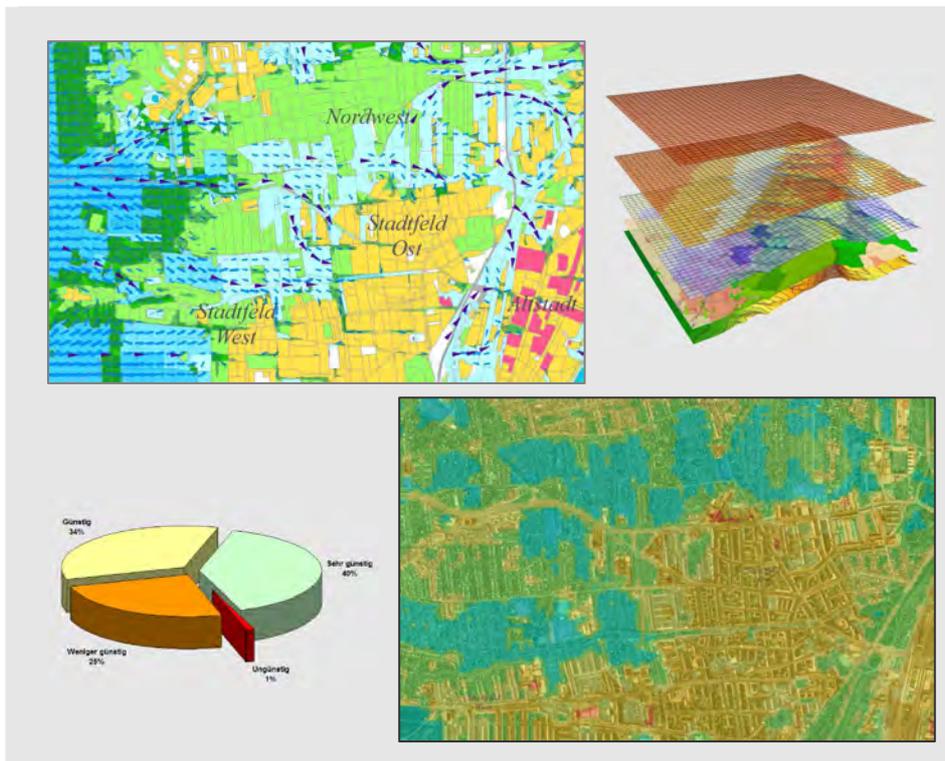


Klimafunktionskarte und Planungshinweiskarte Klima/Luft für die Landeshauptstadt Magdeburg

Analyse der klima- und immissionsökologischen Funktionen
im Stadtgebiet von Magdeburg und deren planungsrelevante
Inwertsetzung im Rahmen einer vorsorgeorientierten
Umweltplanung

Aktualisierung und Fortschreibung 2013



Auftraggeber:



Landeshauptstadt Magdeburg
Umweltamt
Julius-Bremer-Straße 8 – 10
39104 Magdeburg



GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Große Pfahlstraße 5a
30161 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, 20.11.2013

Auftrag: Klimafunktionskarte und Planungshinweiskarte Klima/Luft für die
Landeshauptstadt Magdeburg

Standort: Landeshauptstadt Magdeburg
Bundesland: Sachsen-Anhalt
Deutschland

Auftraggeber: Landeshauptstadt Magdeburg
Umweltamt
Julius-Bremer-Straße 8 – 10
39104 Magdeburg

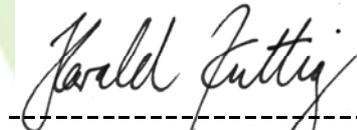
Projektnummer: 2_12_008

Berichtsnummer: 2_12_008_MD_KFK_PHK_Rev02

Version: 3

Datum: 20.11.2013

Erstellt von:



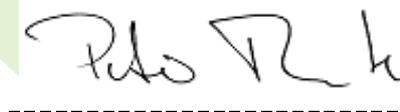
Dipl.-Geogr. Harald Kuttig

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 entsprechend dem Stand der Technik nach besten 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:
1. Aufgabenstellung.....	1
2. Datengrundlage und Aufbau der Geodatenbasis für die Modellrechnungen	3
2.1 Geländehöhe	3
2.2 Nutzungsstruktur	4
2.3 Straßenverkehr	7
3. Methodik	9
3.1 Beschreibung des verwendeten Klima- und Strömungsmodells FITNAH	9
3.2 Modellierung der verkehrsbedingten Luftschadstoffausbreitung	14
3.3 Abgrenzung und Bewertung der klimaökologisch wirksamen Nutzungsstrukturen	16
3.3.1 Standardisierung der Parameter	17
3.3.2 Grünflächen und Freiräume	18
3.3.3 Bioklima in den Siedlungsflächen	20
3.3.4 Planerische Einordnung der Grünflächen	22
4. Ergebnisse der Klimamodellierung	25
4.1 Kaltlufthaushalt – Bodennahes Lufttemperaturfeld	25
4.2 Kaltlufthaushalt – Autochthones Windfeld	29
4.3 Kaltlufthaushalt – Kaltluftvolumenstrom	32
4.4 Kaltlufthaushalt – Kaltluftproduktionsrate	34
4.5 Lufthygienische Belastung durch die Quellgruppe Verkehr	36
5. Klimaökologische Funktionen	39
5.1 Grünflächen und Freiräume	39
5.2 Siedlungsräume	41
5.3 Luftaustausch	44
6. Planungshinweiskarte Klima/Luft	46
6.1 Grünflächen und Freiräume	46
6.2 Siedlungsräume	48
6.3 Luftaustausch	51
6.4 Nutzungshinweise für die Bauleitplanung	51
6.5 Kleinräumige Maßnahmen zur Verringerung der Wärmebelastung	53
7. Fazit	54
8. Literatur	55
9. Glossar	58

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Geländehöhe im Untersuchungsraum	3
Abb. 2	Nutzungsstruktur des Untersuchungsgebietes	5
Abb. 3:	Verkehrsmengen (DTV in Kfz/d) und LKW-Anteile in %	7
Abb. 4:	Unterschiedliche Rasterweiten bei einem digitalem Geländehöhenmodell	10
Abb. 5:	Einfluss der Bebauungsdichte auf die Strömungsgeschwindigkeit	11
Abb. 6:	Einfluss der Vegetation auf die Durchströmbarkeit einer Rasterzelle	12
Abb. 7:	Eingangsdaten für die Modellrechnung	12
Abb. 8:	Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für verschiedene Landnutzungen	13
Abb. 9:	Emissionsdichten von NO ₂ und PM10 in Gramm pro Meter und Tag	14
Abb. 10:	Schema der Wertezuordnung zwischen Flächen- und Punktinformation	16
Abb. 11:	Veranschaulichung der Standardisierung zur vergleichenden Bewertung von Parametern	17
Abb. 12:	Prinzipskizze Kaltluftleitbahn	19
Abb. 13:	Schematisierter Verfahrensablauf zur flächenhaften Bewertung der Referenzgeometrie	21
Abb. 14:	Vereinfachtes Verknüpfungsmodell zur Ermittlung der bioklimatischen Bedeutung der Grünflächen	24
Abb. 15:	Temperaturfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens	27
Abb. 16:	Ausschnitt des Temperaturfeldes zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens	28
Abb. 17:	Spektrum der Lufttemperatur im Bereich verschiedener Nutzungsklassen	28
Abb. 18:	Prinzipskizze Flurwind	29
Abb. 19:	Strömungsgeschwindigkeit und Richtung zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens	30
Abb. 20:	Strömungsverlauf innerhalb von Frei- und Siedlungsflächen am Beispiel Sudenburgs	31
Abb. 21:	Kaltluftvolumenstrom zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens	33
Abb. 22:	Kaltluftproduktion im Untersuchungsgebiet	34
Abb. 23:	Jahreskenngrößen der NO ₂ -Konzentration an den LÜSA-Messnetz-Stationen Magdeburg	36
Abb. 24:	Jahreskenngrößen der PM10-Konzentration an den LÜSA-Messnetz-Stationen Magdeburg	37
Abb. 25:	Verdriftung und qualitative Konzentration von Luftschadstoffen im nächtlichen Strömungsfeld	38
Abb. 26:	Freiflächesystem mit axialen Grünverbindungen	40
Abb. 27:	Bilanz der bioklimatischen Verhältnisse von Siedlungsräumen im Untersuchungsgebiet	42
Abb. 28:	Klimafunktionskarte (Ausschnitt)	43
Abb. 29:	Beispiele wichtiger übergeordneter Luftaustauschbereiche	45
Abb. 30:	Bilanz der Freiräume und Grünflächen und ihrer bioklimatischen Bedeutsamkeit im Untersuchungsgebiet	47
Abb. 31:	Planungshinweiskarte (Ausschnitt)	50

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Nutzungskategorien des Untersuchungsgebietes	6
Tab. 2:	Bewertung der Kaltluftlieferung innerhalb von Grünflächen in der Klimafunktionskarte	18
Tab. 3:	Klassifizierung der bioklimatischen Belastung der Siedlungsflächen während einer windschwachen Sommernacht	20
Tab. 4:	Qualitative und quantitative Einordnung der Kaltluftproduktionsrate	35
Tab. 5:	Aktuell rechtsverbindliche Immissionsgrenzwerte in $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	37
Tab. 6:	Bilanz der Kaltluftlieferung von Freiräumen und Grünflächen im Untersuchungsgebiet mit durchschnittlicher Ausprägung der Klimaparameter	41
Tab. 7:	Bilanz der Kaltluftlieferung von Freiräumen und Grünflächen im Stadtgebiet von Magdeburg mit durchschnittlicher Ausprägung der Klimaparameter	41
Tab. 8:	Bilanz der Siedlungsräume im Untersuchungsgebiet mit durchschnittlicher Ausprägung der Klimaparameter	42
Tab. 9:	Bilanz der Siedlungsräume im Stadtgebiet von Magdeburg mit durchschnittlicher Ausprägung der Klimaparameter	42
Tab. 10:	Bilanz der planerisch relevanten Freiräume und Grünflächen	47
Tab. 11:	Allgemeine stadtklimatische Hinweise für Planungsentscheidungen (Freiräume und Grünflächen)	48
Tab. 12:	Allgemeine stadtklimatische Hinweise für Planungsentscheidungen (Siedlungsräume)	49

1. Aufgabenstellung

Das Wohlbefinden und die Gesundheit der Menschen ist nicht zuletzt abhängig von den meteorologischen Verhältnissen in ihrem Lebensumfeld. Dabei wirkt sich die Gestaltung dieses Lebensumfeldes, also vornehmlich die des Siedlungsraumes, direkt auf die in ihm auftretenden Wärme- und Luftbelastungen aus. Klimatische und lufthygienische Aspekte sind somit durch den Menschen beeinflussbar und daher feste Bestandteile der räumlichen Planung.

Für die planerische Berücksichtigung der Schutzgüter Klima und Luft ist es bedeutsam, sich auf eine differenzierte Bewertung der kleinräumig variablen klimatischen Bedingungen einschließlich ihrer komplexen Wechselwirkungen stützen zu können. Aus der Kenntnis der klimatischen Funktionszusammenhänge im Stadtgebiet lassen sich Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen ableiten, deren Ziel die Sicherung, Optimierung und Wiederherstellung klima- und immissionsökologisch bedeutsamer Flächen und Oberflächenstrukturen ist. Im Hinblick auf konkurrierende Planungsziele ist das Vorliegen flächenbezogener Fachinformationen ein wichtiges Hilfsmittel zur sachgerechten Beurteilung des Bioklimas und der Luftqualität innerhalb des Planungsprozesses.

Bereits 1993 ist für Magdeburg eine gesamtstädtische Klimaanalyse erarbeitet worden (STEINICKE UND STREIFENEDER 1993). Diese ist im Jahre 1999 vom Büro GEO-NET Umweltplanung und GIS-Consulting GbR auf Grundlage umfangreicher Messkampagnen fortgeschrieben und aktualisiert worden. Anders als diese Arbeiten beruht die nun vorliegende Fortschreibung 2012 im Wesentlichen auf einem modellgestützten Analyseansatz. Dieses Vorgehen unterscheidet sich von der früher verbreiteten statischen Betrachtung auf Basis von Klimatopen, in denen ein strukturtypisch einheitliches Mikroklima unabhängig von der Lage des Klimatops angenommen wird (VDI 1997). Aufgrund der großen räumlichen und zeitlichen Variation der meteorologischen Felder im Bereich einer komplexen Umgebung sind Messungen letztlich nur punktuell repräsentativ, eine Übertragung in benachbarte Räume ist nur mit Schwierigkeiten möglich. Mesoskalige Modelle können zu entscheidenden Verbesserungen dieser Nachteile beitragen: Sie schließen physikalisch fundiert die räumlichen und zeitlichen Lücken zwischen den Messungen, ermitteln Strömungs- und Temperaturfelder in ihrer raumfüllenden Struktur und berechnen zusätzliche meteorologische Größen. Des Weiteren ermöglicht nur die numerische Simulation eine Prognose zukünftiger Entwicklungen.

Die mit der Anwendung des Klimamodells FITNAH gewonnenen Ergebnisse der vorliegenden Klimaanalyse sollen zu einer umfassenden Bestandsaufnahme der klimatisch-lufthygienischen Situation im Stadtgebiet von Magdeburg beitragen. Die durchgeführten Untersuchungen hatten darüber hinaus das Ziel, die unterschiedlichen Teilflächen der Stadt nach ihren klimatischen Funktionen, d. h. ihrer Wirkungen auf andere Räume, abzugrenzen und die klimaökologisch wichtigen Raumstrukturen herauszuarbeiten. Methodischer Ausgangspunkt für die Erstellung dieser komplexen und hochauflösenden Karte der klima- und immissionsökologischen Funktionen (Klimafunktionskarte) 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.

Als Grundlage für die Bewertung dienen die für eine austauscharme Strahlungswetternacht modellierten meteorologischen Parameter der Klimaanalyse. Zur Abschätzung der verkehrsbedingten Luftbelastung wurde ein flächendeckendes Immissionsfeld für eine windschwache Wettersituation modelliert.

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.

Darüber hinaus wurden 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, Luftleitbahnen und Komforträumen können Flächen benannt werden, die in ihrem Bestand gesichert und aus bioklimatischer Sicht vor negativen Einflüssen geschützt werden sollen. Andererseits werden Belastungsräume mit einem Mangel an Durchlüftung und/oder lufthygienischer Belastung identifiziert.

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

2. Datengrundlage und Aufbau der Geodatenbasis für die Modellrechnungen

Nutzungsstruktur und Geländehöhe sind wichtige Eingangsdaten für die Klimamodellierung: Über die Oberflächengestalt, die Höhe der jeweiligen Nutzungsstrukturen sowie deren Versiegelungsgrad wird das autochthone Strömungs- und Temperaturfeld entscheidend beeinflusst. Die hierfür erforderlichen Geodaten wurden vom Vermessungsamt der Stadt Magdeburg zur Verfügung gestellt (HOCHSCHULE MAGDEBURG-STENDAL 2011a). Ausgehend von einer Stadtgebietsfläche von ca. 202 km² wurde ein Untersuchungsgebiet mit den Abmessungen 18 x 24 km gebildet, das dementsprechend eine Fläche von insgesamt 432 km² umfasst. Die Modellierung der meteorologischen Parameter erfolgte für 691 200 Rasterzellen mit einer Zellengröße von jeweils 25 m x 25 m.

2.1 Geländehöhe

Magdeburg liegt topographisch am Übergang zwischen der höhergelegenen westlichen Bördelandschaft (Magdeburger Börde) und der tiefergelegenen östlichen Elbaue. Die geschichtliche Besiedlung erfolgte vor allem in nord-südlicher Richtung auf dem westlichen Hochufer entlang der Elbe. Eine städtische Entwicklung in östlicher Richtung wurde wegen der schwierigen Siedlungsbedingungen innerhalb der Aueniederungen und aufgrund der Funktion der Elbe als Grenzfluß über Jahrhunderte verhindert (HAASE 2003). Ein Teil des Siedlungsgebietes liegt auf der langgestreckten Insel zwischen Strom-Elbe und Alter Elbe sowie am flachen östlichen Ufer des Flusses. Elbaue und Bördeland sind durch einen Terrassensprung von 5 bis 10 Metern Höhe voneinander getrennt.

Die für die Klimaanalyse notwendigen orographischen Eingangsparameter wurden auf Grundlage eines digitalen Geländehöhenmodells der Stadt Magdeburg mit einer Auflösung von 5 m abgeleitet (HOCHSCHULE MAGDEBURG-STENDAL 2011a). Für das außerhalb der Stadtgrenzen liegende Umland wurde das Geländemodell durch SRTM-Höhendaten ergänzt (USGS 2000). Darauf basierend wurde das für die Modellrechnung erforderliche Raster mit einer Auflösung von 25 m erzeugt.

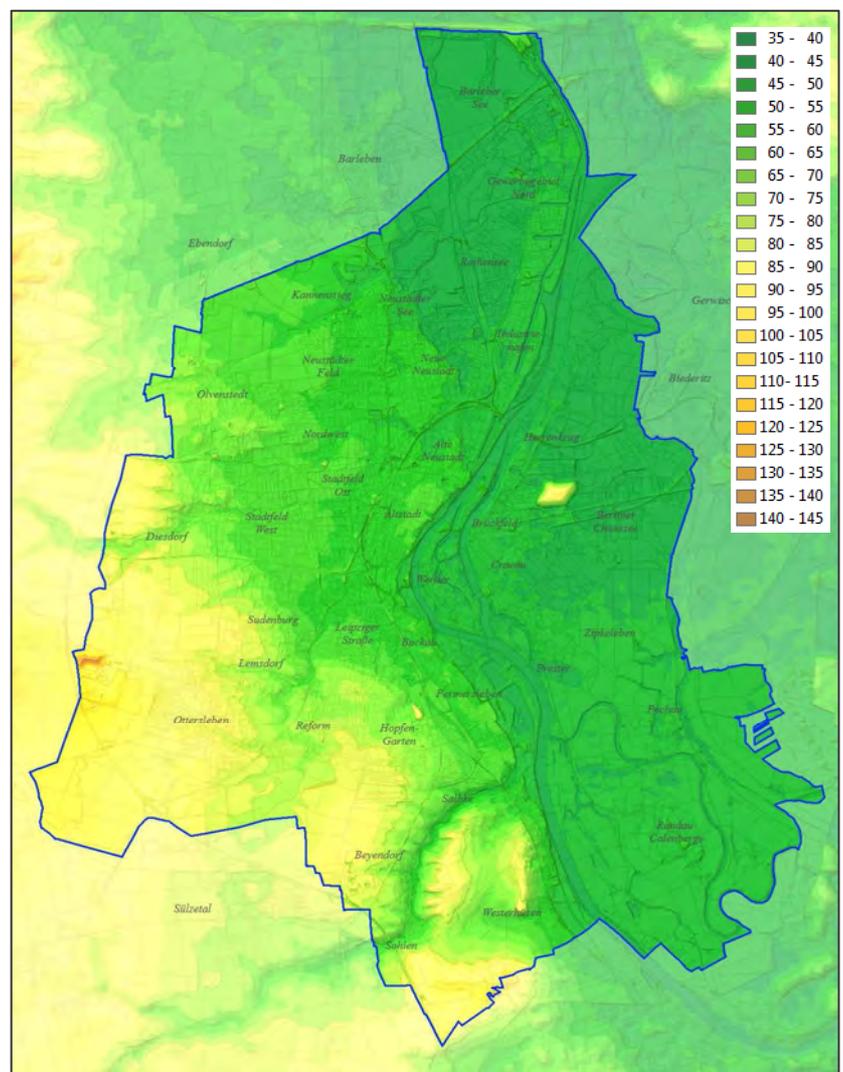


Abb. 1: Geländehöhe im Untersuchungsraum (in m ü. NN)

2.2 Nutzungsstruktur

Zwischen der agrarisch geprägten Magdeburger Börde im Westen und dem extensiv genutzten Naturraum der Elbauen im Osten erstreckt sich am Westufer der Elbe der ausgedehnte Siedlungsraum Magdeburgs mit seinen stadttypischen Nutzungsstrukturen: Ausgehend von einer im Allgemeinen lockeren Einzelhausbebauung in den peripheren Stadtteilen verdichtet sich die Wohnbebauung über zeilen- und blockartig ausgebildete Strukturen mit zwischenliegenden Gewerbeflächen in Richtung innerstädtisches Zentrum und umliegende Stadtteilzentren. Der hohe Flächenanteil von stadtgliedernden Parkanlagen, Kleingärten und Grünzügen kennzeichnet Magdeburg als eine der „grünsten“ Städte Deutschlands (LANDESHAUPTSTADT MAGDEBURG 2010).

Die möglichst exakte Abbildung der Nutzungsstruktur ist für die Klimamodellierung von zentraler Bedeutung: Nutzungsbedingte Veränderungen des örtlichen Windfeldes und des Wärmehaushaltes sind die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Ausbildung eines gegenüber dem Umland veränderten Stadtklimas (siehe Kapitel 4.1). Zahlreiche der vielen stadtklimatologisch relevanten Parameter lassen sich daher über die Strukturhöhe, die Bebauungsdichte und den Grad der Oberflächenversiegelung einer Fläche abschätzen. Die Ausprägung dieser Einflussgrößen ist nutzungsabhängig und nimmt bei gleichen Nutzungstypen ähnliche Werte an. Somit ermöglicht die Analyse der Nutzungen im Untersuchungsgebiet eine Abgrenzung von Gebieten ähnlicher stadtstruktureller Ausstattung und damit einhergehender stadtklimatischer Charakteristika. Für die Einordnung dieser Einflussgrößen wurden im vorliegenden Gutachten Nutzungsklassen definiert, die eine unter klimatisch-lufthygienischen Gesichtspunkten sinnvolle Differenzierung der Oberflächenstruktur erlauben (s. MOSIMANN et al. 1999). Dabei wurde ein vereinfachter 14-klassiger Nutzungsschlüssel verwendet, dessen Abgrenzung eine Zuweisung des Versiegelungsgrades und der Strukturhöhe auf Basis der in den Eingangs- und Literaturdaten vorkommenden Nutzungsklassifizierungen erlaubt (siehe Tab. 1 auf Seite 6).

Zur Aufbereitung der Nutzungsstrukturen wurde das ATKIS-Basis-DLM (LVERMGEO SA 2010) sowie die Realnutzungskartierung (LANDESHAUPTSTADT MAGDEBURG 2011a) der Stadt verwendet. Für die Areale außerhalb des Stadtgebietes, für die keine detaillierten Nutzungsdaten vorlagen, sind Corine-Landnutzungsinformationen zur Vervollständigung der Geodatenbasis herangezogen worden (DLR-DFD 2009). Die auf diese Weise gebildeten Areale dienen sowohl der Abgrenzung der Nutzungsstrukturen als auch – im Rahmen der späteren Analyse auf Grundlage der Klimafaktoren – als **Referenzgeometrie** der Flächenbewertung in den Synthesekarten (siehe auch Kapitel 3.3). Die Nutzungsstruktur dieser Referenzgeometrie zeigt die Abb. 2 auf der Folgeseite.

Modellrechnungen verwenden rasterhafte Repräsentationen von Eingangsvariablen. Für die Bereitstellung der Modelleingangsdaten muss die Flächengeometrie daher auf Rasterzellen jeweils einheitlicher Nutzungsstruktur – hier mit einer Maschenweite von 25 m – übertragen werden. Im Zuge des hierbei eingesetzten geostatistischen Verfahrens wurden kleinere Nutzungseinheiten, die aufgrund der Maßstabsbeschränkung in der Flächengeometrie nicht enthalten sind (z. B. Straßenräume, Plätze, kleinere Baumgruppen) den einzelnen Rasterzellen mittels umfangreichem Abgleich auf Basis von Luftbildern (HOCHSCHULE MAGDEBURG-STENDAL 2011b) zugeordnet.

