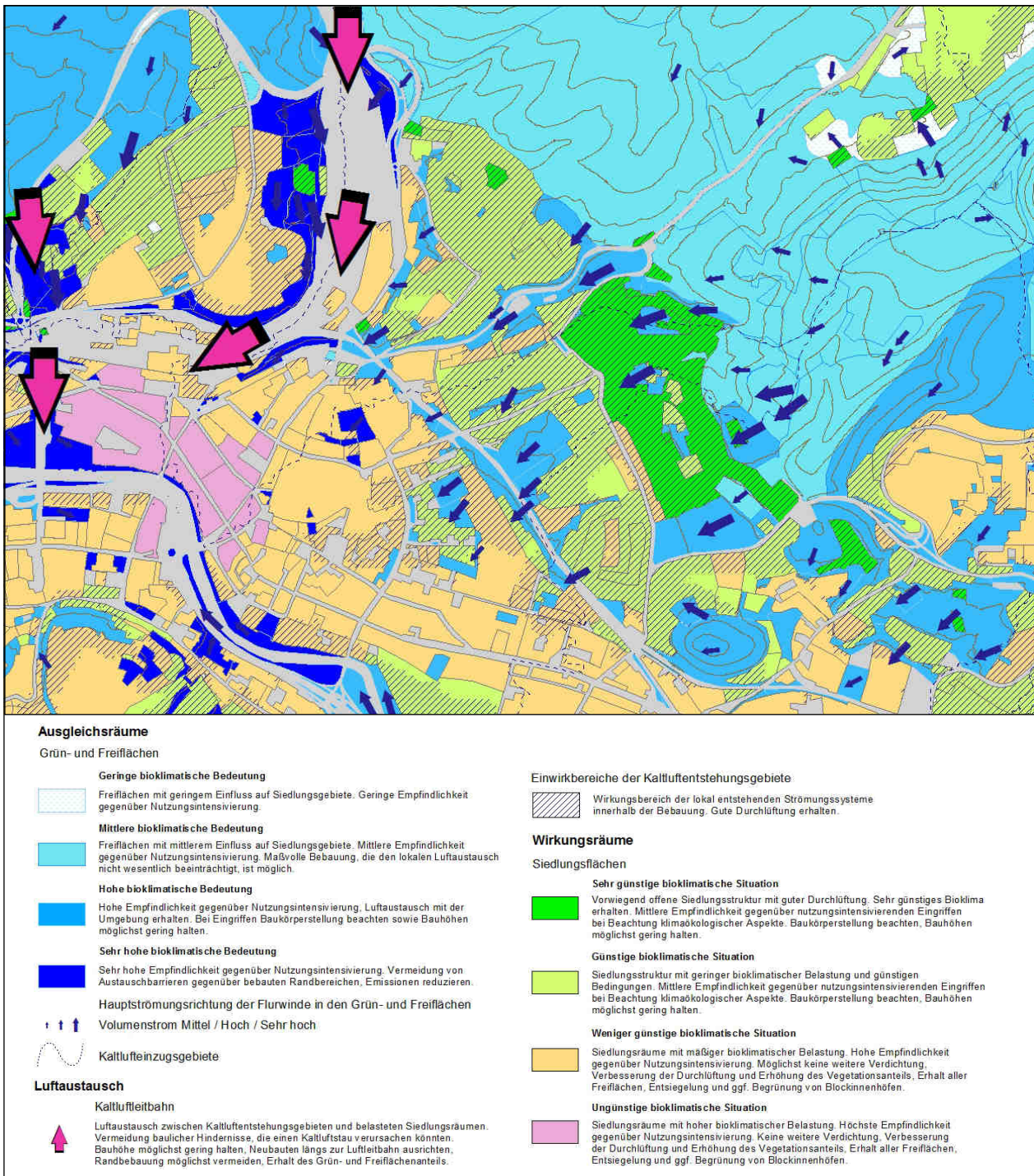


Abb. 18 Planungshinweise im Bereich St. Johann

In Folgendem wird auf die planerische Einordnung der klimaökologisch relevanten Elemente in Saarbrücken 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 Grünflächen¹ 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. 19, S. 41):