Aus der Verknüpfung der unterschiedlichen Quellen ist somit eine aktuelle Informationsebene zur Realnutzung, Strukturhöhe und Oberflächenversiegelung aufgebaut worden.

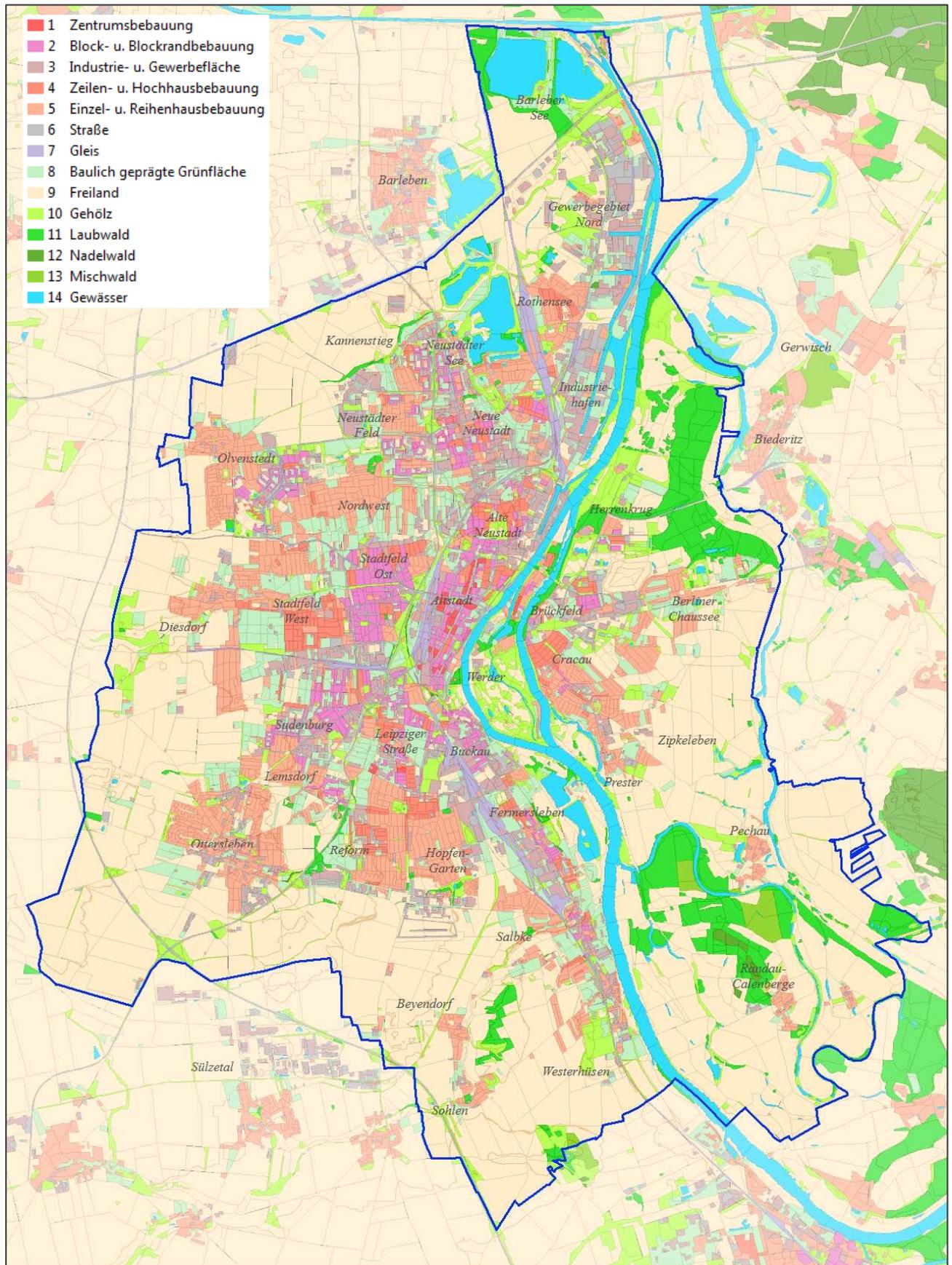


Abb. 2 Nutzungsstruktur des Untersuchungsgebietes

Klasse	Flächentyp	Beschreibung	Fläche (km ²)	Flächenanteil (%)	Mittlerer Versiegelungsgrad (%)	Mittlere Strukturhöhe (m)
1	Zentrumsbebauung	Kerngebietsnutzung, gekennzeichnet durch einen sehr hohen Bebauungs- und Versiegelungsgrad.	0,32	0,1	95	25,0
2	Block- und Blockrandbebauung	Vergleichsweise dicht bebauete Siedlungsfläche. Geprägt durch vier- bis sechsgeschossige Mehrfamilienhäuser mit mehr oder weniger stark versiegelten Innenhofbereichen.	5,71	1,3	78	15,0
3	Industrie- und Gewerbefläche	Gewerbliche Bauflächen. Ähnlich hoher Versiegelungsgrad wie die Zentrumsbebauung, meist geringeres Bauvolumen.	14,41	3,3	87	10,0
4	Zeilen- und Hochhausbebauung	Zeilenbebauung, halboffene Blockrandbebauung, Hochhäuser. Typisch ist der durch unbebaute Abstandsflächen bedingte relativ hohe Freiflächenanteil.	4,78	1,1	55	15,0
5	Einzel- und Reihenhausbauung	Siedlungsflächen mit relativ geringem Überbauungsgrad im Übergang zwischen relativ dichter Reihenhausbauung und baulich geprägter Grünfläche.	35,83	8,3	41	5,0
6	Straße	Ebenerdig versiegelte Fläche des Straßenraums.	11,15	2,6	95	0,0
7	Gleis	Schienenverkehrsfläche mit geringer Strukturhöhe.	2,77	0,6	25	0,5
8	Baulich geprägte Grünfläche	Vegetationsgeprägte Flächen mit einem erhöhten Anteil an versiegelter Fläche (Zuwegungen) und/oder Bebauung. Hierzu zählen z. B. Kleingartenanlagen und Gartenbauflächen, sowie Spiel- und Sportplätze.	24,93	5,8	25	5,0
9	Freiland	Vornehmlich landwirtschaftlich genutzte Flächen wie Wiesen, Weiden und Äcker. Innerstädtisch handelt es sich meist um Rasenflächen mit geringem Gehölzanteil.	266,42	61,7	5	1,0
10	Gehölz	Gehölzgeprägte Flächen wie städtische Parkareale, Obstbauflächen, Brachen, Straßenbegleitgrün.	22,45	5,2	5	2,0
11	Laubwald	Waldgeprägte Flächen, vornehmlich sommergrün.	16,75	3,9	5	12,5
12	Nadelwald	Waldgeprägte Flächen, vornehmlich immergrün.	6,70	1,6	5	12,5
13	Mischwald	Waldgeprägte Flächen, Mischbestand.	2,51	0,6	5	12,5
14	Wasserfläche	Still- und Fließgewässer.	17,27	4,0	0	0

Tab. 1: Nutzungskategorien des Untersuchungsgebietes

2.3 Straßenverkehr

Die Stadt Magdeburg ist ein wichtiger Verkehrsknotenpunkt – insbesondere auch für den Straßenverkehr. Die überregionale Straßenanbindung erfolgt über die peripheren Bundesautobahnen und über die in Nord-Süd-Richtung die Stadt durchquerenden Bundesstraßen des Magdeburger Rings („Tangente“) und die als Ost-West-Verbindung fungierende Bundesstraße B 1. Weitere regional relevante Straßenachsen führen als Radialen in die innere Stadt bzw. umschließen die Altstadt als Ring (LANDESHAUPTSTADT MAGDEBURG 2010).

„Der Verkehr verursacht den überwiegenden Anteil der Emissionen an Partikeln PM10 und Stickoxiden in Magdeburg. Anders als die Emissionen aus industriellen Quellen und Kleinf Feuerungsanlagen werden die straßenverkehrsbedingten Emissionen in geringen Höhen und in direkter Nähe zum Schutzgut (menschliche Gesundheit) freigesetzt. Als Folge treten insbesondere an Straßen mit hohen Verkehrsströmen und unmittelbar angrenzender Wohnbebauung hohe Immissionsbelastungen mit Grenzwertüberschreitungen auf.“ (MLU 2011, S. 16).

Das vorstehende Zitat aus dem Luftreinhalteplan für den Ballungsraum Magdeburg von 2011 verdeutlicht die Relevanz der Berücksichtigung des Straßenverkehrs als Luftschadstoffquelle in bioklimatischen Untersuchungen. Aufgrund der bei austauscharmen Wetterlagen in Richtung Innenstadt gerichteten Ausgleichsströmungen, erlangt die lufthygienische Qualität der transportierten Luftmassen eine besondere Bedeutung. Dabei kann unbelastete Kaltluft („Frischluff“) zu einer nächtlichen Durchlüftung

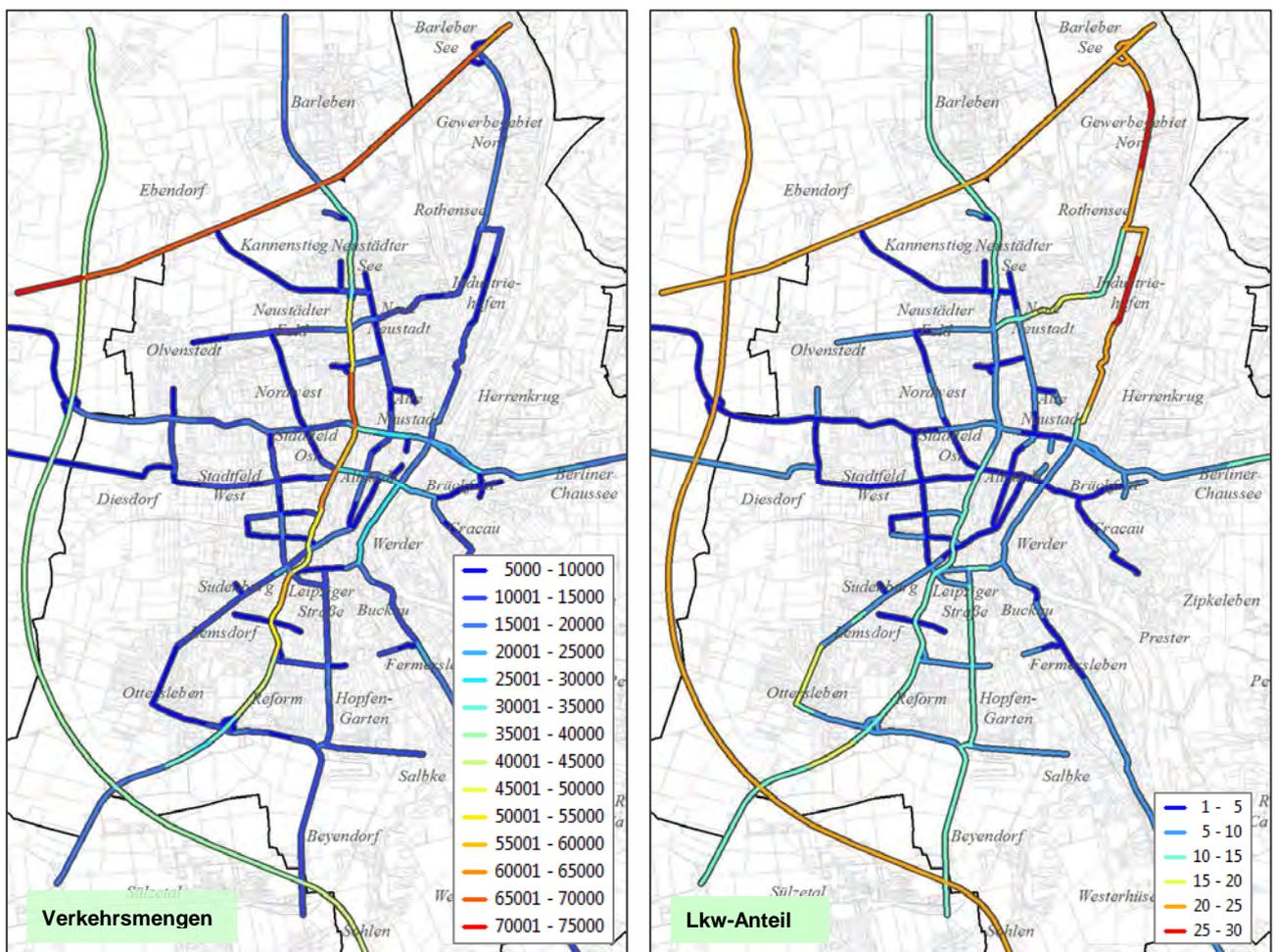


Abb. 3: Verkehrsmengen (DTV in Kfz/d) und LKW-Anteile in % (Der Klassenbereich zwischen 5 000 und 8 000 Kfz/d ist nur sporadisch mit Werten hinterlegt. Quellen siehe Text S. 8)

schadstoffbelasteter Siedlungsräume beitragen. Finden sich allerdings im Quell- oder Transportgebiet der Kaltluft entsprechende Emittenten, können Luftschadstoffe aufgenommen, in der stabil geschichteten Atmosphäre angereichert und in empfindliche Nutzungsbereiche hineintransportiert werden.

Als Indikator für die Schadstoffbelastung der Luft bei austauscharmen Wetterlagen wird in der vorliegenden Untersuchung die Ausbreitung der Stickstoffoxid (NO_x)-Emissionen¹ im Strömungsfeld der Kaltluft bzw. die daraus resultierende theoretische Immissionskonzentration von Stickstoffdioxid (NO_2) verwendet (siehe Kapitel 3.2, S. 14).

Die Verkehrsmengen zur Berechnung der Emissionen wurden vom Stadtplanungsamt Magdeburg zur Verfügung gestellt (LANDESHAUPTSTADT MAGDEBURG 2011b). Sie umfassen im Wesentlichen Verkehrsmengen von über 8 000 Kfz pro Tag, in einigen Teilabschnitten aber auch Verkehre zwischen 5 000 und 8 000 Kfz pro Tag. Dieser untere Klassenbereich ist allerdings nur vereinzelt belegt. Die Werte der Bundesautobahnen sind mittels frei verfügbarer Daten der Landesstraßenbaubehörde Sachsen-Anhalt ergänzt worden (LSBB 2010). Nach Berechnung der straßenabschnittsbezogenen NO_x -Emissionen wurden 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 übertragen.

¹ NO_x = Summe aus Stickstoffdioxid (NO_2) und Stickstoffmonoxid (NO), ausgewiesen als NO_2 -Äquivalente. Stickstoffoxide entstehen als Produkte bei Verbrennungsprozessen und werden als NO_2 und NO aus dem Auspuff oder Schornstein freigesetzt. Der NO_2 -Anteil wird als primäres NO_2 oder NO_2 -Direktemission bezeichnet. Ein größerer Anteil wird als NO emittiert, das später mit Luftsauerstoff und insbesondere mit Ozon (O_3) zu NO_2 reagiert (sekundäres NO_2). Aus diesem Grund beziehen sich Emissionsmengen auf NO_x , Immissionskonzentrationen auf NO_2 .

3. Methodik

3.1 Beschreibung des verwendeten Klima- und 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 Skalen der meteorologischen Phänomene und ihr unterschiedliches Erscheinungsbild in komplexem Gelände. Dieser Umstand macht es schwierig, aus einer beschränkten Anzahl von Beobachtungen eine umfassende Charakterisierung der Phänomene abzuleiten. Modelluntersuchungen tragen entscheidend dazu bei, solche Wissenslücken zu füllen.

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, Windkanalstudien und Thermalscannerbefliegungen 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, eine Übertragung in benachbarte Räume ist nur mit Abstrichen 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, zusätzliche meteorologische Größen berechnen 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. 4).

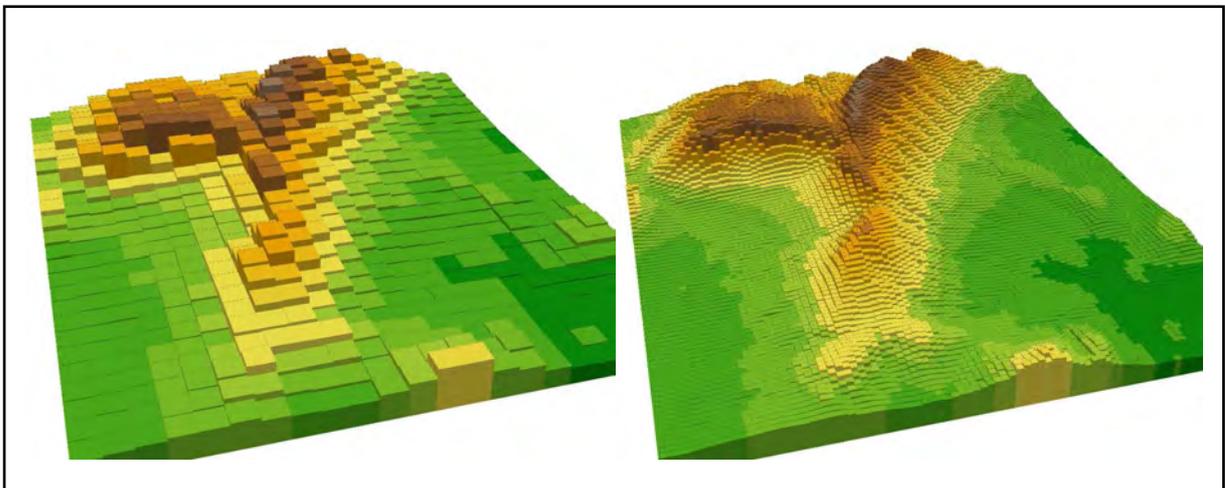


Abb. 4: Unterschiedliche Rasterweiten (links: 500 m x 500 m; rechts: 100 m x 100 m) bei einem digitalem Geländehöhenmodell

Allerdings steigen mit feiner werdender Rasterweite die Anforderungen an die Rechenzeit und an die benötigten Eingangsdaten. Zudem wird im Bereich der Mikroskala die Parametrisierung der Variablen ungültig und muss durch andere Herangehensweisen ersetzt werden. 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. 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 4, 10, 15, 20, 30, 40, 50 und 70 m. Nach oben hin wird der Abstand Δz immer größer. Die Modellobergrenze liegt mit 3 000 m über Grund in einer Höhe, für die eine durch Orographie und Landnutzung unbeeinflusste Situation angenommen wird. Die Auswertungen der FITNAH-Modellierung beziehen sich auf das bodennahe Niveau der Modellrechnung (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 25 bis 1000 m. 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. 5). Das Rastervolumen kann folglich nur noch zu einem geringen Anteil durchströmt werden, wobei die Porosität als gleichmäßig verteilt angenommen wird.

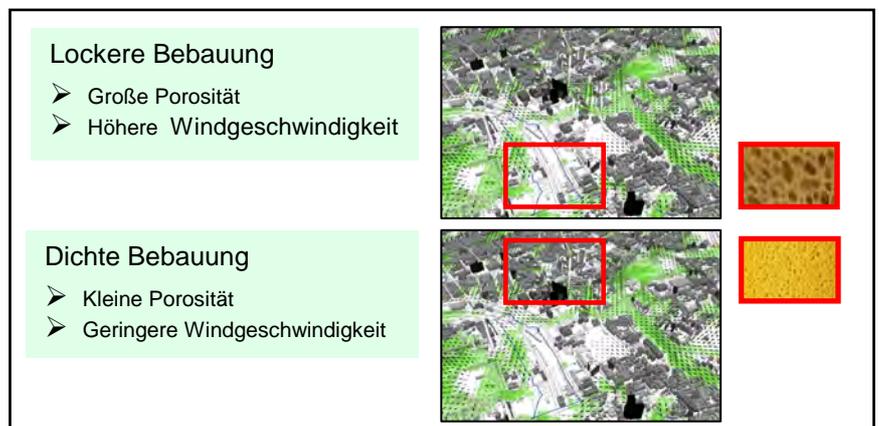


Abb. 5: Einfluss der Bebauungsdichte auf die Strömungsgeschwindigkeit

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 anthropogene Abwärme bestimmt. Damit wird 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. 6). Bei FITNAH werden zusätzliche Terme in das Gleichungssystem eingeführt, die zum einen über einen Widerstandsterm die Modifizierung des Windfeldes gewährleisten und zum anderen den Strahlungshaushalt im Bereich eines Baumbestandes modifizieren (Grundlagen und Beschreibung: GROSS, 1993).

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

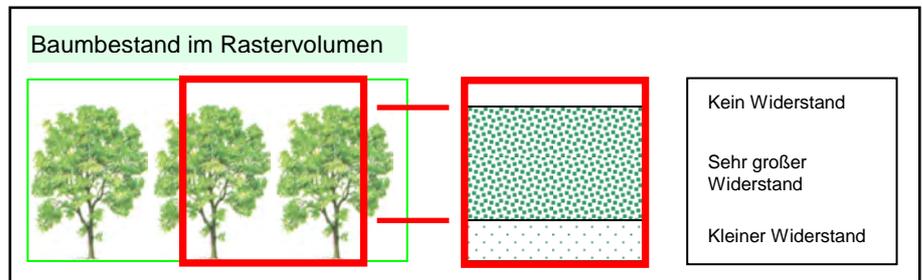


Abb. 6: Einfluss der Vegetation auf die Durchströmbarkeit einer Rasterzelle

Eingangsdaten

Bei numerischen Modellen wie FITNAH muss zur Festlegung und Bearbeitung einer Aufgabenstellung eine Reihe von Eingangsdaten zur Verfügung stehen. Diese müssen zum einen die zu untersuchende Landschaft charakterisieren

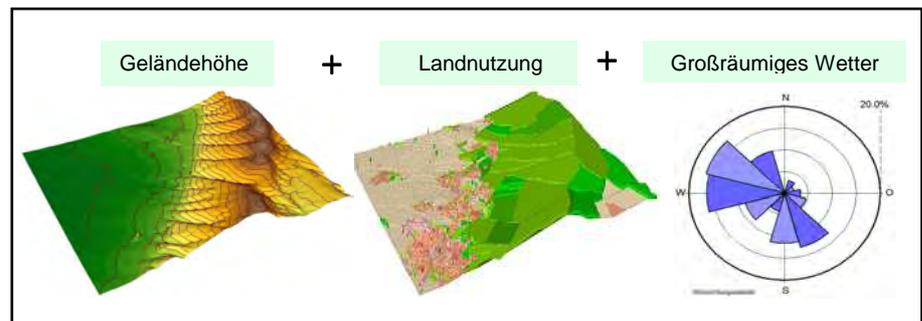


Abb. 7: Eingangsdaten für die Modellrechnung

und zum anderen die größerskaligen meteorologischen Rahmenbedingungen wie Wetterlage oder Klimaszenario definieren. Alle Eingangsdaten sind jeweils als repräsentativer Wert für eine Rasterzelle bereitzustellen:

- 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 Magdeburg 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 Grünflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetrieben werden und einzig zu einem Abbau der Belastungen beitragen können. Diese Wettersituation stellt damit ein „Worst-Case“-Szenario dar.

In Abb. 8 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.

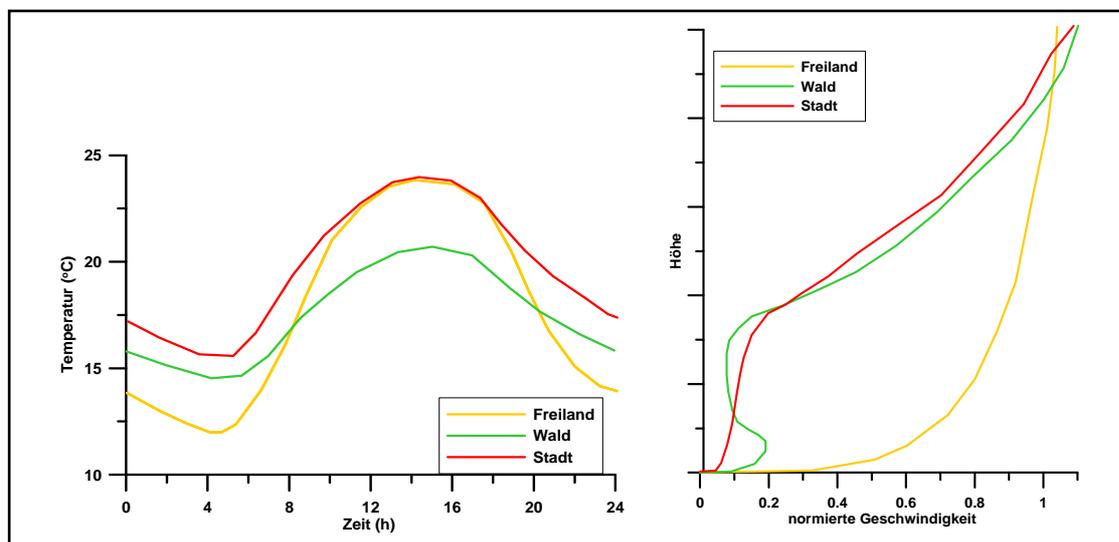


Abb. 8: Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für verschiedene Landnutzungen

Hinsichtlich des Temperaturverlaufs zeigt sich, dass sowohl Grünflächen 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

Die im Rahmen der vorliegenden Klimaaanalyse durchgeführte lufthygienische Untersuchung für eine austauschbare Wetterlage wurde ebenfalls mit dem Modell FITNAH durchgeführt. Als Indikator für die Belastung der Luft diente dabei die Ausbreitung eines fiktiven Schadstoffs im dreidimensionalen Strömungsfeld der Kaltluftmodellierung. Die Ausgangswerte hierfür lieferten die Berechnungen der Emissionsmengen von Stickstoffoxiden (NO_x). Die daraus resultierende Schadstoffkonzentration wird in Anlehnung an die Kurzfristgrenzwerte des Stickstoffdioxids (NO₂) lufthygienisch bewertet (s. Tab. 5, S. 37).

NO₂ ist neben dem Feinstaub (PM₁₀) die wichtigste, maßgeblich durch den Straßenverkehr induzierte Luftschadstoffkomponente und wird hier als Indikator bevorzugt. Zwar können die komplexen Reaktionen der NO₂-Ozonchemie keine detaillierte Berücksichtigung finden, doch ist die PM₁₀-Konzentration wesentlich stärker abhängig von verschiedenen, nicht straßenverkehrsbedingten Gegebenheiten als die des NO₂. Hierzu gehören unter anderem der kleinräumig wechselnde Anteil an Feststoffheizungen, die Verteilung industrieller und landwirtschaftlicher Produktionsanlagen, die großräumigen Witterungsverhältnisse, sowie die veränderlichen Ferntransporte aus Quellen außerhalb des Untersuchungsraumes. Die Emissionsverteilung der beiden Schadstoffgruppen weist ähnliche Schwerpunkte auf, kann aber aufgrund unterschiedlicher Einflüsse des Schwerlastverkehrs – insbesondere abseits der Autobahnen – in Einzelfällen recht stark voneinander abweichen. Eine Gegenüberstellung der Emissionsmengen von NO_x und PM₁₀ ist der Abbildung unten zu entnehmen.

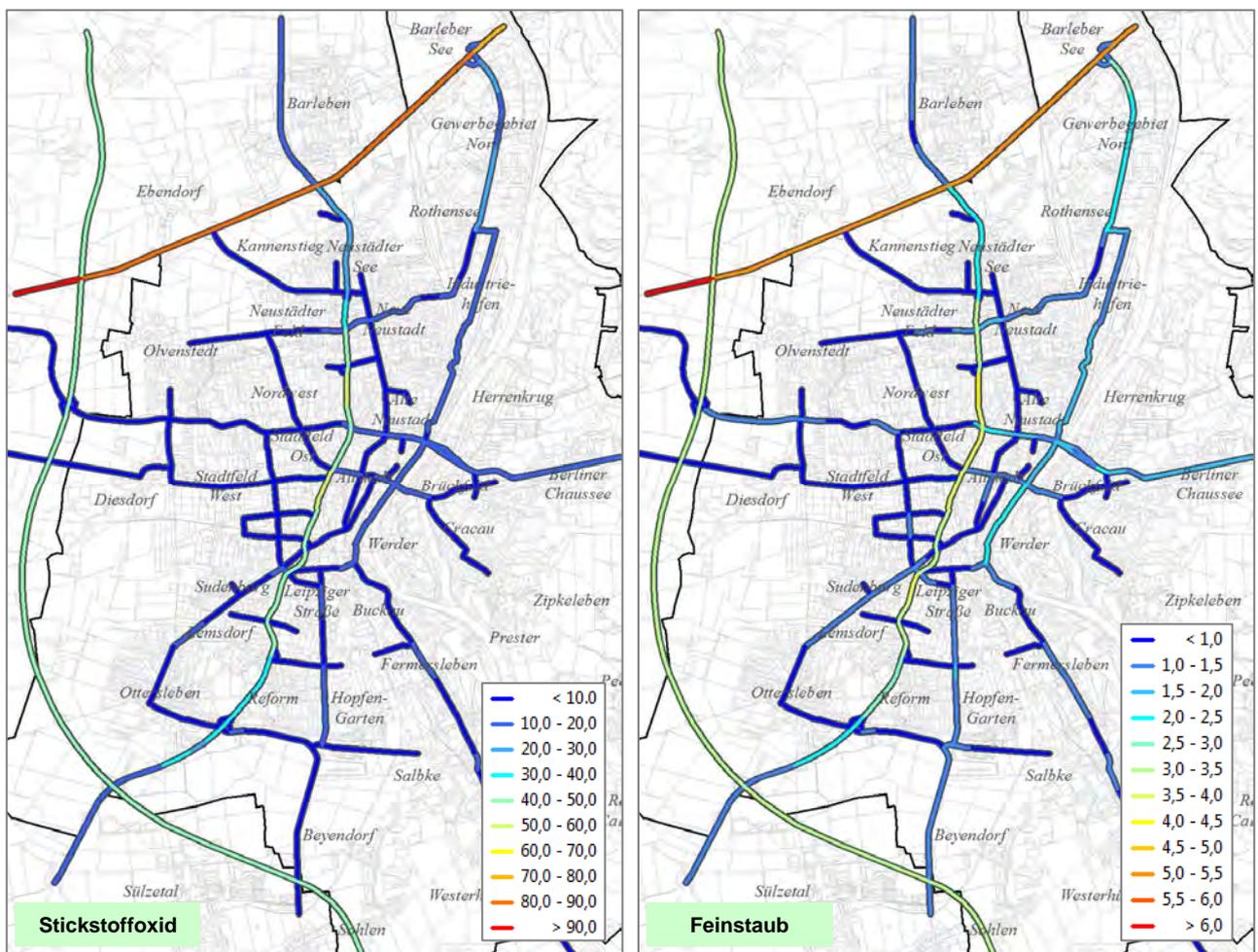


Abb. 9: Emissionsdichten von NO_x und PM₁₀ in Gramm pro Meter und Tag (g / m³d)

Auf Grundlage der Verkehrsmengen (siehe S. 7) wurden mit Hilfe des Handbuchs für Emissionsfaktoren des Umweltbundesamtes HBEFA 3.1 (UBA 2010) die NO_x-Emissionsfaktoren für das Jahr 2009 ermittelt und zu tatsächlichen, tagesdurchschnittlichen Emissionen verrechnet (s. Abb. 9 auf der Vorseite).

Da zur Beschaffenheit der Fahrzeugflotte keine detaillierten Angaben vorlagen, wurde ein Flottenmix angenommen, der im HBEFA als „Business-As-Usual“-Szenario der Verkehrsentwicklung bezeichnet wird². Die angesetzten Lkw-Verkehre wurden vor dem Hintergrund der vereinfachten Betrachtung pauschal als schwere Nutzfahrzeuge eingestuft. Auch auf eine Zuweisung spezieller Verkehrssituationen wurde – abgesehen von der Unterscheidung der Autobahnen und Stadtautobahn – verzichtet. Als städtische Hintergrundbelastung wurde – entsprechend den Annahmen des Luftreinhalteplanes für den Ballungsraum Magdeburg (MLU 2011) – eine räumlich konstanten Konzentrationen von 23 µg / m³ NO₂ angesetzt.

Die so berechneten Emissionen wurden in das Geodatenbankumfeld eingebracht, entsprechend der Eingangsdaten für die Windfeldsimulation in ein Raster mit einer Zellengröße von 25 m überführt und anschließend mit dem FITNAH-Strömungsfeld verdriftet.

Die modellierten Konzentrationen werden in dieser Arbeit als 98-Perzentilwert interpretiert, d. h., es wird davon ausgegangen, dass etwa zwei Prozent aller Stundenmittelwerte eines Jahres noch oberhalb der ausgewiesenen Belastung liegen. Das entspricht etwa 175 Stunden des Jahres.

Der Kurzzeitgrenzwert für NO₂ erlaubt in nur 18 von 8 760 Jahresstunden Werte oberhalb des Immissionswertes von 200 µg·m⁻³, das entspricht etwa 0,2 Prozent der Stunden. Anders ausgedrückt müssen 99,8 Prozent aller Stunden eines Jahres einen Messwert von 200 µg·m⁻³ oder darunter aufweisen.

Der 98- und der 99,8-Perzentilwert stehen in einem empirisch belegten linearen Zusammenhang (LOHMEYER et al. 2000): Demnach wird die Forderung nach dem Unterschreiten eines 99,8-Perzentilwertes von 200 µg·m⁻³ erfüllt, wenn ein 98-Perzentilwert der Gesamtbelastung von 115 bis 170 µg·m⁻³ unterschritten wird. Die Einstufung der Belastungssituation orientiert sich grob an diesen Zusammenhängen, wobei in den Karten eine Ausweisung aller Werte über 57 µg·m⁻³ als „Potenziell belastet“ erfolgt.

	< 29	Nicht belastet
	29 - < 57	Gering belastet
	57 - < 86	Mäßig belastet
	86 - < 115	Belastet
	115 - < 143	Hoch belastet
	>= 143	Sehr hoch belastet

Abb. A2: Einstufung der Belastungssituation, Werte in µg·m⁻³

² Beispielsweise beträgt dem „Business-As-Usual“-Szenario zufolge der Anteil von Fahrzeugen mit Euro-5 (und besser) innerhalb der Pkw-Flotte für das Jahr 2011 etwa 17 %, während für 2015 bereits ein Anteil von über 50 % angenommen wird.

3.3 Abgrenzung und Bewertung der klimaökologisch wirksamen Nutzungsstrukturen

Ziel der Eingangsdatenaufbereitung war es, aus den flächenhaft vorliegenden Nutzungsinformationen punkthaft gerasterte Modelleingangsdaten mit einer Maschenweite von 25 m zu erzeugen. Aus diesen punkthaften Repräsentationen der Eingangsvariablen ergeben sich die in gleicher Weise aufgelösten Modellergebnisse in Form der feldhaft berechneten Klimaparameter. Qualifizierende Aussagen zur bioklimatischen Bedeutung bestimmter Areale können sich allerdings nicht auf einzelne, geordnet vorliegende Rasterzellen beziehen. Hierfür muss eine Zonierung des Untersuchungsraumes in bioklimatisch ähnliche Flächeneinheiten erfolgen. Diese sollten in der Realität nachvollziehbar und beispielsweise administrativ oder nutzungstypisch abgrenzbar sein („Referenzflächen“ im Sinne des Kapitels 2.2, S. 4).

Um die Ausprägung der Klimaparameter auf planungsrelevante und maßstabsgerechte Einheiten zu übertragen, wurden den Referenzflächen der verwendeten digitalen Nutzungsinformationen die relevanten Klimaparameter wie z. B. Temperatur, Kaltluftvolumenstrom und Kaltluftproduktionsrate zugeordnet. Dafür wurden alle Rasterzellen, die von einer bestimmten Fläche überdeckt werden, mit Hilfe von zonalen Analysen zusammengefasst und statistisch ausgewertet. Auf diese Weise erhält jede Fläche eine umfassende Statistik aller zugehörigen Klimaparameter, die unter anderem die Minimal-, Maximal- und Mittelwerte der flächenspezifischen Werteausprägungen umfasst. Darauf basierend wurden den Referenzflächen Bewertungsindices zugewiesen, auf die in den folgenden Kapiteln näher eingegangen wird.

Aufgrund dieser Vorgehensweise liegen die Ergebnisse der Klimaanalyse in zweifacher Form vor: Zum einen als planungsrelevante und maßstabsgerechte, räumlich in der Realität abgrenzbare Flächeneinheiten, zum anderen als hochaufgelöste feldhafte Verteilung der Klimaparameter im räumlichen Kontinuum. Auf diese Weise bleibt, in Ergänzung zur abstrahierten Darstellung der klimatischen Funktionszusammenhänge (als Flächen- und Beziehungstypen in den Synthesekarten), die flächeninterne Heterogenität der Klimaparameter als Detailinformation jederzeit abrufbar.

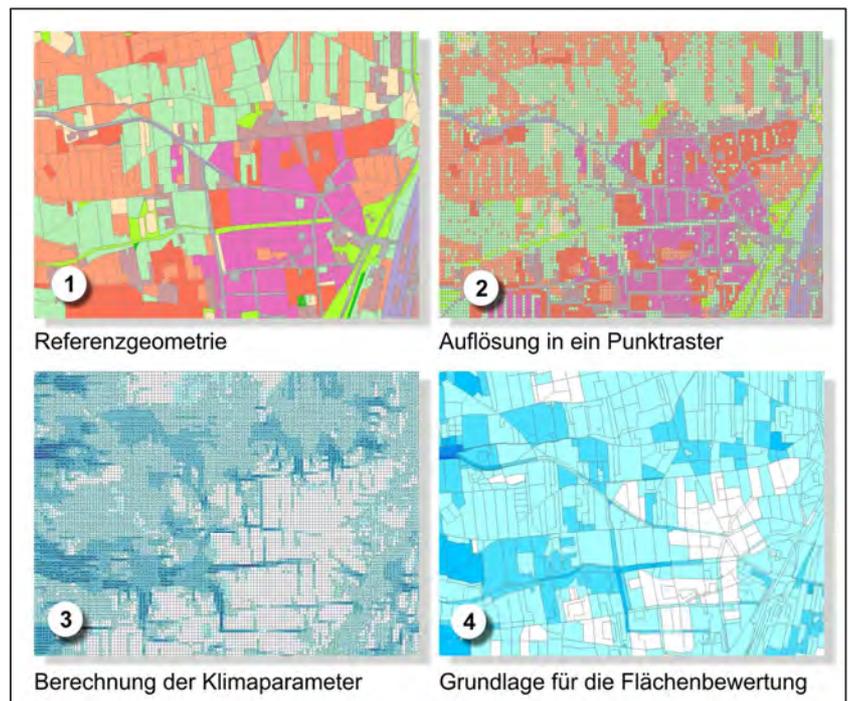


Abb. 10: Schema der Wertezuordnung zwischen Flächen- und Punktinformation

3.3.1 Standardisierung der Parameter

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

Wünschenswert wäre zudem, die Beurteilungskriterien sowohl mit der Ausprägung zusätzlich modellierter Variablen als auch mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen vergleichen zu können. Um eine solche Vergleichbarkeit herzustellen, werden die Parameter über eine **z-Transformation** standardisiert³. Bei einer z-Transformation wird das arithmetische Gebietsmittel des Parameters zunächst gleich Null gesetzt, anschließend werden die Originalmaßeinheiten der um dieses Gebietsmittel streuenden Werte in Vielfache der Standardabweichung umgerechnet. Hieraus ergeben sich vier Bewertungskategorien, deren Abgrenzung durch den Mittelwert Null sowie die einfache positive und negative Standardabweichung von diesem Mittelwert festgelegt ist (s. Abb. 11).

Neben ihrem Einsatz für die Ermittlung und Beurteilung der bioklimatischen Situation (s. S. 20), wird die z-Transformation in dieser Untersuchung auch bei der Bewertung der Klimaparameter Kaltluftvolumenstrom und Kaltluftproduktionsrate verwendet.

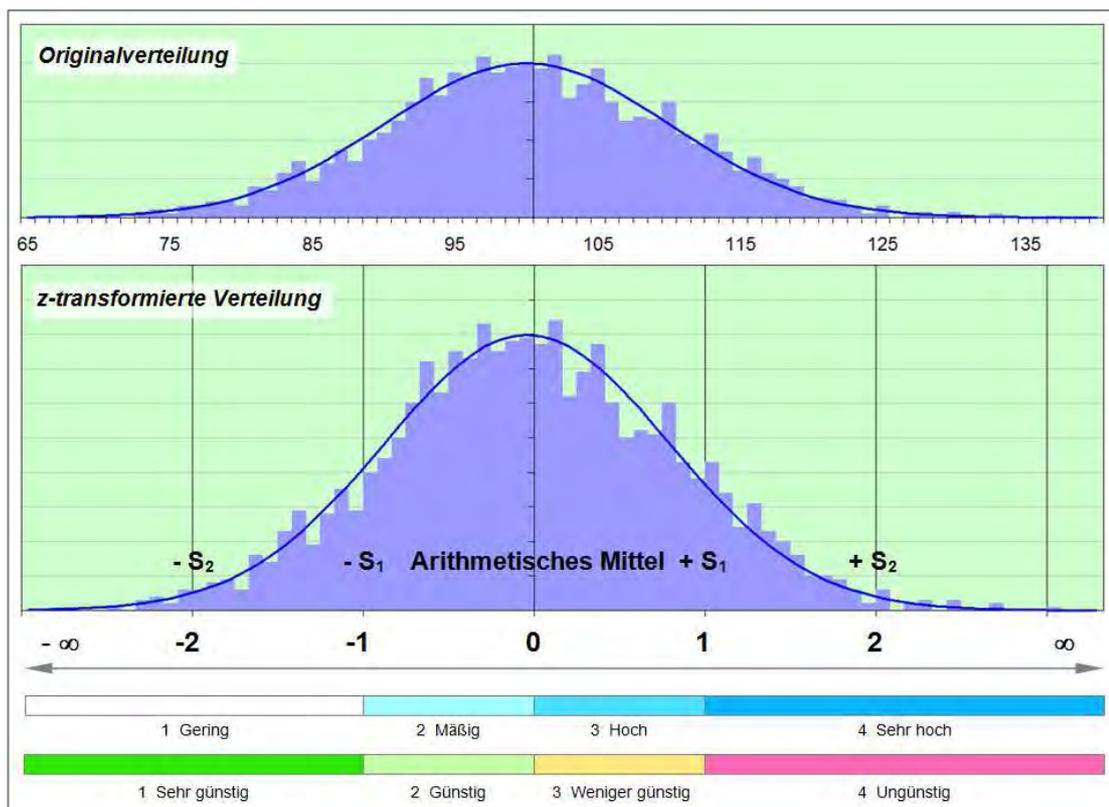


Abb. 11: Veranschaulichung der Standardisierung zur vergleichenden Bewertung von Parametern

³ Rechnerisch wird dabei von jedem Ausgangswert der Variablen das arithmetrische Gebietsmittel abgezogen und durch die Standardabweichung aller Werte geteilt (siehe Glossar, S. 58)

3.3.2 Grünflächen und Freiräume

Während in der Klimafunktionskarte die Grünflächen vornehmlich auf Grundlage ihres siedlungsunabhängigen, auf das Prozessgeschehen fokussierten Kaltluftliefervermögens gekennzeichnet werden, steht in der Planungshinweiskarte deren stadtklimatische Bedeutung sowie die Ableitung der Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen im Mittelpunkt. Daraus ergibt sich eine für die Planungshinweiskarte abweichende Vorgehensweise bei der Bewertung der Grünareale, auf die in Kapitel 3.3.4 (S. 22) genauer eingegangen wird. Die Darstellung und Bewertung der Siedlungsflächen bleibt hingegen in Klimafunktions- und Planungshinweiskarte gleich.

Bewertungskategorie	Mittlerer z-Wert	Kaltluftvolumenstrom in $m^3 \cdot s^{-1}$
Sehr hoch	> 1 (obere S_1 -Schranke)	> 800
Hoch	1 bis 0	800 bis ≥ 400
Mäßig	0 bis -1	400 bis ≥ 100
Gering	< -1 (untere S_1 -Schranke)	< 100

Tab. 2: Bewertung der Kaltluftlieferung innerhalb von Grünflächen in der Klimafunktionskarte

mittleren Wertenniveau des Stadtgebietes und den innerhalb dieses Raumes auftretenden Abweichungen vom Gebietsmittelwert (siehe Vorseite). Jeder Grünfläche wurde über eine zonale Statistik (s. S. 16) der flächenspezifische mittlere z-Wert zugewiesen und in die vier in Tab. 2 aufgeführten qualitativen Bewertungskategorien überführt.

Über die nach ihrem Kaltluftliefervermögen farblich gestuft dargestellten Freiräume werden in der Klimafunktionskarte zusätzlich die **Kaltlufteinzugsgebiete** projiziert. Sie sind Ergebnis einer Reliefanalyse, bei der nach dem Wasserscheidenprinzip eine Berechnung der Abflussbahnen mit ihren Abflussrichtungen durchgeführt wurde (nach KING 1973). Als Abflussbahnen können vor allem Tiefenlinien wie z. B. Fließgewässer dienen, in denen sich die Kaltluftströmungen kanalisieren. Aus der gegenseitigen Abgrenzung ergeben sich Areale gleichsinnig auf eine Abflussbahn gerichteter Neigung, aus denen die auf Freiflächen produzierte Kaltluft abfließen kann. Die gemeinsame Darstellung von Freiräumen und Einzugsgebieten erlaubt es, die administrativ oder nutzungsbedingt abgegrenzten Referenzflächen in einen übergeordneten topographischen Kontext zusammengehöriger Areale einzuordnen.

Für die Charakterisierung der funktionalen Bedeutung von Grünflächen wird in der Klimafunktionskarte der Volumenstrom als Maß für den Zustrom von Kaltluft aus den benachbarten Rasterzellen verwendet (vgl. Kapitel 4.3, S. 32).

Die Beurteilung des Kaltluftvolumenstroms orientiert sich am

Luftaustauschbereiche und Kaltluftleitbahnen

Leitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete („Ausgleichsräume“) und Belastungsbereiche („Wirkungsräume“) miteinander und sind somit elementarer Bestandteil des Luftaustausches (Abb. 12). Als geeignete Oberflächenstrukturen, die ein Eindringen von Kaltluft in die Bebauung erleichtern, dienen innerhalb von Siedlungsräumen sowohl gering bebaute vegetationsgeprägte Freiflächen, Kleingärten und Friedhöfe als auch Gleisareale und breite Straßenräume. Da Leitbahnen selbst auch Kaltluft produzieren können, lassen sich Freiflächen, von denen Kaltluft direkt in die Bebauung strömt, nicht immer trennscharf abgrenzen von Leitbahnen, die als mehr oder weniger reine „Transportwege“ fungieren. Insbesondere im innerstädtischen Bereich sind einige solcher Flächen des vornehmlich direkten Luftaustausches ausgewiesen worden. In der Klimafunktionskarte werden verallgemeinernd alle Grünflächen, über die Kaltluft in die Bebauung geleitet wird, als *Luftaustauschbereiche* bezeichnet. Die Ausweisung der Leitbahnbereiche erfolgt manuell und orientiert sich am autochthonen Strömungsfeld der FITNAH-Simulation. Die Leitbahnen werden sowohl in der Klimafunktionskarte als auch in der Planungshinweiskarte dargestellt. Durch Luftschadstoffe vorbelastete Leitbahnen werden mit einer gesonderten Signatur gekennzeichnet.