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. Definition sonstiger *relevanter Wirkungsräume* (Mindestgröße der Siedlung = 1 km²) unabhängig von ihrer bioklimatischen Belastung.
9. Ermittlung der an (8) *angrenzenden Grünflächen* (Toleranz = 50 m).
Im Gegensatz zu den unter (2) und (6) erfassten Grünflächen ist diese Ausweisung geeignet, die durch das nächtliche Einströmen von Kaltluft in den Siedlungskörper tatsächlich modellierte Minderung bioklimatischer Belastungen zu berücksichtigen. Hier steht somit das tatsächliche Ausgleichspotenzial der Grünfläche im Vordergrund.
10. Grünflächen aus (6) wird generell eine **hohe bioklimatische Bedeutung** zugesprochen
11. Grünflächen aus (7) und (9) wird eine **hohe bioklimatische Bedeutung** zugesprochen, wenn sie einen hohen Kaltluftvolumenstrom (KVS) aufweisen

Mittlere bioklimatische Bedeutung

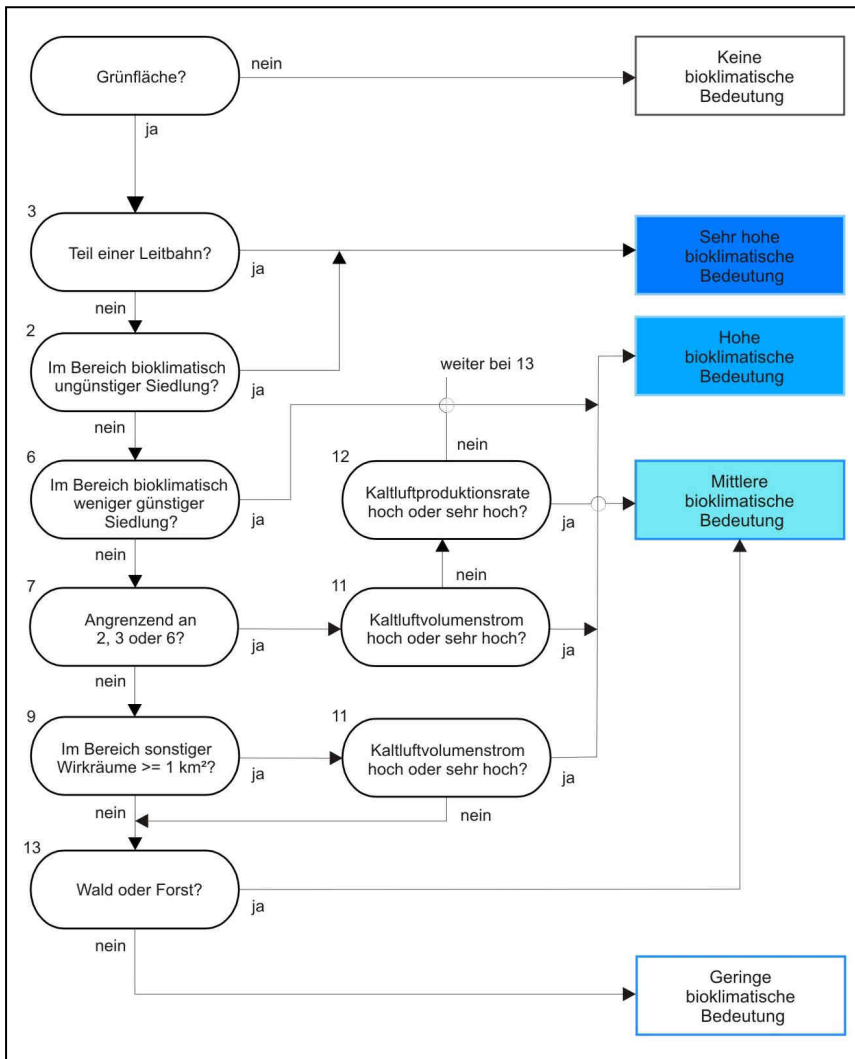
12. Grünflächen aus (7) wird eine **mittlere bioklimatische Bedeutung** zugesprochen, wenn sie eine hohe Kaltluftproduktionsrate (KPR) aufweisen
13. Waldflächen wird – wenn sie nicht bereits in eine der vorgenannten Kategorien fallen – pauschal ebenfalls eine **mittlere bioklimatische Bedeutung** zugesprochen.

¹ 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.

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

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

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



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

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

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

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

Bilanzierung der Grünflächen für das Stadtgebiet Saarbrücken

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. 36). Diese Kategorie ist z.B. mit dem **Bürgerpark** und dem **Uferbegleitgrün der Saar** vor allem im innerstädtischen Raum anzutreffen. Aber auch das **Deutschmühlental** oder der **Stadtspark Ludwigsberg** sind dahingehend einzuordnen. Die Gesamtgröße dieser Teilflächen beziffert sich auf ca. 305 Hektar.