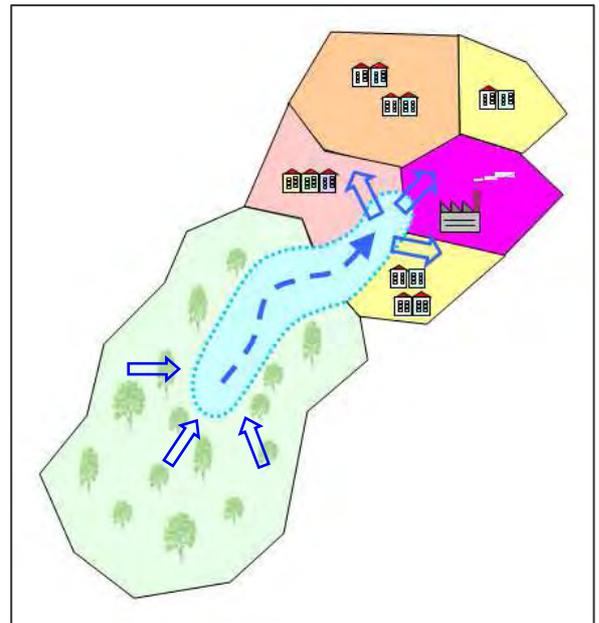


Abb. 12: Prinzipskizze Kaltluftleitbahn

3.3.3 Bioklima in den Siedlungsflächen

Meteorologische Parameter wirken nicht unabhängig voneinander auf den Menschen ein. Von besonderer Bedeutung bei der kombinierten Bewertung des Bioklimas ist der thermische Wirkungskomplex. Hier spielen alle Klimaparameter, die den Wärmehaushalt des Menschen direkt beeinflussen eine Rolle: Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und thermophysologisch wirksame Strahlung. Zur Beurteilung des thermischen Wirkungskomplexes wird in dieser Untersuchung der *Bewertungsindex PMV⁴* verwendet. Dieser Parameter basiert auf der Wärmebilanzgleichung des menschlichen Körpers und gibt den Grad der „Behaglichkeit“ als mittlere subjektive Einschätzung einer größeren Anzahl von Menschen in Wertestufen wider. Mit steigendem PMV erhöht sich die bioklimatische Belastung aufgrund der als Diskomfort empfundenen thermischen Beanspruchung des Körpers.

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 variieren 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) kann die Ausprägung des nächtlichen PMV mit Hilfe des Modells FITNAH abgeschätzt und entsprechend der speziellen Anliegen dieser Untersuchung angepasst werden.

Der Wärmebelastung, wie sie in der Klimafunktions- und Planungshinweiskarte dargestellt ist, liegt die Wertausprägung in der zweiten Nachthälfte zum Zeitpunkt 4 Uhr zugrunde. Ein erholsamer Schlaf ist nur bei günstigen thermischen Bedingungen möglich, weshalb der Belastungssituation in den Nachtstunden eine besondere Bedeutung zukommt. Da die klimatischen Verhältnisse der Wohnungen in der Nacht im Wesentlichen nur durch den Luftwechsel modifiziert werden können, ist die Temperatur der Außenluft der entscheidende Faktor bei der Bewertung der thermophysologischen Belastung. Entsprechend spiegelt die Beurteilung des Bioklimas weniger die thermische Beanspruchung des Menschen im Freien wider, als vielmehr die positive Beeinflussbarkeit des nächtlichen Innenraumklimas.

Zur Beurteilung der Referenzflächen wurde analog zum Kaltluftvolumenstrom eine räumliche Statistik des PMV-Ergebnisrasters durchgeführt und den Referenzflächen der Siedlungsräume die flächenspezifisch mittlere Parameterausprägung zugewiesen (s. S. 16). Gemäß dem in der VDI-RL 3785 Blatt 1 (VDI 2008b) beschriebenen Verfahren zur Beurteilung der bioklimatischen Situation (s. S. 17) wurden die z-transformierten Werte in die vier in Tab. 3 aufgeführten qualitativen Bewertungskategorien überführt. Daraus ergibt sich eine räumliche Untergliederung der Siedlungsflächen in bioklimatisch günstige und bioklimatisch ungünstige Bereiche.

Belastungsstufe	Mittlerer z-Wert pro Fläche	Charakteristische Bebaugstypen
Sehr günstig	> -1 (untere S ₁ -Schranke)	<i>Dörflich geprägte Siedlungstypen</i>
Günstig	-1 bis 0	<i>Einzel- und Reihenhausbauung</i>
Weniger günstig	0 bis 1	<i>Block- und Blockrandbauung</i>
Ungünstig	< 1 (obere S ₁ -Schranke)	<i>Verdichteter Siedlungsraum</i>

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

⁴ Predicted Mean Vote (FANGER 1972), für eine ausführliche Beschreibung siehe VDI 2008a

Die Abbildung unten fasst die Methodik von der Erstellung der *Referenzgeometrie* über die rasterbasierte Aufbereitung der Modelleingangsdaten bis zur Berechnung der Klimaparameter und ihrer Zuweisung an die Flächen zum Zweck ihrer bioklimatischen Einordnung schematisch zusammen:

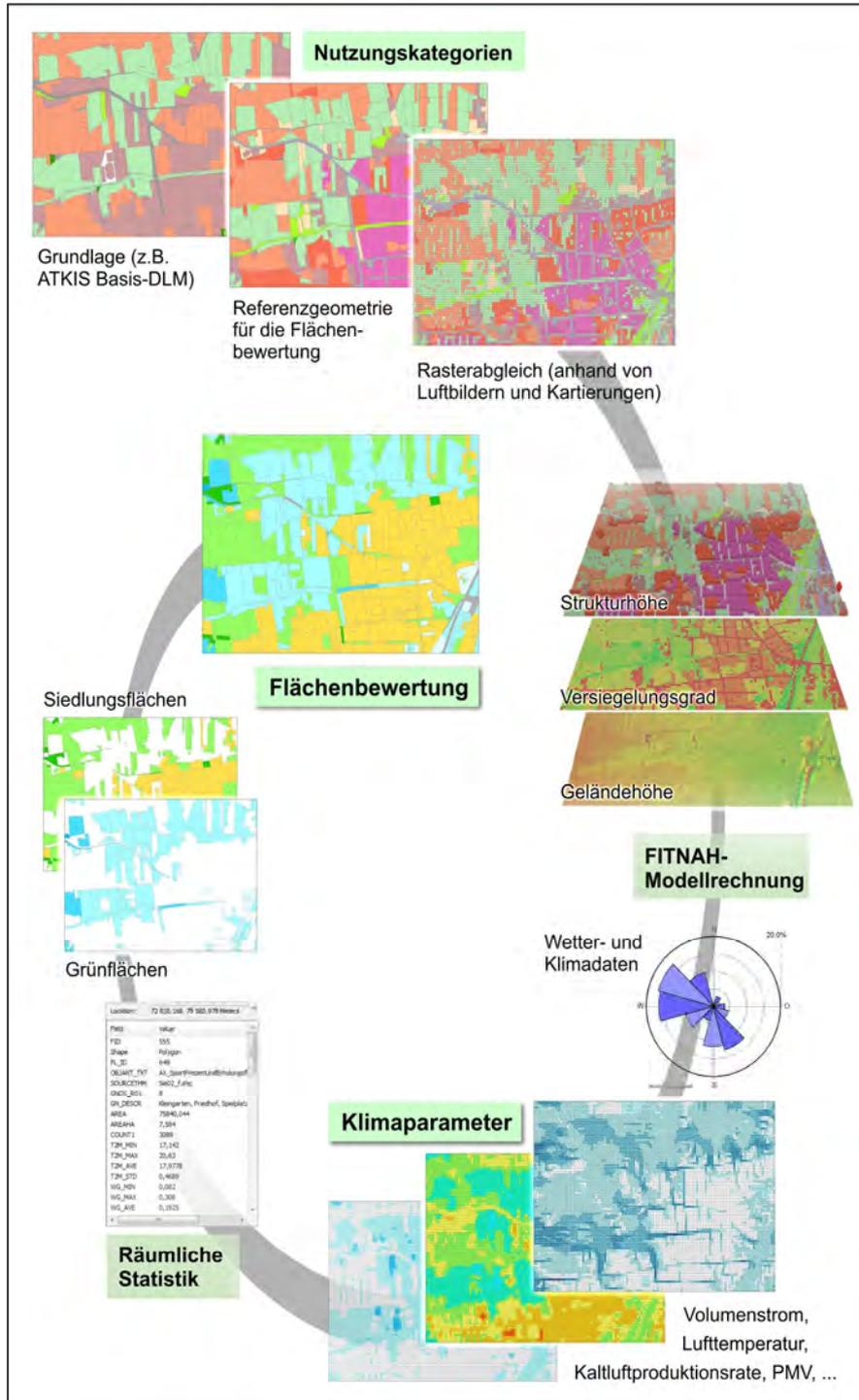


Abb. 13: Schematisierter Verfahrensablauf zur flächenhaften Bewertung der Referenzgeometrie

3.3.4 Planerische Einordnung der Grünflächen

Zur Bewertung der klimaökologischen Charakteristika der Grünflächen⁵ im Hinblick auf planungsrelevante Belange (siehe Kapitel 6) bedarf es einer Analyse der vorhandenen Wirkungsraum-Ausgleichraum-Systeme im Untersuchungsgebiet. Kaltluft, die während einer Strahlungsnacht innerhalb der Grünflächen und Freiräume entsteht, kann nur dann von planerischer Relevanz sein, wenn den Flächen ein entsprechender Siedlungsraum zugeordnet ist, der von ihren Ausgleichsleistungen profitieren kann.

Der Versuch, die Grünflächen und Freiräume eines heterogenen Raumes wie den der Landeshauptstadt Magdeburg mit seinen verschiedenartig strukturierten Landschaftsräumen und vielförmig gegliederten Siedlungen einer einheitlichen Bewertung zu unterziehen, ist naturgemäß mit einigen Schwierigkeiten verbunden. Da eine Einzeluntersuchung der jeweiligen Charakteristika aller Wirkungsraum-Ausgleichraum-Systeme im vorliegenden Maßstabbereich nicht möglich ist, wird zur Bewertung der bioklimatischen Bedeutung von grünbestimmten Flächen ein vereinfachtes, teilautomatisierbares Verfahren angewendet, das sich wie folgt skizzieren lässt:

Sehr hohe bioklimatische Bedeutung:

1. 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. Dabei werden innerstädtisch auch Flächen mit unvermitteltem Luftaustausch erfasst.

2a. Ermittlung von Siedlungsräumen mit „*bioklimatisch ungünstigen*“ Verhältnissen (s. Kapitel 3.3.3).

2b. Ermittlung der an (2a) *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. Tagsüber können sie bioklimatische Erholungsräume darstellen.

Allen Grünflächen aus (1) und (2) wird eine **sehr hohe bioklimatische Bedeutung** zugesprochen.

Hohe bioklimatische Bedeutung:

3a. Ermittlung von Siedlungsräumen mit „*bioklimatisch weniger günstigen*“ Verhältnissen (s. Kapitel 3.3.3)

3b. Ermittlung der an (3a) *angrenzenden Grünflächen* (Toleranz = 250 m).

Wie unter (2) erfolgt die Einstufung auch dieser Flächen unabhängig von der flächeninternen Ausprägung der Klimaparameter.

4. Ermittlung der an (1), (2b) und (3b) *angrenzenden Grünflächen (Umfeldflächen, Toleranz = 1 000 m)*.

Bereiche, die zur Ausweisung von „Kaltluftquellgebieten“ der besonders bedeutenden Flächen dienen.

5a. Definition sonstiger *relevanter Wirkungsräume* (Mindestgröße der Siedlung = 1 km²) unabhängig von ihrer bioklimatischen Belastung.

5b. Ermittlung der an (5a) *angrenzenden Grünflächen* (Toleranz = 250 m).

Im Gegensatz zu den unter (2) und (3) 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.

Grünflächen aus (3b) wird generell eine **hohe bioklimatische Bedeutung** zugesprochen

Grünflächen aus (4) und (5b) wird eine **hohe bioklimatische Bedeutung** zugesprochen, wenn sie einen hohen, siedlungsgerichteten Kaltluftvolumenstrom (KVS) aufweisen (6 und 7)

⁵ 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.

Mittlere bioklimatische Bedeutung:

Grünflächen aus (7) wird eine **mittlere bioklimatische Bedeutung** zugesprochen, wenn sie eine hohe Kaltluftproduktionsrate (KPR) aufweisen

6. Ermittlung von Grünflächen, die bioklimatisch relevante Hangabwinde in Richtung Wirkungsraum transportieren.

Kaltluftabflüsse weisen meist höhere Strömungsgeschwindigkeiten auf und können daher über weitere Strecken wirksam werden als Strömungen, die sich nur aufgrund des nutzungsbedingten Temperaturunterschiedes einstellen.

Grünflächen aus (6) wird ebenfalls eine **mittlere bioklimatische Bedeutung** zugesprochen.

7. Waldflächen wird – wenn sie nicht bereits in eine der vorgenannten Kategorien fallen – pauschal ebenfalls eine **mittlere bioklimatische Bedeutung** zugesprochen.

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

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

Die nach diesem vereinfachten Verfahren ermittelte bioklimatische Bedeutung der Grünflächen 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 wurde Freiräumen im direkten Umfeld von Siedlungsbereichen mit ungünstigen bioklimatischen Verhältnissen generell eine hohe bioklimatische Bedeutung zugesprochen.

Somit verfügt eine in ihrer bioklimatischen Bedeutung als „Sehr hoch“ eingestufte Grünfläche über einen direkt zugeordneten, bioklimatisch stark belasteten Wirkungsraum oder wirkt als Kaltluftleitbahn bzw. Luftaustauschbereich. Eine als „Hoch“ eingestufte Grünfläche verfügt *entweder* über einen direkt zugeordneten, bioklimatisch belasteten Wirkungsraum *oder* weist ein überdurchschnittliches Kaltluftliefervermögen auf und ist gleichzeitig als Ausgleichsraum oder Kaltluftquellgebiet einzustufen.

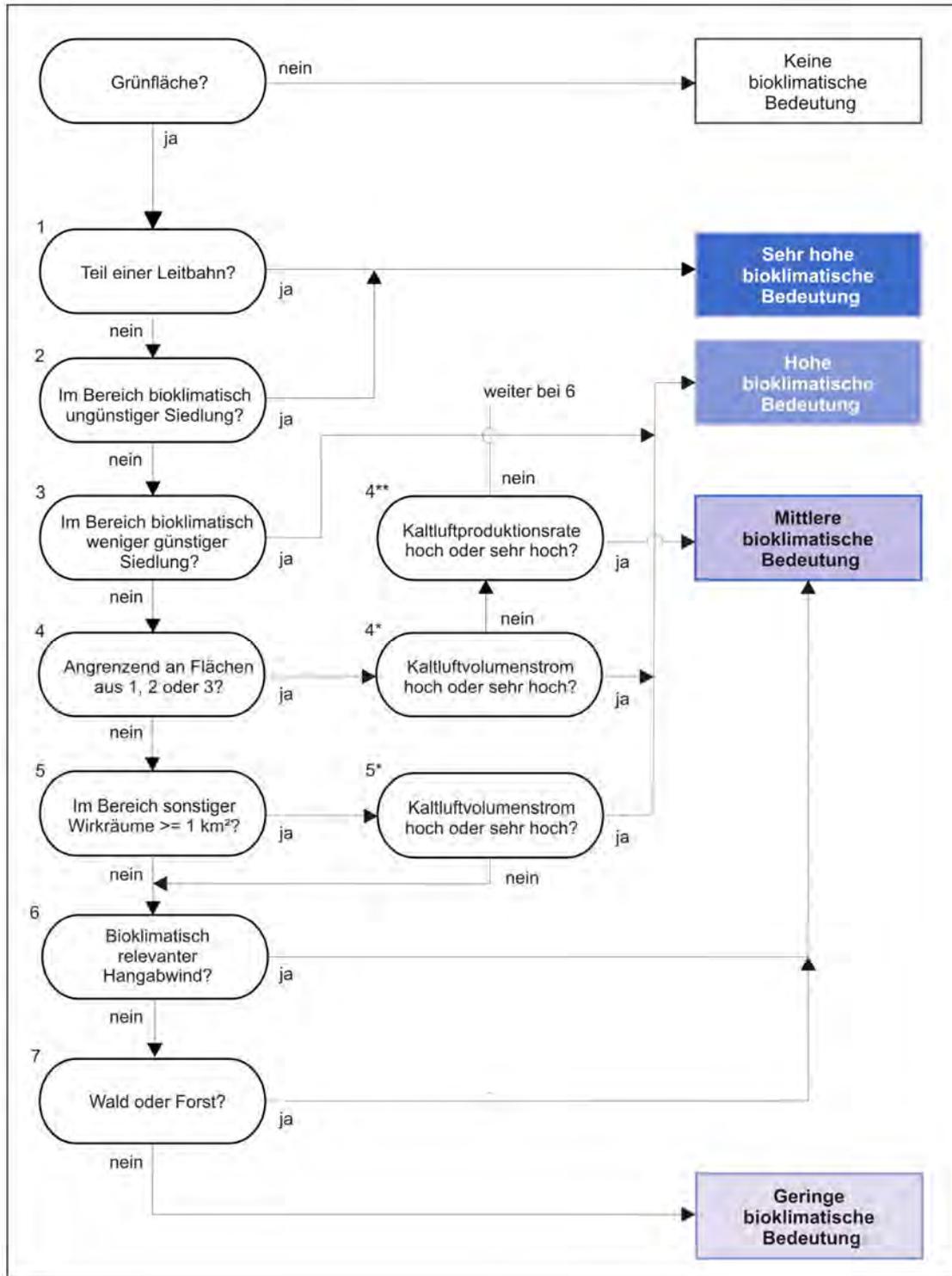


Abb. 14: Vereinfachtes Verknüpfungsmodell zur Ermittlung der bioklimatischen Bedeutung der Grünflächen

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.

4.1 Kaltlufthaushalt – Bodennahes Lufttemperaturfeld

Allgemeines: Der Tagesgang der Lufttemperatur ist direkt an die Strahlungsbilanz eines Standortes gekoppelt und zeigt daher in der Regel einen ausgeprägten Abfall während der Abend- und Nachtstunden. Dieser erreicht kurz vor Sonnenaufgang des nächsten Tages ein Maximum. Das Ausmaß der Abkühlung kann dabei – je nach den meteorologischen Verhältnissen, der Lage des Standorts und den landnutzungsabhängigen physikalischen Boden- und Oberflächeneigenschaften – große Unterschiede aufweisen, so dass sich bereits auf kleinem Raum ein differenziertes Temperaturfeld mit mehr als 9 K (Kelvin)⁶ 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 stadtcharakteristischen Boden- und Oberflächentypen
- die durch die Geometrie der städtischen Baukörper vergrößerte strahlungsabsorbierende Oberfläche
- die herabgesetzte Verdunstung durch die direkte Einleitung des Niederschlagswassers in die Kanalisation oder die Vorflut
- die über die vermehrte Emission von Gasen und Aerosolen zugunsten eines langwelligen Strahlungsgewinns veränderte Strahlungsbilanz (lokaler Treibhauseffekt)
- die Wirkung der Stadt als Strömungshindernis mit hoher 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. 15). Die Abbildungen 16 und 17 auf S. 28 verdeutlichen ausschnitthaft die nutzungsabhängige Variabilität der Lufttemperatur.

Ergebnisse Temperaturfeld: Das sich um 4 Uhr in der Nacht einstellende Temperaturfeld im Untersuchungsraum umfasst zwischen Minimalwerten von 13°C und Maximalwerten von bis zu 22°C eine Spannweite von etwa 9 Kelvin. Die mittlere Temperatur im Untersuchungsgebiet liegt bei den angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen bei 16,2°C.

Die Temperaturverteilung ist auch innerhalb der bebauten Gebiete räumlich differenziert, weil Areale mit Einzelhausbebauung, Kernbebauung und Verkehrsanlagen unterschiedliche Boden- und Oberflächeneigenschaften aufweisen. Die höchsten Temperaturen innerhalb der Bebauung treten mit bis zu 22°C in den Kernbereichen der ehemaligen Altstadt auf und resultieren aus dem großen Bauvolumen und dem hohen Oberflächenversiegelungsgrad im Stadtzentrum.

Die sich an den Innenstadtbereich anschließende und in den Stadtteilzentren auftretende Block- und Blockrandbebauung besitzt mit ca. 20°C bis 21°C ebenfalls ein erhöhtes Temperaturniveau. Dies trifft auch für die Gewerbeflächen zu, die unter anderem im Norden des Stadtgebietes weite Areale charakterisieren. Große Teile des Siedlungsraumes sind durch eine ausgedehnte Einzel- und Reihenhausbauung geprägt (etwa der Stadtteil Nordwest). Diese Bauungsstruktur weist unter den Siedlungsflächen mit durchschnittlich 18,4°C das geringste Temperaturniveau auf. 20°C werden innerhalb dieses Strukturtyps nicht überschritten. Die durch Abstandsflächen geprägte Zeilenbebauung, wie sie flächenhaft z. B. im Stadtteil Stadtfeld West auftritt, liegt mit durchschnittlich 19,8°C etwas oberhalb dieser Werte.

Der Einfluss der Kaltluft auf das Temperaturfeld wird beispielhaft im Stadtteil Alt-Olvenstedt deutlich (s. Abb. 16 und 17). Von den angrenzenden Freiräumen strömt kalte Luft in die Bebauung und sorgt am Siedlungsrand für eine Abkühlung der Lufttemperatur um etwa 2 K gegenüber den 200 m weiter zurückliegenden Bereichen.

⁶ Entsprechend DIN werden in dieser Untersuchung Temperaturdifferenzen in Kelvin (Einheitenzeichen: K) angegeben. Der Wert kann in der Praxis ohne weiteres als Abweichung in Grad Celsius (°C) interpretiert werden.

Im Temperaturfeld treten die unbebauten, vegetationsgeprägten Freiflächen mit deutlich geringeren Werten hervor. Auf ihre Rolle als Kaltluft produzierende Flächen wird in den folgenden Kapiteln näher eingegangen.

Die niedrigsten Temperaturen im Untersuchungsgebiet sind mit weniger als 14°C über den ausgedehnten landwirtschaftlich genutzten Arealen im westlichen Stadtgebiet zu verzeichnen, was in ihrer starken langwelligen Ausstrahlung nach Sonnenuntergang begründet liegt. Ähnlich geringe Werte können auch in Senkenbereichen auftreten, wo sich die Kaltluft aufgrund ihrer, verglichen mit wärmeren Luftmassen,

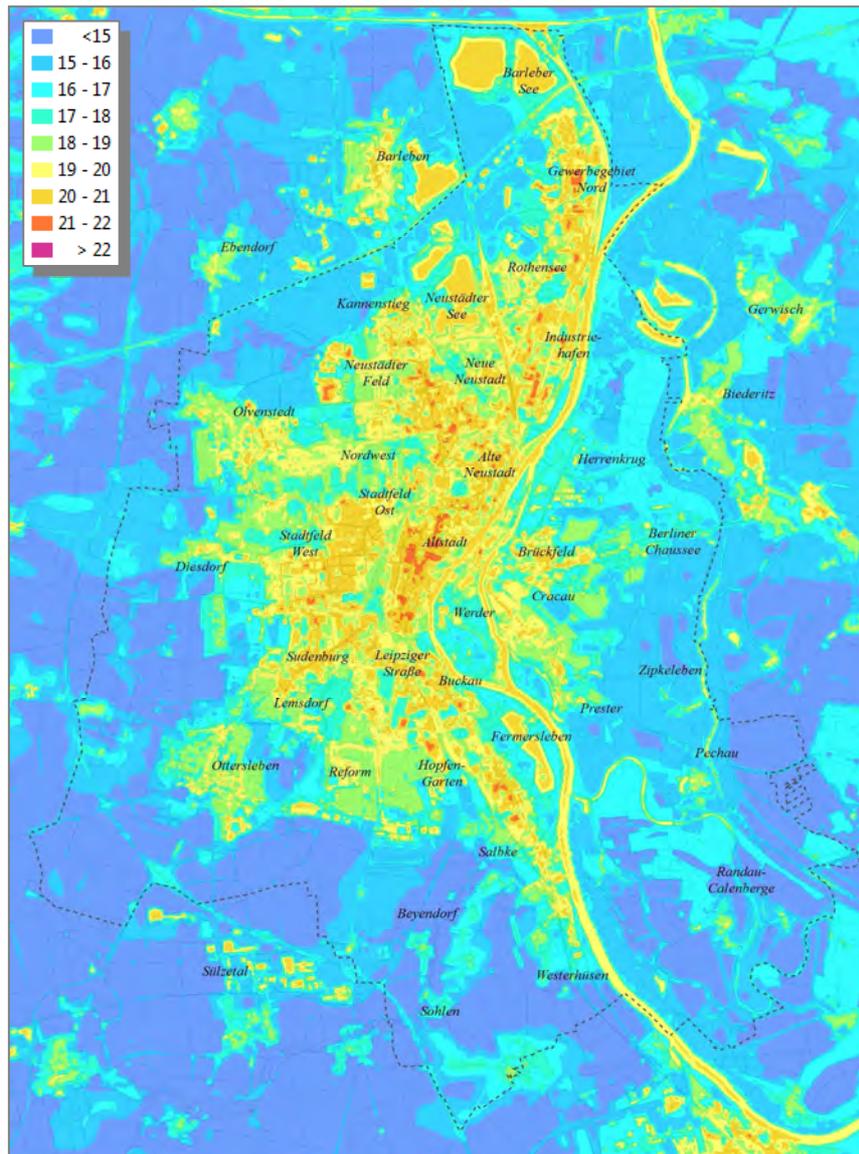


Abb. 15: Temperaturfeld (°C) zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2 m ü. Grund)

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 Freiräumen des Umlandes weisen die innerstädtischen Grünflächen, abhängig von ihrer Größe und Form, ein höheres Wertespektrum auf, welches meist zwischen 15°C und 17°C liegt. Über den weiteren, kleineren Grünflächen sinkt die Temperatur nur noch selten auf unter 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. Dennoch treten die vegetationsgeprägten Areale im Stadtgebiet Magdeburgs deutlich mit vergleichsweise niedrigen Temperaturen hervor.

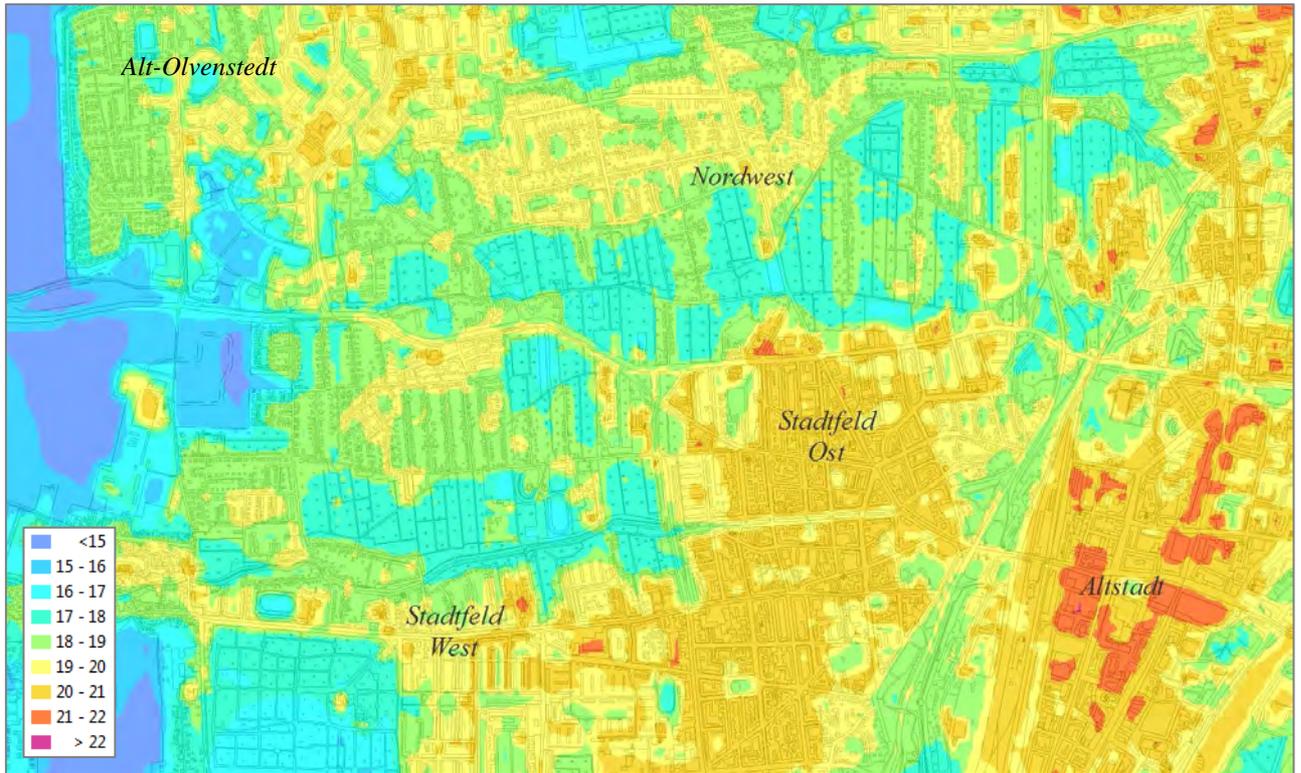


Abb. 16: Ausschnitt des Temperaturfeldes zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens, unterlegt mit der Topographischen Stadtkarte (LANDESHAUPTSTADT MAGDEBURG 2012)

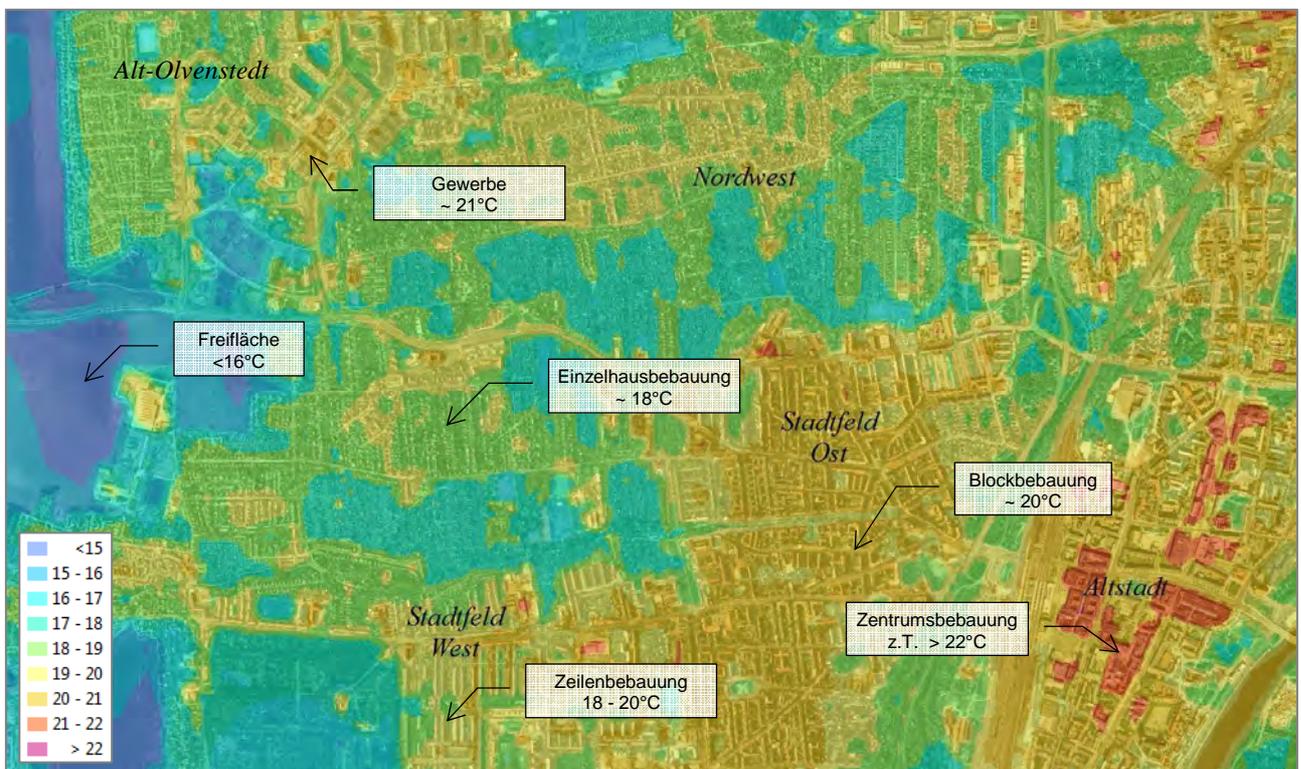


Abb. 17: Spektrum der Lufttemperatur im Bereich verschiedener Nutzungsklassen, unterlegt mit den Luftbildaufnahmen der Landeshauptstadt Magdeburg (HOCHSCHULE MAGDEBURG-STENDAL 2011b)

4.2 Kaltlufthaushalt – Autochthones Windfeld

Allgemeines: Die variable bodennahe Lufttemperaturverteilung bedingt horizontale und vertikale Luftdruckunterschiede, die wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind. Die wichtigsten nächtlichen Luftströmungen dieser Art sind zum einen die gravitationsbedingten *Berg- und Hangabwinde*, zum anderen die als direkte Ausgleichsströmungen vom hohen zum tiefen Luftdruck aufzufassenden *Flurwinde*.

Ab einer Geländeneigung von ein bis zwei Grad setzen nach Sonnenuntergang über natürlichen Oberflächen abwärtsgerichtete Strömungen ein, weil die hangnahe Luft durch nächtliche Ausstrahlung stärker abkühlt als die freie Luft in gleicher Höhe. Aufgrund ihrer höheren Dichte fließt die kühlere Bodenluft hangabwärts. Die Ausprägung dieses kleinräumigen Phänomens wird in erster Linie durch das Temperaturdefizit zur umgebenden Luft und durch die Neigung des Geländes bestimmt (siehe z. B. MOSIMANN et al. 1999).

Hangabwinde erreichen maximale Abflussgeschwindigkeiten von etwa $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, ihre Mächtigkeit liegt zumeist unterhalb von 10 m (HERGERT 1991). Im Berg- und Bergvorland sind Hangwinde oftmals Teilglieder einer übergeordneten Berg- und Talwind-Zirkulation. Aufgrund ihrer größeren Einzugsgebiete sind nächtliche Bergwinde deutlich stärker ausgeprägt als Hangabwinde und erreichen bei Mächtigkeiten von mehreren Dekametern Strömungsgeschwindigkeiten von über $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (WERNER 1979).

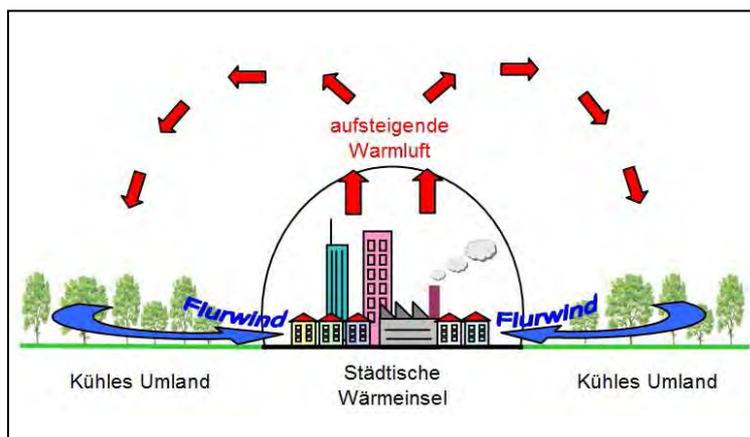


Abb. 18: Prinzipskizze Flurwind

Neben diesen durch das Relief beeinflussten Strömungen bilden sich in ebenen Lagen unter günstigen Bedingungen sogenannte **Flurwinde** aus. Sie sind radial auf einen überwärmten Raum ausgerichtet und an hindernisarme Leitbahnen gebunden. Flurwinde entstehen, wenn sich infolge der Überwärmung von überbauten oder versiegelten Gebieten – und dem damit verbundenen konvektiven Aufstieg der betroffenen Luftmassen – gegenüber dem Umland ein lokales thermisches Tief aufbaut. Der resultierende Druckgradient

kann daraufhin durch einströmende kühlere Luftmassen aus dem Umland ausgeglichen werden (u. a. KIESE et al. 1992). Die Flurwinde sind eng begrenzte, oftmals nur schwach ausgeprägte Strömungsphänomene, die bereits durch einen schwachen überlagernden Wind überdeckt werden können. Ihre Geschwindigkeit liegt meist deutlich unterhalb von $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Kleinräumige Strömungsphänomene, die zwischen einzelnen strukturellen Elementen innerhalb der Stadt auftreten, werden **Strukturwinde** genannt.

Den hier beschriebenen Phänomenen kommt eine besondere landschaftsplanerische Bedeutung zu: Größere Siedlungen wirken aufgrund ihrer hohen aerodynamischen Rauigkeit als Strömungshindernis. Aus diesem Grund ist 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 Bauart und -dichte deutlich eingeschränkt sein. Speziell bei austauschschwachen Wetterlagen wirken sich diese Faktoren bioklimatisch zumeist ungünstig aus. Daher können die genannten Strömungssysteme durch die Zufuhr frischer und kühlerer Luft eine bedeutende klima- und immissionsökologische Ausgleichsleistung für die Belastungsräume erbringen.

Ergebnisse Strömungsfeld: Die Kaltluftströmung ist in der vorliegenden Untersuchung ein wichtiger Parameter zur Beurteilung des Kaltfluthaushaltes, 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.

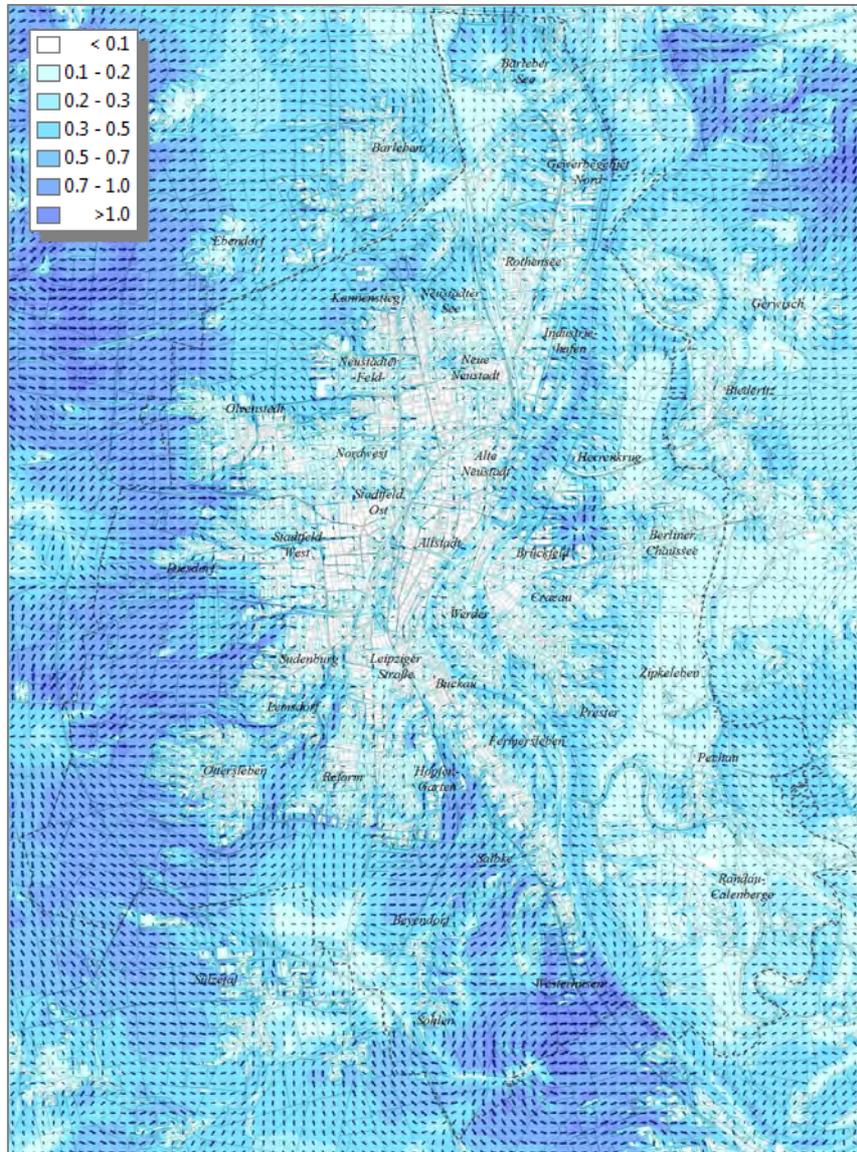


Abb. 19: Strömungsgeschwindigkeit (m/s) und Richtung zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2 m ü. Grund). Die Vektoren sind auf eine Auflösung von 200 m aggregiert.

Abb. 19 zeigt das für den Zeitpunkt 4:00 Uhr modellierte Strömungsfeld, das sich während einer sommerlichen, austauscharmen Strahlungswetternacht autochthon herausgebildet hat. Die momentane Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit wird über die Pfeilrichtung und Pfeillänge in Form von Vektoren dargestellt, wobei die Pfeile für eine übersichtlichere Darstellung in niedriger Auflösung abgebildet werden. Die unterlegten Farben stellen die Windgeschwindigkeit flächenhaft dar. Abgebildet sind alle Rasterzellen mit einer Windgeschwindigkeit von mindestens $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, für die unter Berücksichtigung der gebiets-typischen 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 land-

wirtschaftlich genutzten Freiräumen im Westen Magdeburgs. Überdurchschnittlich hohe Werte von mehr als $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ treten im Stadtgebiet insbesondere dort auf, wo die Strömung orographisch beeinflusst ist, was besonders deutlich nordwestlich von Ottersleben und im Raum Westerhüsen zu beobachten ist. Ähnlich hohe Geschwindigkeiten treten sonst nur in Bereichen auf, in denen die Strömung kanalisiert und damit beschleunigt wird.

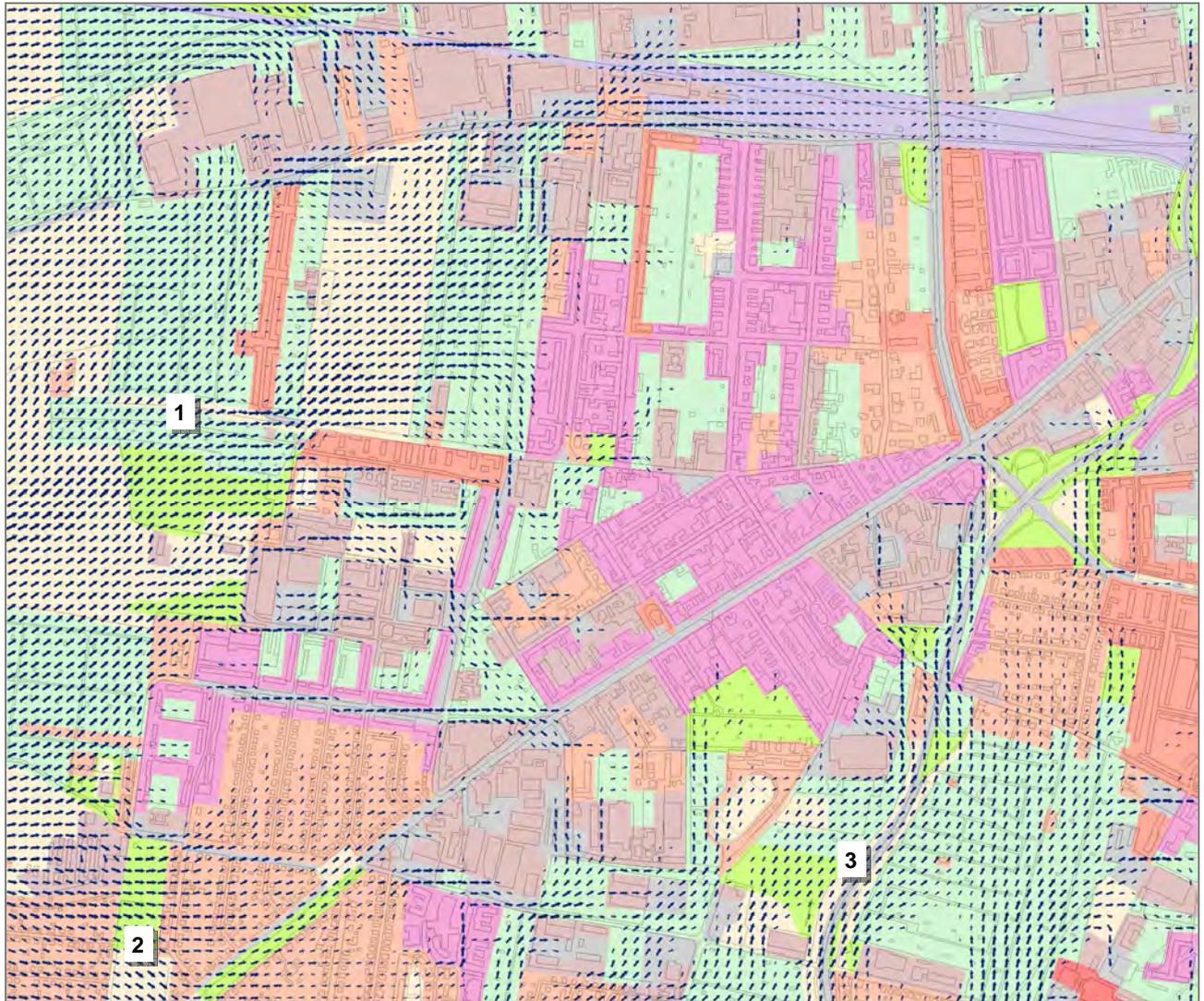


Abb. 20: Strömungsverlauf innerhalb von Grün- und Siedlungsflächen am Beispiel Sudenburgs (Zahlen siehe Text)

Östlich der Elbe ist die Kaltluftströmung insgesamt weniger stark ausgebildet. Das Gelände ist weiträumig eben, so dass kaum gravitationsbedingte Luftbewegungen auftreten; und auch die großflächigen flurwind-induzierenden Überwärmungsbereiche sind vorwiegend am westlichen Hochufer konzentriert. Zudem befinden sich hier größere Waldgebiete wie der Biederitzer Busch oder der Kreuzhorst, deren Kaltluft bodennah aufgrund des Strömungswiderstands im Stammraum nur vergleichsweise langsam fließt.