Eine *hohe Bedeutung* kommt vor allem den die Kernstadt umgebenden Umlandflächen zu. Einerseits grenzen sie als Kaltluftquellgebiete mit hohem Kaltluftliefervermögen an Kaltluftleitbahnen, andererseits ergibt sich eine hohe Bedeutung durch die Nähe zu größeren Siedlungsflächen (> 1 km²), welche aufgrund ihrer Ausdehnung als potenziell belastete Räume betrachtet werden. In diesem Zusammenhang sind die unbebauten und an Waldflächen angrenzenden Hangareale, wie sie z.B. westlich von **Burbach** anzutreffen sind, aber auch die kleineren und innerhalb der Siedlungen lokalisierten Grünareale (z.B. in **St. Johann**) zu nennen. Die Gesamtfläche von Grünflächen hoher Bedeutung beträgt 3056 ha.

Eine *mittlere stadtklimatische Bedeutung* weisen vor allem die **Waldflächen** auf. Diese Kategorie ist mit insgesamt 7279 ha am gesamten Grünflächenbestand am stärksten vertretend.

Als vierte Kategorie werden Grün- und Freiflächen mit einer *geringen stadtklimatischen Bedeutung* ausgewiesen. Dabei handelt es sich um siedlungsferne Freiflächen, welche keinen nennenswerten Einfluss auf - belastete - Siedlungsbereiche ausüben. Dies sind allem die landwirtschaftlich genutzten Flächen des südöstlichen Stadtgebietes östlich von **Bischmisheim** und **Fechingen**. Tabelle 7 fasst die Flächenanteile der ausgewiesenen Kategorien zusammen:

Bewertung	Anteil am Grünflächenbestand	Anteil am Stadtgebiet
Sehr hoch	2,5 %	1,8 %
Hoch	24,9 %	18,2 %
Mittel	59,3 %	43,5 %
Gering	13,3 %	9,7 %

Tab. 7: Bilanzierung der planerisch relevanten Grünflächen

Somit lassen sich ca. 2,5 % des Grünflächenbestandes der höchsten planerischen Priorität zuordnen, während 24,9 % eine hohe Bedeutung aufweisen. Den mit 59,3 % höchsten Anteil machen allerdings die Grün- und Freiflächen mit einer mittleren Bedeutung aus. Die Flächen mit Randlage und geringer Relevanz für Siedlungsflächen haben einen Anteil von 13,3 % am Gesamtbestand.

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 einer wirksamen Kaltluftströmung gekennzeichnet.

Diese Räume weisen am ehesten ein Potenzial zur weiteren maßvollen, baulichen Verdichtung auf, da sie lediglich **gering** bzw. **nicht belastet** sind. In diesem Zusammenhang 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.
- Günstiges Bioklima 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 prinzipiell Tal- und Niederungsbereiche, größere Grünflächen sowie Bahnareale als geeignete Strukturen in Frage kommen. In diesem Zusammenhang dienen Leitbahnen im Stadtgebiet Saarbrücken 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

Diese Hinweise gelten auch für lokale Kaltluftabflüsse und Flurwinde innerhalb kleinerer Grünflächen. Die Niederungsbereiche größerer Fließgewässer wie der Saar unterstützen zusätzlich die Durchlüftung von Siedlungsflächen auch bei austauschstärkeren Wetterlagen.

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. 8 dargestellt und lassen sich über die Farbe in der Planungshinweiskarte verorten.

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-/Frischlüftlieferung	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-/Frischlüftlieferung	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-/Frischlüftlieferung	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-/Frischlüftlieferung	Freiflächen mit geringem Einfluss auf Siedlungsgebiete und/oder unbedeutender Kalt-/Frischluffproduktion.	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 Durchdrümnungsgrad 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 bis hohe 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 bis sehr 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. 8: Stadtklimatische Hinweise für Planungsentscheidungen

Mit der durchgeführten Analyse der klima- und immissionsökologischen Funktionen stehen flächendeckend aktuelle Informationen zu den Schutzgütern Klima und Luft für das gesamte Stadtgebiet Saarbrückens zur Verfügung. Damit wird eine fundierte klimatisch-lufthygienische 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.