Abb. 20 verdeutlicht die räumliche Ausprägung des Kaltluftstroms über Grünflächen und in Siedlungsräumen am Beispiel des Stadtteiles Sudenburg. Aus den westlich vorgelagerten Freiräumen strömt Kaltluft über die unbebauten Areale um den Neuen Sudenburger Friedhof [1]. Zwischen der als Strömungshindernis wirkenden Bebauung im Bereich Otto-Richter-Straße / Braunschweiger Straße werden die Luftmassen z. T. abgeriegelt, z. T. in einem zentralen Durchtrittsbereich kanalisiert und dadurch beschleunigt. Über den anschließenden Landwirtschafts- und Gartenflächen wird zusätzliche Kaltluft in die verbleibende Strömung eingebracht und in ihrem weiteren Verlauf in Richtung Fichtestraße transportiert.

Im Umfeld des Karl-Liebnecht-Platzes wird die Gunstwirkung einer gering überbauten und grüngerprägten Oberflächenstruktur auf die Durchlüftung des Siedlungskörpers deutlich [2]. Je nach Dichte der Bebauung und Intensität der Strömungsdynamik kann die Eindringtiefe der Kaltluft in solchen Siedlungsräumen – bei zunehmender Verzögerung und Erwärmung – mehr als 1 000 m betragen.

In Gebieten mit Zeilenbebauung ist die Reichweite der Kaltluft hingegen stark von der Stellung der Baukörper zur vorherrschenden Strömungsrichtung abhängig. In Längsstellung können über die Abstandsflächen ähnlich große Eindringtiefen wie bei der Einzel- und Reihenhausbebauung erreicht werden, während in Querstellung die Strömung unter Umständen vollständig abgeriegelt wird. Aufgrund der umgebenden Grünflächen tritt keine übermäßige Erwärmung der Strömungen auf.

In Siedlungsräume, die von Blockrandbebauung dominiert werden, kann die Kaltluft häufig nur über Straßenräume und Bebauungslücken vordringen. Die Eindringtiefe ist hier generell entsprechend gering, die Erwärmungsrate der Kaltluft hoch. Ähnliches gilt für die Stadt- und Stadtteilzentren sowie Gewerbegebiete.

Die Flächen östlich des Magdeburger Rings [3] heben zwei der zahlreichen bioklimatischen Funktionen von Kleingartenanlagen hervor: Sie können einerseits als hindernisarme Leitbahnen für die Ausgleichsströmungen zwischen vorgelagerten Frei- und Siedlungsräumen wirken, produzieren selbst aber ebenfalls Kaltluft, die dazu beiträgt, die Strömungssysteme in ihrer Intensität und thermischen Charakteristik zu erhalten. Die gleichzeitige Funktion als Kaltluftentstehungsgebiet kann die Effektivität einer Leitbahn entscheidend erhöhen. Das sich weiter nördlich zeigende Einströmen von Luftmassen über den Straßenraum des Magdeburger Rings in die Wohn- und Gewerbebebauung veranschaulicht den Widerspruch zwischen der bioklimatischen Ausgleichsfunktion der transportierten Luftmassen und den über ihren potenziell erhöhten Luftschadstoffgehalt möglichen lufthygienischen Zusatzbelastungen.

4.3 Kaltlufthaushalt – Kaltluftvolumenstrom

Allgemeines und Ergebnisse: 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 aber 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, muss zur Bewertung der Grünflächen ein umfassenderer Klimaparameter herangezogen werden: der sogenannte Kaltluftvolumenstrom.

Unter dem Begriff Kaltluftvolumenstrom versteht man, vereinfacht ausgedrückt, das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite). Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit m^3 , die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer Leitbahn fließt.

Für die in der Abb. 21 dargestellten Werte bedeutet dies folgendes: Da die Modellergebnisse nicht die Durchströmung eines natürlichen Querschnitts widerspiegeln, sondern den Strömungsdurchgang der gleichbleibenden Rasterzellenbreite (hier 25 m), ist der resultierende Parameter streng genommen nicht als Volumenstrom, sondern als rasterbasierte Volumenstrom-*dichte* aufzufassen. Diesen Wert kann man sich veranschaulichen, indem man sich ein 25 m breites, quer zur Luftströmung hängendes Netz vorstellt, das ausgehend von der Obergrenze der Kaltluftschicht bis hinab auf die Erdoberfläche reicht. Bestimmt man nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft, erhält man die rasterbasierte Volumenstromdichte.

Der Volumenstrom ist ein Maß für den *Zustrom von Kaltluft* und bestimmt neben der Strömungsgeschwindigkeit die Größenordnung des Durchlüftungspotenzials. Die Klassifizierung des Volumenstroms orientiert sich am auftretenden Wertespektrum innerhalb des Untersuchungsgebietes. Die qualitative Bewertung dieses Klimaparameters zeigt Tab. 2 auf Seite 17.

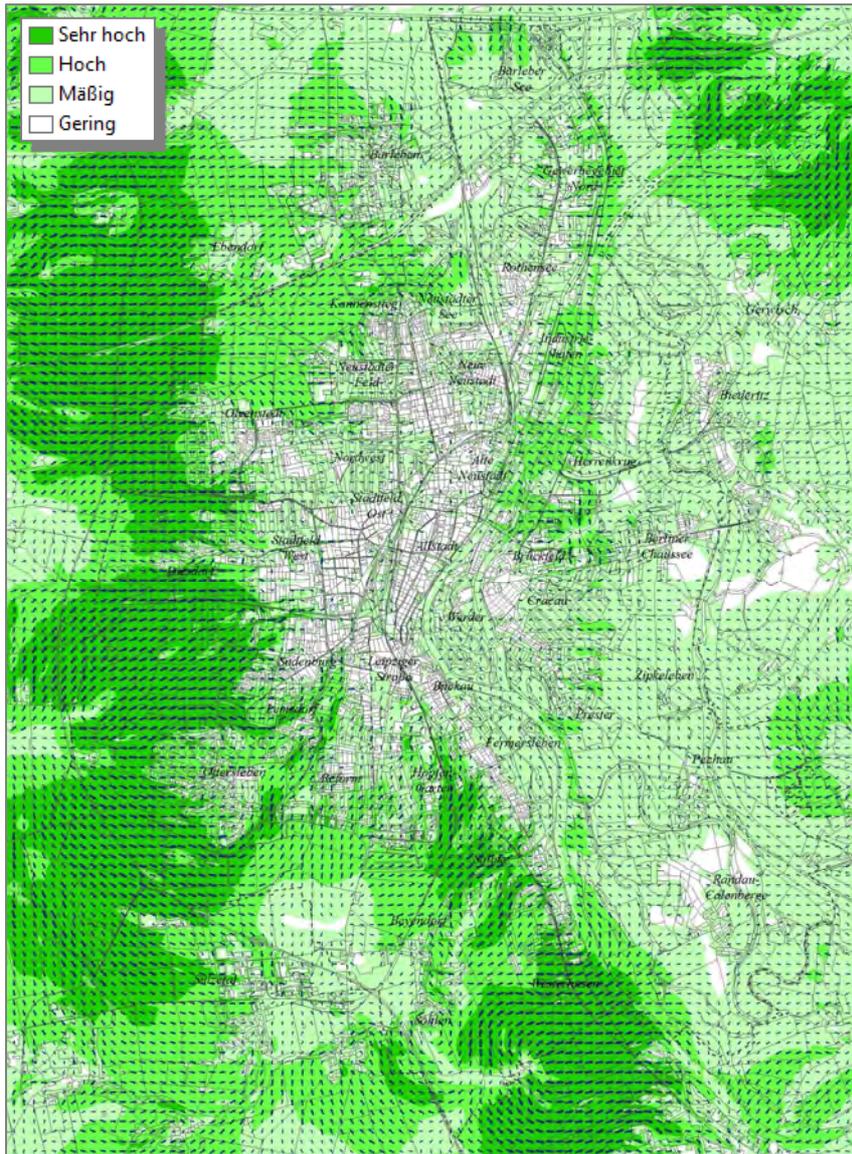


Abb. 21: Kaltluftvolumenstrom zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens. Die Vektoren sind auf eine Auflösung von 200 m aggregiert.

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

Gebäude, Mauern oder Straßendämme wirken als Strömungshindernisse und können luvseitig markante Kaltluftstaus auslösen. Werden die Hindernisse von größeren Luftvolumina über- oder umströmt, kommt es im Leebereich zu einer bodennahen Geschwindigkeitsreduktion, die in Verbindung mit vertikalen oder horizontalen Verlagerungen der Strömungsmaxima stehen kann. Die Eindringtiefe von Kaltluft in bebauten Gebiet hängt wesentlich von der Siedlungsgröße, der Bebauungsdichte, der anthropogenen Wärmefreisetzung (die zu einer Erwärmung der Luftmassen führt) sowie von der Menge der einströmenden Kaltluft ab (s. Seite 31).

Die räumliche Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Untersuchungsraum geht im Wesentlichen mit der des Strömungsfeldes einher, weshalb auf eine gesonderte Ergebnisbeschreibung verzichtet wird.

4.4 Kaltlufthaushalt – Kaltluftproduktionsrate

Allgemeines: Einige landnutzungstypische Charakteristika der Kaltluftentstehung wurden bereits auf den Seiten 25 und 26 im Kapitel zum bodennahen Lufttemperaturfeld angesprochen. Ganz allgemein erreicht die langwellige Ausstrahlung des Erdbodens bei wolkenlosem Himmel und geringem Wasserdampfgehalt der unteren Luftschichten – d.h. bei verminderter atmosphärischer Gegenstrahlung – kurz nach Sonnenuntergang ihren maximalen Wert. Die damit verbundene Abkühlung der Erdoberfläche und der unmittelbar angrenzenden bodennahen Luft wird im weiteren Verlauf einerseits durch turbulente vertikalen und horizontalen Wärmeaustausch aus benachbarten Luftschichten, andererseits durch Wärmeleitung aus tieferliegenden Bodenschichten modifiziert. Für die Ausprägung des turbulenten Wärmeaustausches sind das Relief (Exposition, Geländeneigung) und die Lage des betreffenden Kaltluftentstehungsgebietes im thermisch differenzierten Mosaik angrenzender Flächen verantwortlich. Die Wärmenachlieferung aus dem Boden wird vornehmlich von der Wärmeleitfähigkeit und der Wärmekapazität des Substrates sowie von

eventuell vorhandenen Oberflächenbedeckungen wie Vegetation und Laubstreu bestimmt.

Die Kaltluftproduktionsrate beschreibt die Menge der sich innerhalb einer Stunde pro Quadratmeter relativ zu ihrer Umgebung abkühlenden Luft. Ihre Bestimmung kann mit erheblichen Fehlern behaftet sein, was sowohl für die modellhafte Berechnung als auch für die Geländemessung gilt. Für die Modellierung größerer Untersuchungsgebiete ist beispielsweise kaum davon auszugehen, dass alle wichtigen, zum Teil sehr heterogenen Variablen wie etwa die thermischen Bodeneigenschaften – die u.a. von der Dichte des Substrates, dem Luft- und Wassergehalt und dem Porenvolumen abhängen – aus den Eingangsdaten in hinreichender Differenziertheit parametrisiert werden können. Daher ist bei der Angabe von Kaltluftproduktionsraten mit relativ hohen Unsicherheiten zu rechnen (s. VDI 2003).

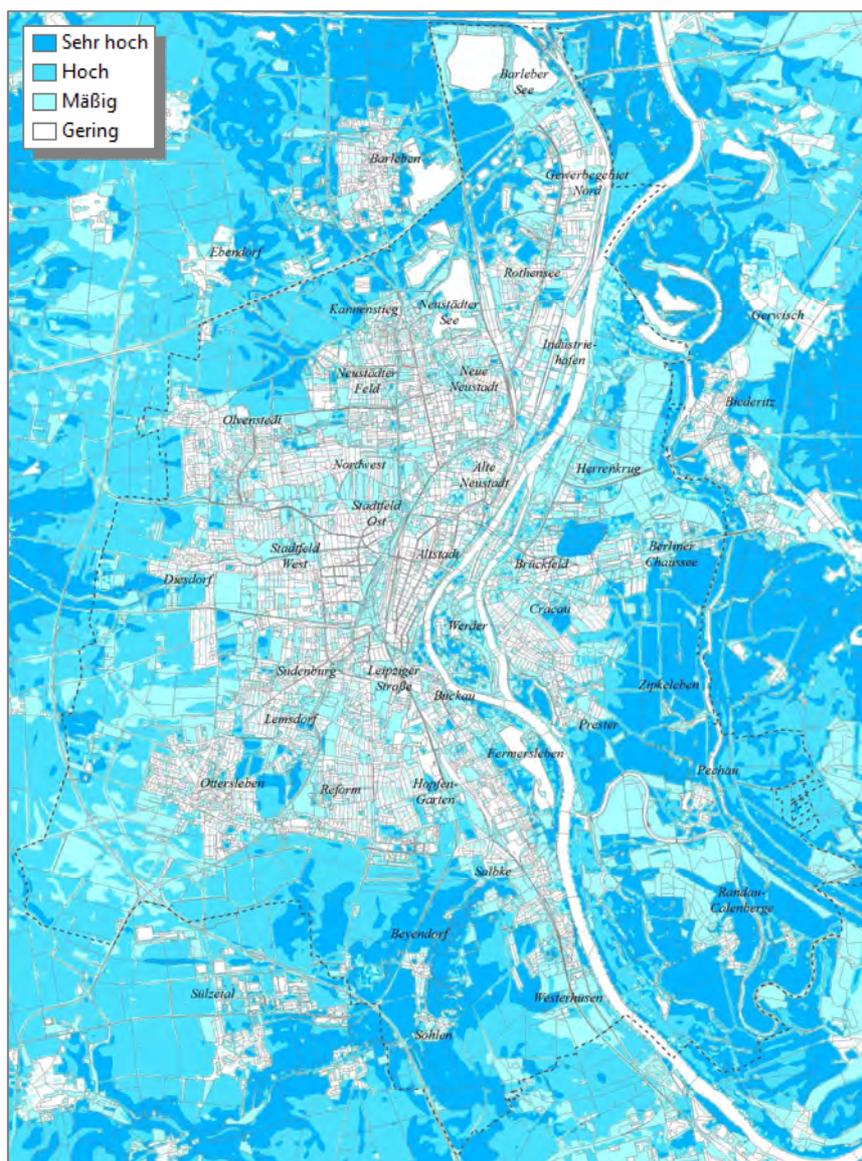


Abb. 22: Kaltluftproduktion im Untersuchungsgebiet

Ergebnisse Kaltluftproduktionsrate:

Wie beim Kaltluftvolumenstrom (siehe S. 32) orientiert sich auch die Einstufung der Kaltluftproduktionsrate am auftretenden Wertespektrum innerhalb des Untersuchungsgebietes. Auch hier wurde, aus den auf Seite 17 beschriebenen Gründen, eine Standardisierung des Parameters mittels z-Transformation durchgeführt. Die Ergebnisse der Standardisierung zeigt Tabelle 4.

Bewertungskategorie	Mittlerer Z-Wert	Kaltluftproduktion in $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$
Sehr hoch	> 1 (obere S_1 -Schranke)	> 20
Hoch	0 bis 1	12 bis 20
Mäßig	-1 bis 0	5 bis 12
Gering	< -1 (untere S_1 -Schranke)	< 5

Tab. 4: Qualitative und quantitative Einordnung der Kaltluftproduktionsrate

Die auf der Vorseite kartographisch dargestellte Kaltluftproduktivität spiegelt die Verteilung der großflächigen Offenlandbereiche im Untersuchungsgebiet wider. Ausgedehnte Areale mit sehr hoher Kaltluftproduktivität finden sich in den orographisch beeinflussten Bereichen, wie etwa im Gebiet der Sohlener Berge zwischen Beyendorf und Salbke. Östlich der Elbe treten die weiträumig ackerbaulich genutzten Flächen, wie sie beispielsweise den Stadtteil Zipkeleben prägen, ebenfalls deutlich als Gebiete hoher Kaltluftproduktion hervor. Wälder und Kleingärten weisen eine mäßige bis hohe Kaltluftproduktivität auf. Siedlungen haben je nach Grünanteil eine geringe Produktivität oder verhalten sich kontraproduktiv. Die Ergebnisse der Analyse umfassen ein Wertespektrum von 0 bis $30 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$.

4.5 Lufthygienische Belastung durch die Quellgruppe Verkehr

Allgemeines: Aufgrund von Überschreitungen der Immissionsgrenzwerte für Feinstaub (PM10, Tagesmittel) und Stickstoffdioxid (NO₂, Jahresmittel) wurde für den Ballungsraum Magdeburg im Jahre 2011 ein Luftreinhalteplan zur Einhaltung der Grenzwerte in Kraft gesetzt, der die Luftqualität umfassend dokumentiert und Maßnahmen zu ihrer Verbesserung festlegt (MLU 2011). Zur Beurteilung der Belastungssituation werden in der Landeshauptstadt aktuell vier Stationen des Luftüberwachungssystems Sachsen-Anhalt (LÜSA) betrieben. Die Abbildungen 23 unten und 24 auf der Folgeseite fassen die Jahresauswertungen dieser Stationen für die Schadstoffe NO₂ und PM10 zusammen (LAU 2007 – 2012).

Die Station Magdeburg West dient der Ermittlung der regionalen und urbanen Hintergrundbelastung, während die am Damaschkeplatz befindliche Messstation zusätzlich die lokal verursachten verkehrlichen Anteile an der Luftschadstoffbelastung registriert. Die Stationen am Schleinufer und an der Reuterallee sind als Kleinmessstationen typisiert und dienen ebenfalls der Überwachung von Verkehrsschwerpunkten. An den Stationen Damaschkeplatz und Reuterallee sind in den Jahren 2009 bis 2011 die Grenzwerte für die NO₂-Jahresimmission (40 µg/m³) jeweils überschritten worden. Der Grenzwert für den Einstundenmittelwert (200 µg/m³) wurde einmalig überschritten (2011) und bleibt damit generell deutlich unterhalb des zulässigen Maßes von 18 Überschreitungen im Jahr.

Ein anderes Bild vermittelt die PM10-Konzentration: Während der Langzeitgrenzwert (40 µg/m³ im Jahresmittel) an allen Stationen durchgängig eingehalten wurde, erweist sich die Sicherung des Kurzzeitgrenzwertes als schwieriger. An jeweils mindestens 47 Tagen der Jahre 2010 und 2011 überschritt an der Station Reuterallee die Konzentration den Tagesimmissionswert von 50 µg/m³. Auch die Stationen Damaschkeplatz und Schleinufer konnten die Grenzwerte nicht durchgängig oder nur sehr knapp einhalten.

Wie auch die Auswertung zahlreicher anderer Messstationen belegt, ist der Grenzwert der mittleren Jahreskonzentration für den Luftschadstoff NO₂ ein deutlich strengeres Kriterium als die Kurzzeitbelastungen im Sinne der 39. BImSchV (2010). In der Praxis ist die Wahrscheinlichkeit, den Kurzzeitgrenzwert an mehr als 18 Stunden im Jahr zu überschreiten, nur dort als sehr hoch anzusehen, wo der Jahresimmissionswert oberhalb von 60 µg·m⁻³ liegt. Umgekehrt verhält es sich bei Betrachtung des Feinstaubes, dessen Kurzzeitgrenzwert deutlich schwieriger einzuhalten ist als das maximal zulässige Jahresmittel.

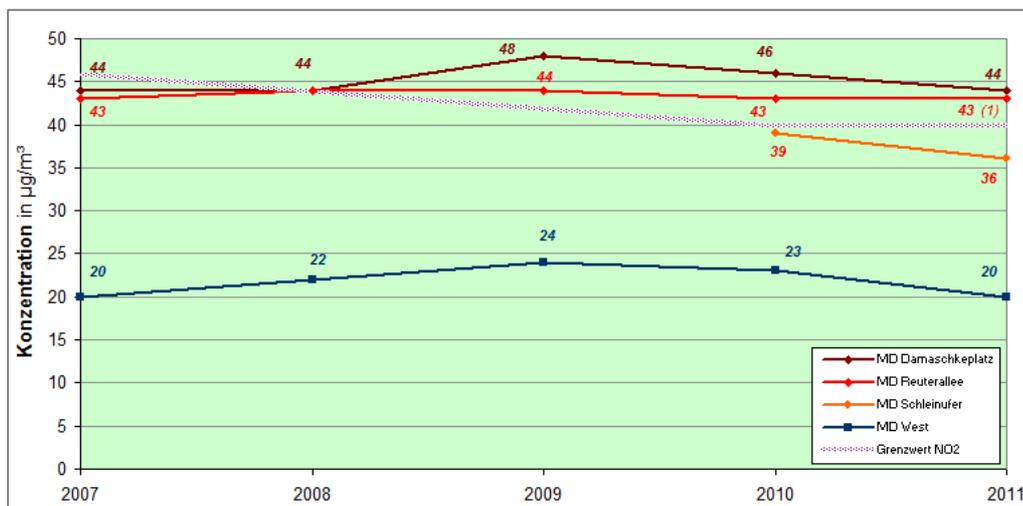


Abb. 23: Jahreskenngößen der NO₂-Konzentration an den LÜSA-Messnetz-Stationen Magdeburg (In Klammern: Überschreitungenzahlen gemäß Tab. 5).
Datenquelle: LAU 2008 – 2012

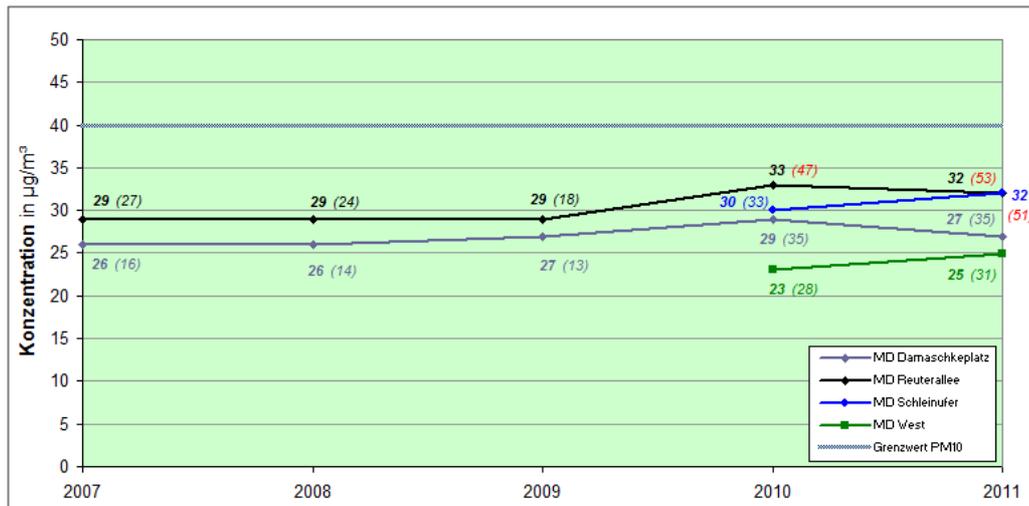


Abb. 24: Jahreskenngößen der PM10-Konzentration an den LÜSA-Messnetz-Stationen Magdeburg. (In Klammern: Überschreitungen gemäß Tab. 5, rot = Grenzwertüberschreitung). Datenquelle: LAU 2008 – 2012

Schadstoffkomponente	Mittelungszeitraum	Immissionsgrenzwert ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	Zulässige Überschreitungen im Kalenderjahr
Stickstoffdioxid (NO_2)	Stundenmittel	200	18 x
	Jahresmittel	40	–
Feinstaub (PM_{10})	Tagesmittel	50	35 x
	Jahresmittel	40	–

Tab. 5: Aktuell rechtsverbindliche Immissionsgrenzwerte in $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ (= Mikrogramm pro Kubikmeter) für die Luftschadstoffkomponenten NO_2 und PM_{10} nach 39. BImSchV (2010)

Für das Ziel, die lufthygienische Belastung so gering wie möglich zu halten, stellen austauscharme Wetterlagen ein besonderes Problem dar. Die Durchmischung der Luft ist während solcher Wetterlagen mehr oder weniger stark eingeschränkt, was wegen der vielfach auftretenden Inversionen hauptsächlich für die vertikale, aufgrund des schwachen Windes aber auch für die horizontale Richtung gilt. Halten austauscharme Wetterlagen, insbesondere im Herbst und Winter, über längere Zeit an, können sich Schadstoffe in Bodennähe anreichern und die Immissionsgrenzwerte überschreiten.

Eine spezielle Situation ergibt sich während der durch Kaltluftbildung und Ausgleichsströmungen beeinflussten Nachtstunden. Die Kaltluft kann sich dabei positiv oder negativ auf die lufthygienische Situation auswirken: Zunächst einmal bildet die vom Boden her abkühlende Luft eine stabile vertikale Schichtung aus, die mit einer geringen turbulenten Diffusion und einer eingeschränkten Verdünnung von bodennah emittierten Luftschadstoffen einhergeht. Dieser Effekt kann noch deutlich verstärkt werden, wenn die Schadstoffe innerhalb von stagnierenden Kaltluftschichten freigesetzt werden. Ist die kaltluftproduzierende Fläche frei von Emittenten, weist die Kaltluft die Qualität der Grundbelastung auf und kann als Frischluftstrom zu einer Verbesserung der Luftqualität in höher belasteten Räumen beitragen. Führt der Strömungsweg der Kaltluft über Emissionsquellen hinweg in die Siedlungsräume hinein, werden die Luftbeimengungen in mitunter quellferne Flächen transportiert und verursachen dort, insbesondere in Stau-Bereichen, eine signifikante Erhöhung der Luftschadstoffbelastung.

Ergebnisse lufthygienische Belastung: Bei der Interpretation der Modellergebnisse müssen zahlreiche Einschränkungen beachtet werden. Beispielsweise werden größere Strömungshindernisse wie Einzelgebäude nicht explizit aufgelöst, sondern gehen entsprechend parametrisiert durch die Definition der Nutzungsklassen in die Modellierung ein. Sie werden daher je Rasterzelle lediglich über eine mittlere Rauigkeit und Hindernishöhe repräsentiert (s. Kapitel 3.1). Spezielle lufthygienisch bedeutsame Konstellationen wie etwa Straßenschluchten können auf diese Weise nicht abgebildet werden. Zudem beruht die Emissionsprognose auf durchschnittlichen gesamtäglichen Verkehrsemissionen – die Ausbreitung eines Großteils der emittierten Luftschadstoffe unterliegt somit abweichenden Strömungsbedingungen. Straßenverkehrsbedingte Luftschadstoffemissionen weisen in der Regel einen Tagesgang mit mehr oder weniger deutlich ausgebildeten morgendlichen und nachmittäglichen Verkehrsspitzen auf.

Die berechnete Ausbreitungssituation ist somit quantitativ nicht auf reale Immissionsbedingungen zu übertragen. Die Schadstoffbelastung wird im Rahmen der eingesetzten Methodik (s. Kapitel 3.2, S. 14) hauptsächlich durch die Emissionsmenge und die modellierte Strömung bestimmt und ist geeignet, Siedlungsbereiche zu identifizieren, in denen bei autochthonen Wetterlagen mit erhöhten Luftschadstoffbelastungen zu rechnen ist.

Die nebenstehende Abbildung zeigt feldhaft die Luftschadstoffkonzentration, die sich bei gegebenen Emissionsmengen aufgrund der sich nächtlich ausbildenden Strömungsbedingungen einstellt.

Ausgehend von der räumlichen Verteilung der Verkehrsmengen ergeben sich im Stadtgebiet Magdeburgs mehrere Belastungsschwerpunkte. Die strömungsparallele Ausrichtung der A 2 führt zu hohen Belastungen im unmittelbaren Nahbereich der zugehörigen Streckenabschnitte, während die relativ starken, quer zur Fahrbahn fließenden Strömungen an der A 14 für eine rasche Verdünnung der Luftschadstoffe sorgen. Die hohen Belastungen des zentralen Magdeburger Rings verdeutlichen die Funktion dieser Strecke als verkehrlich hochfrequentierte innerstädtische Verbindungsachse. Die bebauungsbedingt verminderte Durchmischung der Luftmassen trägt zusätzlich zu hohen Schadstoffbelastungen entlang der Tangente bei.

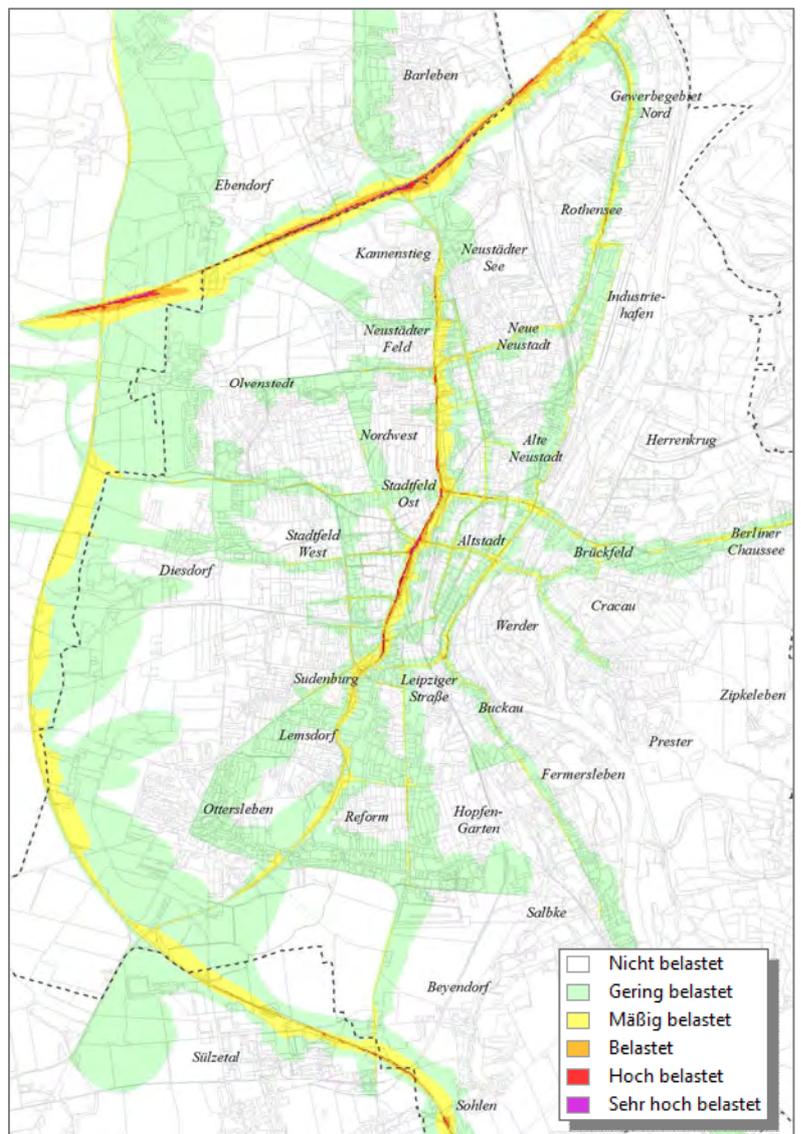


Abb. 25: Verdriftung und qualitative Konzentration von Luftschadstoffen im nächtlichen Strömungsfeld

5 Klimaökologische Funktionen

Die Klimafunktionskarte ist als vereinfachende Zusammenfassung der komplexen Struktur-, Beziehungs- und Funktionsgeflechte der einzelnen zuvor diskutierten Parameter aufzufassen (VDI 1997). Ausgangspunkt der Verknüpfung der miteinander im Zusammenhang stehenden Teilaspekte ist 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 Grünflächen (**Luftleitbahnen**) beide miteinander verbinden. Aus der Abgrenzung von Gunst- und Ungunsträumen sowie der verbindenden Strukturen ergibt sich somit ein komplexes Bild vom Prozesssystem der Luftaustauschbedingungen des **Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüges** im Stadtgebiet Magdeburg. Die Klimafunktionskarte bildet dabei den planungsrelevanten Ist-Zustand der Klimasituation ab. Die abgegrenzten klimatischen Funktionsräume sollen dazu beitragen:

- die Grünflächen und Freiräume 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 wichtigsten Elemente und konzentriert sich auf die Darstellung derjenigen Elemente und Bereiche, die sich mit landschaftsplanerischen Maßnahmen positiv beeinflussen lassen (Maßnahmen zum Schutz, zur Sicherung und zur Entwicklung der Schutzgüter Klima und Luft). Damit steht ein Instrument zur Verfügung, das zur Beurteilung der Auswirkungen einer Nutzungsänderung auf die klimatischen Wirkzusammenhänge beitragen kann. 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 Grünflächen und Freiräume

Vegetationsgeprägte Freiflächen mit einer nennenswerten Kaltluftproduktion stellen klima- und immissionsökologische Ausgleichsräume dar und können über Hang- und Flurwinde die Wärmebelastung in den Siedlungsflächen verringern. Da die Einstufung des Kaltluftliefervermögens – als Maß für den Zustrom von Kaltluft aus den benachbarten Flächen – auf dem Kaltluftvolumenstrom beruht, reproduziert sich die räumliche Ausprägung dieses Parameters im Mosaik der Freiräume. Dabei werden vor allem die west- und südwestlich gelegenen, z. T. orographisch beeinflussten Flächen und die in ihrem Einflussbereich liegenden Areale als Zonen einer *sehr hohen bis hohen Kaltluftlieferung* sichtbar. Dies ist auf die intensiven, z. T. flächenhaften Kaltluftabflüsse zurückzuführen, die mit entsprechend hohen Volumenströmen einhergehen.

Auch die Ausgleichsleistung von Flächen, die eine *mäßige Kaltluftlieferung* aufweisen, ist häufig noch klimaökologisch relevant, was insbesondere Grünflächen in stadtnahen Bereichen betrifft. Diese Areale können als „grüne Trittsteine“ das Eindringen von Kaltluft in die Bebauung unterstützen und damit den jeweiligen klimatischen Einwirkungsbereich vergrößern.

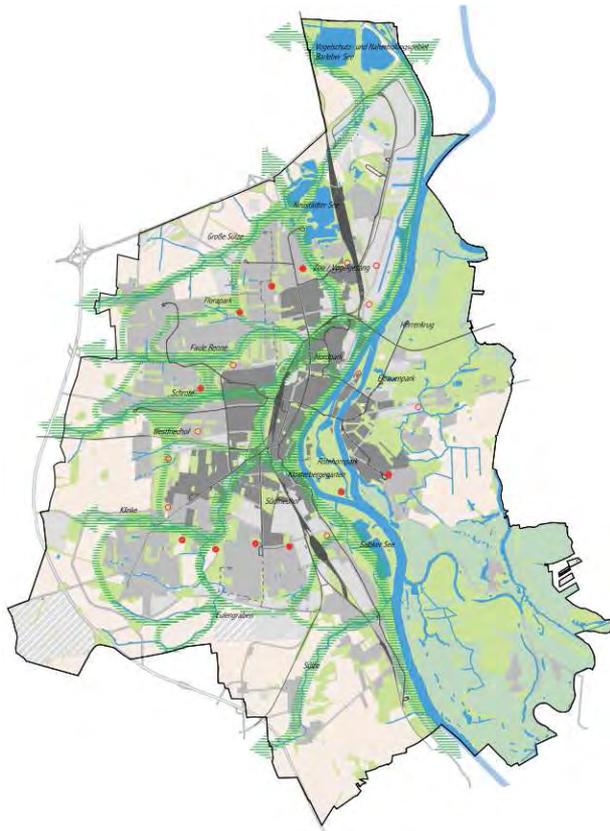


Abb. 26: Freiflächensystem mit axialen Grünverbindungen (LANDESHAUPTSTADT MAGDEBURG 2010)

Die zahlreichen siedlungsnahen Kleingartenanlagen der Landeshauptstadt weisen insgesamt einen mäßigen Kaltluftvolumenstrom auf. Aufgrund ihrer Größe und ihrer Lage als verbindendes Element zwischen außerstädtischen und innerstädtischen Bereichen sind sie ein wesentlicher Bestandteil des Magdeburger Grünsystems. Sie können erstens als hindernisarme Leitbahnen für die Ausgleichsströmungen zwischen vorgelagerten Grünflächen und Siedlungsräumen wirken und zweitens selbst zusätzlich Kaltluft produzieren, die dazu beiträgt, die Strömungssysteme in ihrer Intensität und thermischen Charakteristik zu erhalten. Die gleichzeitige Funktion als Kaltluftentstehungsgebiet kann die Effektivität einer Leitbahn entscheidend erhöhen.

Kleinere städtische Parkareale, Friedhöfe und Brachen sind aufgrund ihrer isolierten Lage in der Bebauung häufig durch eine geringe Kaltluftlieferung charakterisiert. Wegen ihrer geringen Größe bilden sie zudem selten eine eigene Kaltluftströmung aus. SCHERER (2007) beziffert die Flächenmindestgröße zur Ausbildung nächtlicher Strukturwinde mit etwa einem Hektar.

Aus kaltluftthaushaltlicher Sicht ist diesen Flächen somit eine untergeordnete Ausgleichsleistung für umliegende Siedlungsgebiete zuzusprechen. Dennoch können sie bioklimatisch durchaus von hoher Bedeutung sein. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass die Bewertung über das Kaltluftliefervermögen ein auf die nächtliche Ausgleichsleistung beschränkter Parameter ist. Tagsüber jedoch, wenn bei sommerlichen Hochdruckwetterlagen starke Einstrahlungsintensitäten und Wärmebelastungen auftreten, erfüllen innerstädtische Grünflächen wichtige Funktionen als bioklimatische Erholungsräume (Komfortinseln). Dies gilt insbesondere dann, wenn sie ein vielfältiges Mosaik unterschiedlicher Mikroklimata aufweisen (beispielsweise Sonnen- und Schattenbereiche, Wasserflächen).

Nicht immer ist eine intensive Kaltluftproduktivität mit einem hohen Volumenstrom verbunden. Um den Kaltluftthaushalt der Freiräume dahingehend in der Karte differenzieren zu können, werden Flächen mit einer besonders hohen Kaltluftproduktionsrate in einer separat überlagernden Signatur ausgewiesen.

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.

Die Tabellen auf der Folgeseite bilanzieren die Freiräume und Grünflächen des Untersuchungsgebietes und des Stadtgebietes anteilig entsprechend ihres Kaltluftliefervermögens.

Kaltluft-lieferung	Temperatur (°C)	Wind-geschwindigkeit (m·s ⁻¹)	Kaltluft-volumenstrom (m ³ ·s ⁻¹)	Kaltluft-produktionsrate (m ³ ·m ⁻² ·s ⁻¹)	Fläche (km ²)	Anteil am Freiraum-bestand (%)
Sehr hoch	15,7	0,72	1145,4	11,2	87,52	25,6
Hoch	16,5	0,41	574,0	11,4	100,06	29,2
Mäßig	17,1	0,22	233,4	10,9	148,12	43,2
Gering	18,1	0,12	64,0	9,1	6,80	2,0

Tab. 6: Bilanz der Kaltluftlieferung von Freiräumen und Grünflächen im Untersuchungsgebiet mit durchschnittlicher Ausprägung der Klimaparameter

Kaltluft-lieferung	Temperatur (°C)	Wind-geschwindigkeit (m·s ⁻¹)	Kaltluft-volumenstrom (m ³ ·s ⁻¹)	Kaltluft-produktionsrate (m ³ ·m ⁻² ·s ⁻¹)	Fläche (km ²)	Anteil am Freiraum-bestand (%)
Sehr hoch	16,5	0,66	1110,2	9,6	4,01	25,8
Hoch	17,4	0,39	586,1	9,4	5,25	33,7
Mäßig	18,4	0,21	225,4	8,6	5,73	36,8
Gering	19,1	0,11	56,9	7,5	0,59	3,8

Tab. 7: Bilanz der Kaltluftlieferung von Freiräumen und Grünflächen im Stadtgebiet von Magdeburg mit durchschnittlicher Ausprägung der Klimaparameter

5.2 Siedlungsräume

Etwa 72 km² (17 %) des Untersuchungsgebietes sind als „Siedlungsraum“ klassifiziert, 51 km² davon liegen innerhalb der Stadtgrenzen und nehmen etwa 25 % der Stadtgebietsfläche ein.

Wie in Kapitel 3.3.3 (S. 20) beschrieben, ist die bioklimatische Belastungssituation der Siedlungsräume in vier Klassen auf Basis des PMV-Wertes als Maß für die Wärmebelastung in einer Sommernacht ausgewiesen worden. Daraus ergibt sich eine räumliche Untergliederung der Siedlungsflächen in bioklimatisch belastete und bioklimatisch günstige Bereiche.

Letztere sind zumeist durch eine relativ geringe bauliche Dichte und eine moderate Flächenversiegelung gekennzeichnet, wie sie typischerweise in Gebieten mit Einzel- und Reihenhausbau auftritt. Die in Kapitel 4.1 (S. 25) beschriebenen, für das thermische Sonderklima der Städte verantwortlichen Parameter sind hier nur lokal oder in reduziertem Ausmaß ausgebildet, was zu einer – gegenüber dicht bebauten Räumen – geringeren nächtlichen Überwärmung führt. Solche Siedlungsareale weisen zumeist *günstige bis sehr günstige bioklimatische Bedingungen* auf. Flächen, die im Einwirkungsbereich von Kaltluftströmungen liegen, erfahren zusätzlich (oder davon unabhängig) eine durchlüftungsbedingte Entlastung durch die Abfuhr oder Abkühlung wärmerer Luftmassen.

Im Gegensatz dazu sind insbesondere in den Stadtzentren alle Faktoren, die eine städtische Überwärmung gegenüber dem Umland begünstigen, voll ausgeprägt. Aufgrund ihres hohen Bauvolumens und ihrer freiflächenfernen Lage sind sie außerdem für ausgleichende Kaltluftströmungen kaum zugänglich. Mit ihrer roten Flächensignatur, die *besonders ungünstige bioklimatische Verhältnisse* kennzeichnet, können entsprechende Siedlungsräume in der Karte leicht lokalisiert werden. Auch größere Gewerbe- und Industrieareale treten mit einer recht hohen Belastung hervor, da sie oftmals eine ähnlich verdichtete Bebauungsstruktur und ähnlich hohe Versiegelungsgrade wie die Innenstadtbereiche aufweisen. Gebiete, in

denen block- und zeilenartige Bauweisen vorherrschen, ordnen sich in ihren bioklimatisch relevanten Eigenschaften zwischen den Bebauungsextremen ein und weisen, je nach Lage im Mosaik der Siedlungsstrukturen variable Bedingungen in mittleren Belastungsbereichen auf.

Die Signatur der bioklimatischen Belastung in der Klimafunktionskarte ist somit Ausdruck der stadttypischen raumstrukturellen Form der Verdichtung mit ihrem in Richtung Zentrum zunehmenden Bebauungs- und Versiegelungsausmaß sowie der abnehmenden Erreichbarkeit und Zugänglichkeit für nächtliche Ausgleichsströmungen.

Bioklimatische Verhältnisse	Temperatur (°C)	Windgeschwindigkeit (m·s ⁻¹)	Kaltluftvolumenstrom (m ³ ·s ⁻¹)	Kaltluftproduktionsrate (m ³ ·m ⁻² ·s ⁻¹)	Fläche (km ²)	Anteil an der Siedlungsfläche (%)
Sehr günstig	17,7	0,29	481,2	4,0	21,57	31,0
Günstig	19,1	0,17	205,1	2,8	28,82	41,5
Weniger günstig	20,2	0,12	89,7	2,1	18,14	26,1
Ungünstig	21,1	0,11	54,8	1,3	0,97	1,4

Tab. 8: Bilanz der Siedlungsräume im Untersuchungsgebiet mit durchschnittlicher Ausprägung der Klimaparameter

Bioklimatische Verhältnisse	Temperatur (°C)	Windgeschwindigkeit (m·s ⁻¹)	Kaltluftvolumenstrom (m ³ ·s ⁻¹)	Kaltluftproduktionsrate (m ³ ·m ⁻² ·s ⁻¹)	Fläche (km ²)	Anteil an der Siedlungsfläche (%)
Sehr günstig	17,8	0,30	526,9	3,8	11,66	23,1
Günstig	19,1	0,17	211,6	2,9	20,90	41,4
Weniger günstig	20,2	0,12	88,4	2,1	17,00	33,6
Ungünstig	21,1	0,10	54,8	1,3	0,97	1,9

Tab. 9: Bilanz der Siedlungsräume im Stadtgebiet von Magdeburg mit durchschnittlicher Ausprägung der Klimaparameter

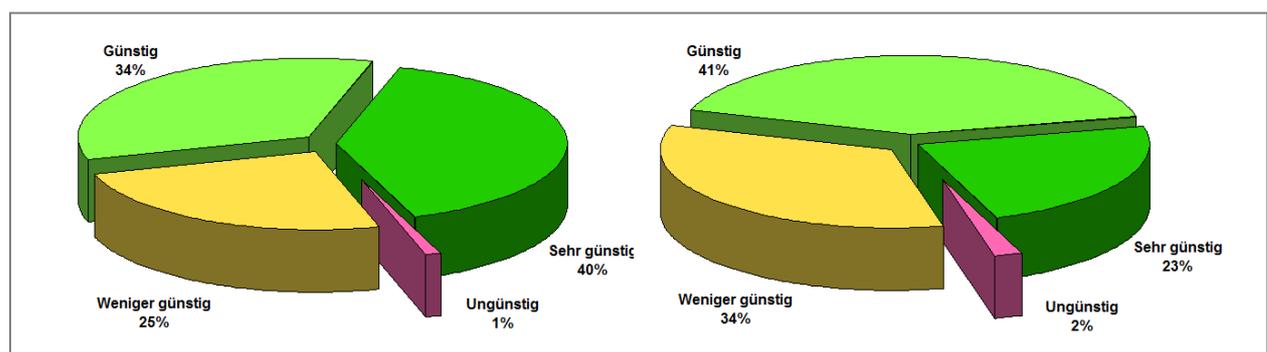


Abb. 27: Bilanz der bioklimatischen Verhältnisse von Siedlungsräumen im Untersuchungsgebiet (69,5 km², links) und im Stadtgebiet von Magdeburg (50,5 km², rechts).

Kaltlufteinwirkungsbereiche – also solche Siedlungsgebiete, die von einer klimaökologisch relevanten Strömung mit einer Geschwindigkeit von mindestens $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ durchströmt werden – sind in der Karte durch eine eigene überlagernde Schraffur gekennzeichnet. Wie bereits in Kapitel 4.3 erläutert, hängt die Reichweite von Kaltluft in bebautes Gebiet im Wesentlichen von der Siedlungsgröße, der Bebauungsdichte, der anthropogenen Wärmefreisetzung sowie von der Menge der einströmenden Kaltluft ab. Die Eindringtiefe ist daher bei Kaltluftabflüssen mit Bezug zu großräumigen Kaltluftentstehungsflächen am intensivsten. In den peripheren, vergleichsweise gering überbauten Ortsteilen erfolgt häufig sogar ein vollständiges Durchströmen des Siedlungsraumes ohne Abkoppelung vom lokalen Windfeld. Die Eindringtiefe der Kaltluft beträgt abhängig von der Bebauungsstruktur üblicherweise zwischen 100 m und etwa 1 500 m. Insgesamt befinden sich am Ende der Sommernacht etwa 32 Prozent des untersuchten Siedlungsraums im Wirkungsbereich von Flurwinden und lokalen Kaltluftabflüssen.