7 Fazit

Die vorliegende Untersuchung hat die klimaökologischen Funktionszusammenhänge im Stadtgebiet Saarbrücken während austauscharmer, sommerlicher Hochdruckwetterlagen dargelegt. Durch die Zufuhr von frischer und kühlerer Luft können klima- und immissionsökologische Ausgleichsleistungen für die Belastungsräume erbracht werden. In diesem Rahmen sind bioklimatisch und/oder lufthygienisch 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. 20). Eine Flächenbilanzierung der vorliegenden Belastungsklassen ergibt:

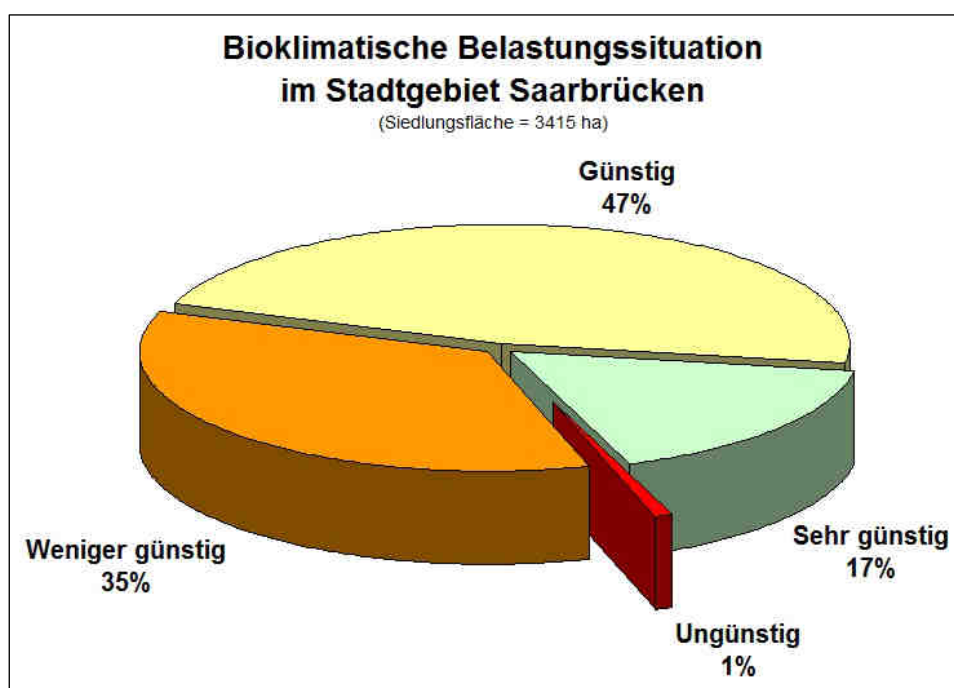


Abb. 20 Flächenanteile der bioklimatischen Belastung (Nachtsituation)

- 1 % der Siedlungsfläche weist, bezogen auf die Verhältnisse in der Stadt Saarbrücken, eine sehr hohe bioklimatische Belastung auf und ist als ungünstig einzuordnen
- 35 % sind als bioklimatisch weniger günstig anzusehen
- 47 % weisen günstige Bedingungen auf und haben damit eine geringe Belastung
- 17 % des Siedlungsraumes sind unbelastet und als bioklimatisch sehr günstig anzusehen

Des Weiteren befinden sich 56,1 % der Siedlungsfläche bis 04:00 Uhr morgens im Einwirkungsbereich von Flurwinden und lokalen Kaltluftabflüssen. Als klima- und immissionsökologisches Qualitätsziel ergibt sich die Sicherung, Entwicklung und Wiederherstellung wichtiger Oberflächenstrukturen zur Verbesserung bzw. Erhaltung bioklimatisch günstiger Verhältnisse sowie der Luftqualität. Durch die Kenntnis der wichtigen, das klimaökologische Prozessgeschehen steuernden Strukturelementen wie Kaltluftentstehungsflächen, Luftleitbahnen und Komforträumen sowie ihrer qualitativen Einordnung steht mit der vorliegenden Untersuchung eine wichtige Grundlage zur Umsetzung dieser Ziele bereit.

8 Literatur

- GEO-NET Umweltconsulting GmbH (2011): Lufthygienische Untersuchungen zum Luftreinhalteplan der Stadt Saarbrücken.
- 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
- UBA (2010): HBEFA Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. Version 3.1/Januar 2010. INFRAS AG, Bern Schweiz, Hrsg.: UBA (Umweltbundesamt) Berlin.
- 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.

9 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 Kaltluftschicht² 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.

² Die Schichtgrenze wird dort angesetzt, wo die horizontale Fließgeschwindigkeit geringer als 0,2 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 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.