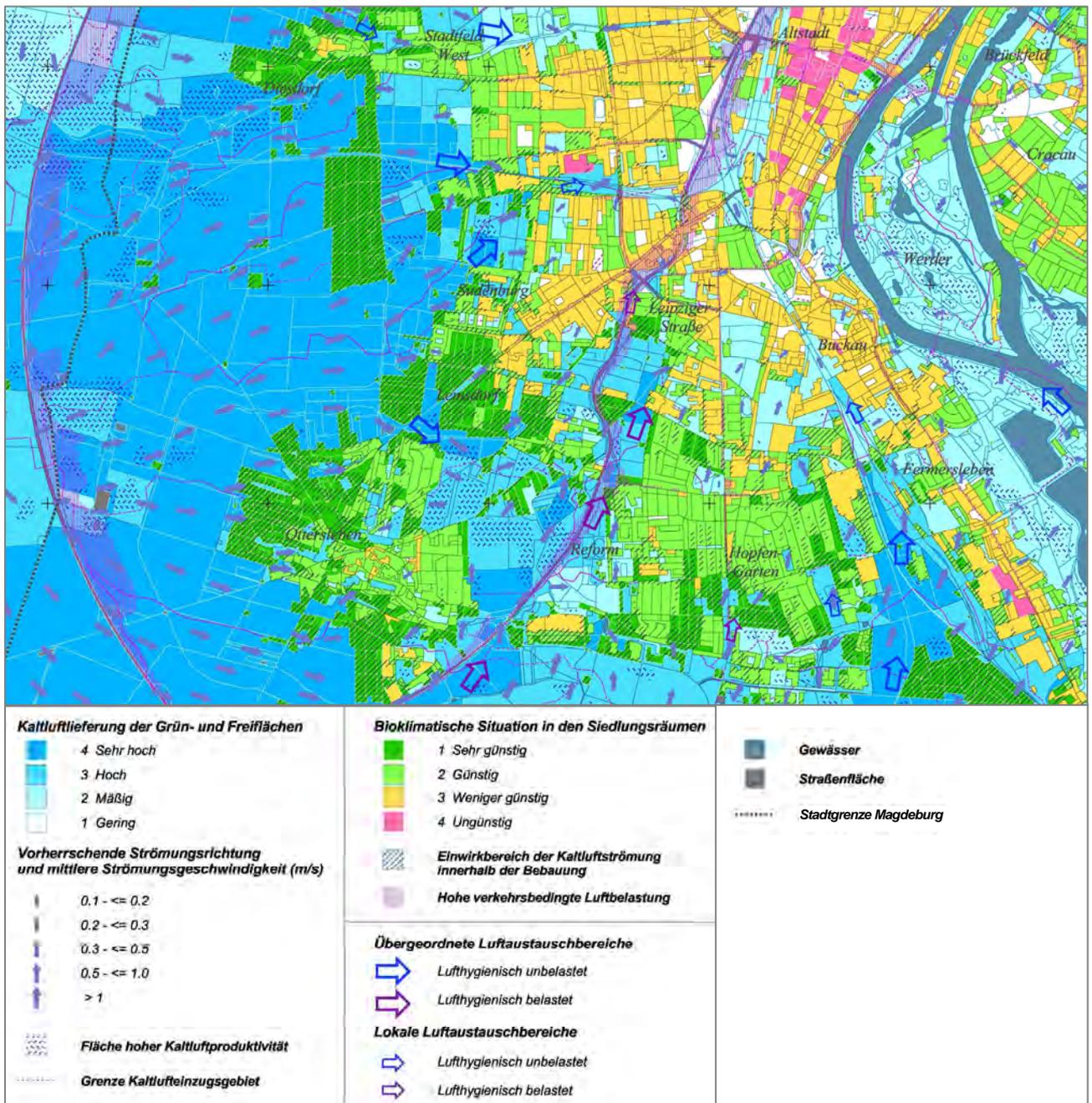


Abb. 28: Klimafunktionskarte (Ausschnitt)

5.3 Luftaustausch

Strukturen, die den Luftaustausch ermöglichen und Kaltluft an die Siedlungsbereiche heranzuführen, 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. Da Leitbahnen selbst auch Kaltluft produzieren können, lassen sich Grünflächen, von denen Kaltluft direkt in die Bebauung strömt, nicht immer trennscharf von Leitbahnen, die als mehr oder weniger reine „Transportwege“ fungieren, abgrenzen. Insbesondere im innerstädtischen Bereich sind solche Flächen, wenn es sinnvoll erschien, ebenfalls als Luftaustauschbereiche ausgewiesen worden.

In der Karte werden zwei Hierarchiestufen unterschieden: Als „Übergeordnete Luftaustauschbereiche“ werden Luftaustauschsysteme gekennzeichnet, deren Wirkung über die direkt angrenzenden Siedlungsflächen hinausgeht und größere Kaltluftmassen über weitere Strecken in die Siedlungsräume transportiert. „Lokale Luftaustauschbereiche“ sind hingegen solche, deren Flächen entweder einen wesentlich kleineren Querschnitt besitzen oder aber eine nur geringe Reichweite in direkt angrenzende Siedlungsbereiche erzielen.

Im Rahmen dieses Berichtes ist es nicht möglich alle durch die Klimamodellierung ausgewiesenen Luftaustauschbereiche umfassend zu beschreiben. Einige wichtige übergeordnete Bereiche seien im Folgenden beispielhaft beschrieben (siehe auch Abb. 29 auf der Folgeseite):

1. Freiflächen zwischen dem Stadtteil Großer Silberberg und Krankenhaus Olvenstedt mit Fortsetzung über Bördegarten, Florapark und Kleingartenanlagen in Richtung Neustädter Feld und Nordwest.
2. Bereich Olvenstedter Röthe mit sehr hoher Kaltluftlieferung für die Stadtteile Alt- und Neu-Olvenstedt, Diesdorf und Stadtfeld West (insbesondere Lindenweiler). Fortsetzung über die Kleingartenanlagen in der Umgebung der Faulen Renne im Norden und entlang der Schrote im Süden in Richtung Stadtfeld-Ost.
3. Schrotegebiet mit sehr hoher Kaltluftlieferung für die Stadtteile Diesdorf, Sudenburg und Stadtfeld West. Fortsetzung über den Westfriedhof in Richtung Hermann-Beims-Siedlung.
4. Klinkebereich mit sehr hoher Kaltluftlieferung für die Stadtteile Sudenburg und Lemsdorf. Fortsetzung über die umliegenden Kleingartenanlagen und Agrarflächen in Richtung Leipziger Straße / Stadtfeld Ost.
5. Bereich Eulegraben / Kleiner Wiesengraben mit sehr hoher Kaltluftlieferung für die Stadtteile Ottersleben, Lemsdorf und Reform. Durchtritt über den Magdeburger Ring zwischen dem Einkaufszentrum Bördepark und dem Gutspark und Fortsetzung über Kleingartenanlagen und Agrarflächen in Richtung Lemsdorf / Sudenburg / Leipziger Straße (lufthygienisch belastet).
6. Bereich Galgenberg / Sohlener Berge mit hoher Kaltluftlieferung für die Stadtteile Reform, Hopfengarten und Salbke. Durchtritt zwischen Flugplatz und den Siedlungen Wolfseide und Lüttgen Salbke mit Fortsetzung über Kleingartenanlagen und Gleiskörper in Richtung Fermersleben und Buckau.
7. Bereich Sohlener Berge / Wellenberge mit hoher Kaltluftlieferung für die Stadtteile Westerhüsen und Salbke mit konvergierenden Strömungen in Richtung Elbe.
8. Elbniederung mit insgesamt mäßiger Kaltluftdynamik und für die modellierte Wettersituation nur geringem Einfluss auf das Stadtgebiet Magdeburgs über den Werder hinaus. Bei leicht überlagernden Winden aus östlichen Richtungen und während Normalwetterlagen dürfte der Bereich als wichtige Ventilationsbahn wirken. Zusätzliche Bedeutung erhält der Werder aufgrund seiner Funktion als bioklimatischer Erholungsraum am Tage (Rotehornpark).

9. Bereich Herrenkrug- und Elbauenpark mit Beeinflussung durch den Elbübergang und Fortführung mit verringerter Intensität über „grüne Trittsteine“ in Richtung Neue und Alte Neustadt.
10. Bereich nördliche Schrote / Neustädter Seen mit Erwärmung und Verlangsamung der Kaltluft über dem Wasserkörper. Bei niedrigeren Wassertemperaturen (als den hier modellierten 20°C) könnte die Strömung bis in die südlich gelegenen Siedlungsbereiche vordringen.

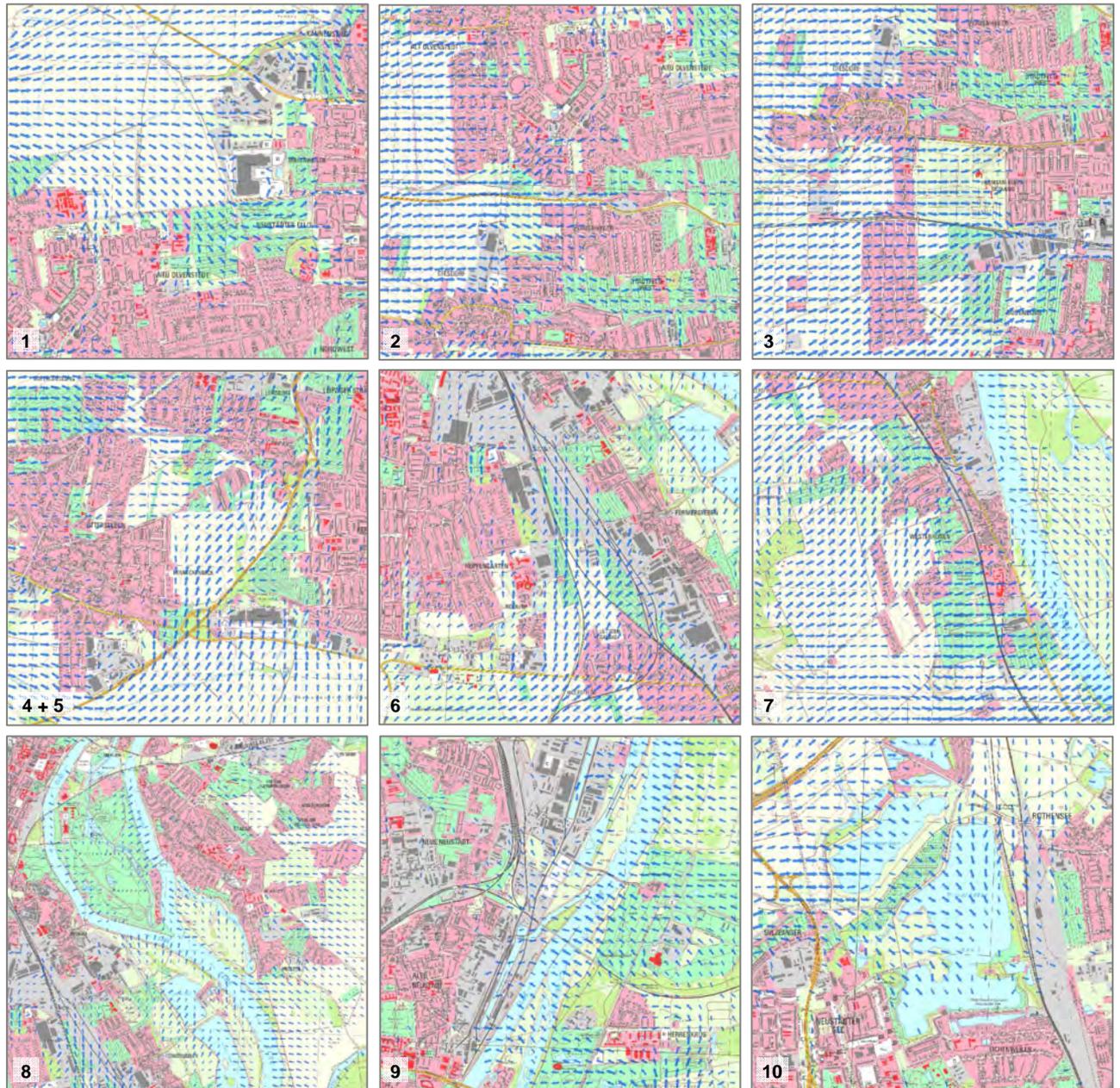


Abb. 29: Beispiele wichtiger übergeordneter Luftaustauschbereiche (Beschreibung siehe Vorseite)
 Unterschiedliche Maßstäbe
 Strömungspfeile auf 100 m aggregiert
 Kartengrundlage: LVermGeo SA (2011)

6 Planungshinweiskarte Klima/Luft

Die Planungshinweiskarte Klima/Luft 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 des Bioklimas 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 Karte der klima- und immissionsökologischen Planungsempfehlungen soll dazu dienen, Funktions- und Nutzungskonflikte mit konkurrierenden Planungen (Wohngebietsausweisungen, Gewerbeansiedlungen, Verkehrsplanungen) frühzeitig zu erkennen und die Aspekte Klima und Lufthygiene in den Abwägungsprozess einzubeziehen.

Die Planungsempfehlungen beziehen sich vorrangig auf die Luftaustauschprozesse während windschwacher Strahlungswetterlagen zwischen dem engeren Stadtgebiet (= Wirkungsraum) und den Freiräumen im Umland (= Ausgleichsraum), die für die klimatisch belasteten Areale eine relevante Ausgleichsleistung erbringen können. Bioklimatische Ausgleichsleistungen für Belastungen, die am Tage auftreten, werden über generelle Erwägungen bei der Ermittlung der klimaökologischen Bedeutung berücksichtigt (s. S. 22 ff) und in einem separaten Kapitel ausgeführt (S. 53). Auf nähere Planungshinweise zur Minderung der Schadstoffbelastung wird im Hinblick auf die umfangreiche Luftreinhalteplanung in der Landeshauptstadt Magdeburg verzichtet (MLU 2011).

Es bleibt bei allen Aussagen zu berücksichtigen, dass das Beurteilungsschema auf einer weitgehend automatisierten Inwertsetzung beruht, die darauf zielt, eine effizient erstellte Einschätzung aller relevanten Flächen und ihrer Bedeutung zu liefern. Die Betrachtungsebene ist auf einen Maßstabsbereich unterhalb von etwa 1 : 10 000 ausgerichtet. Für eine umfassendere Beurteilung der Grünflächen sollte daher immer auch die zugrundeliegenden Einzelparameter zu Rate gezogen werden (siehe Nutzungshinweise in Kapitel 6.4).

6.1 Grünflächen und Freiräume

Im Gegensatz zur Klimafunktionskarte tritt in der Planungshinweiskarte die Kaltluftproduktivität einer Grünfläche als qualifizierender Parameter bei der Bewertung in den Hintergrund. Für die planerische Einordnung ist primär die Lage im Raum entscheidend und damit die Frage, welche Ausgleichsleistung die Grünfläche für eine zugeordnete Bebauung erbringen kann (siehe Methodenbeschreibung auf S. 22 ff).

Grünflächen mit *einer sehr hohen klimaökologischen Bedeutung* sind demzufolge hauptsächlich in direkter Siedlungsnähe vorzufinden. Sie liegen entweder im unmittelbaren Einflussbereich von bioklimatisch hoch belasteten Siedlungsräumen oder weisen eine Funktion als Kaltluftleitbahn / Luftaustauschbereich auf.

Eine als *hoch bedeutsam* eingestufte Grünfläche verfügt *entweder* über einen direkt zugeordneten, bioklimatisch belasteten Wirkungsraum *oder* weist einen überdurchschnittlichen Kaltluftvolumenstrom auf und ist gleichzeitig als Ausgleichsraum oder Kaltluftquellgebiet einzustufen.

Eine *mittlere bioklimatische Bedeutung* wurde Umfeldflächen mit unterdurchschnittlichem Kaltluftvolumenstrom aber hoher Kaltluftproduktionsrate zugewiesen. Auch Wald- und Forstgebiete wurden pauschal in diese Klasse eingeordnet. Wald kommt generell eine von der Stärke des nächtlichen Kaltluftliefervermögens unabhängige bioklimatische Ausgleichsleistung als Frischluftproduzent und Erholungsraum zu.

Als vierte Kategorie werden Grünflächen und Freiräume mit einer *geringen stadtklimatischen Bedeutung* ausgewiesen. Dabei handelt es sich meist um siedlungsferne Freiräume, die keinen nennenswerten Einfluss auf belastete Siedlungsbereiche ausüben.

Tabelle 10 fasst, unterteilt nach der zugrundeliegenden Bewertung, die Flächenanteile der ausgewiesenen Kategorien zusammen. Somit sind ca. 12 Prozent (17 km²) des Grünflächenbestandes im Stadtgebiet von sehr hoher und weitere 40 Prozent (57 km²) von hoher klimaökologischer Bedeutung.

Kürzel	Beschreibung	Grünflächenanteil UG (%)	Grünflächenanteil MD (%)	Bioklimatische Bedeutung	Kategorie
GF LB	Grünfläche als Teil einer Kaltluftleitbahn oder eines Luftaustauschbereiches	4,0	9,8	Sehr hoch	4
GF 250mBiob4	Grünfläche im 250m-Umfeld von bioklimatisch ungünstigen Siedlungsräumen	0,9	2,2	Sehr hoch	4
GF 250mBiob3	Grünfläche im 250m-Umfeld von bioklimatisch weniger günstigen Siedlungsräumen	9,1	16,0	Hoch	3
GF Angr1_KVS34_1000m	Grünfläche im 1000m-Umfeld der als "Hoch" eingestuft Bereiche (Umfeldfläche) KVS: hoch – sehr hoch;	17,5	24,7	Hoch	3
GF Angr1_KPR34_1000m	Grünfläche im 1000m-Umfeld der als "Hoch" eingestuft Bereiche (Umfeldfläche) KPR: hoch – sehr hoch;	12,9	13,3	Mittel	2
GF Wald	Wald- und Forstflächen	7,0	7,4	Mittel	2
GF	Grünfläche ohne nähere bioklimatische Spezifikation	48,6	26,6	Gering	1

Tab. 10: Bilanz der planerisch relevanten Freiräume und Grünflächen

UG = Untersuchungsgebiet

MD = Stadtgebiet Magdeburgs

Die Beschreibung folgt der in Kapitel 3.3.4 erläuterten Bewertungsmethode

Die Kürzel entsprechen den in der digitalen Planungshinweiskarte hinterlegten Sachdaten

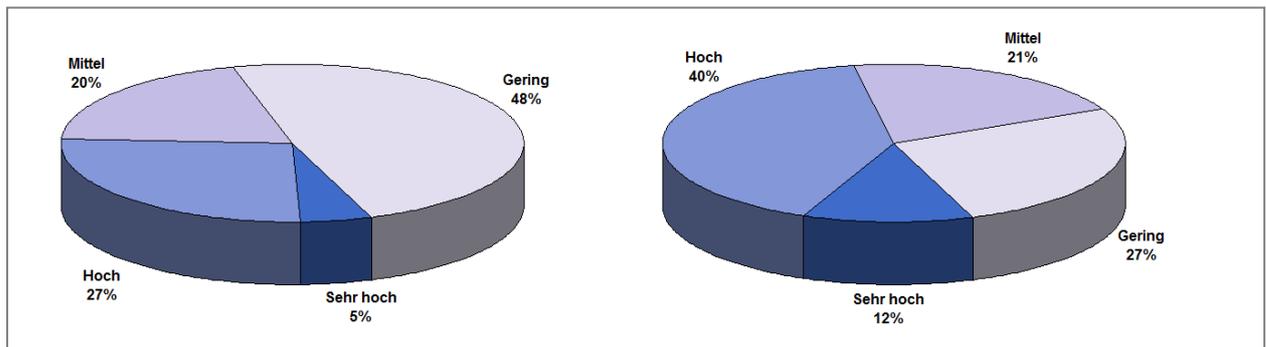


Abb. 30: Bilanz der Freiräume und Grünflächen und ihrer bioklimatischen Bedeutsamkeit im Untersuchungsgebiet (342,5 km², links) und im Stadtgebiet von Magdeburg (139,0 km², rechts).

Bioklimatische Wirksamkeit	Grund der Einstufung	Beurteilung der Empfindlichkeit	Maßnahmen
Sehr hohe Bedeutung 	Luftaustausch zwischen Kaltluftentstehungsgebieten und belasteten Siedlungsräumen (Leitbahnen).	Höchste Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	<ul style="list-style-type: none"> • Strömungsquerschnitt (300 m) sichern • Vermeidung, Aufweitung oder Beseitigung baulicher und sonstiger Strömungshindernisse • Abriegelnde Randbebauung vermeiden • Bauliche Folgenutzungen längs zur Luftleitbahn ausrichten • Erhalt des Grünflächenanteils • Versiegelung minimieren • Verbesserung der Reichweite über „Grüne Trittsteine“ • Vermeidung oder Verringerung von Luftschadstoffemissionen
	Grünflächen mit direktem Bezug zu bioklimatisch ungünstigen Siedlungsräumen.	Höchste Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	<ul style="list-style-type: none"> • Erhalt des Grünflächenanteils • Vermeidung von Austauschbarrieren gegenüber bebauten Randbereichen • Grünflächen vernetzen • Baumbestand optimieren • Vermeidung oder Verringerung von Luftschadstoffemissionen • Immissionsschutzpflanzungen entlang von Hauptverkehrsstraßen
Hohe und mittlere Bedeutung  	Luftaustausch über Leitbahnen in Richtung belasteter Siedlungsräume (Kaltluftquellgebiete)	Hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	<ul style="list-style-type: none"> • Erhalt des Grünflächenanteils • Vermeidung von Austauschbarrieren in Richtung Leitbahn • Grünflächen vernetzen • Vermeidung oder Verringerung von Luftschadstoffemissionen
	Grünflächen mit direktem Bezug zu bioklimatisch weniger günstigen Siedlungsräumen.	Hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	<ul style="list-style-type: none"> • Erhalt des Grünflächenanteils • Vermeidung von Austauschbarrieren gegenüber bebauten Randbereichen • Grünflächen vernetzen • Baumbestand optimieren • Vermeidung oder Verringerung von Luftschadstoffemissionen • Immissionsschutzpflanzungen entlang von Hauptverkehrsstraßen • Waldbestand sichern
Geringe Bedeutung 	Freiräume mit geringem Einfluss auf Siedlungsgebiete und/oder unbedeutender Kalt-/Frischlufthproduktion.	Geringe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	<ul style="list-style-type: none"> • Zersiedelung vermeiden • Bei Verkehrseinfluss Emissionen reduzieren

Tab. 11: Allgemeine stadtklimatische Hinweise für Planungsentscheidungen (Freiräume und Grünflächen)

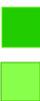
6.2 Siedlungsräume

Die stadttypische raumstrukturelle Form der Verdichtung mit ihrem in Richtung Zentrum zunehmenden Bebauungs- und Versiegelungsausmaß erfordert eine abgestufte Betrachtung der planungsrelevanten Klimaphänomene. Die in Kapitel 5.2 beschriebene Ausprägung der Belastungssituation wird in der Planungshinweiskarte zur wichtigen Grundlage für die Bewertung des Ausgleichspotenzials angrenzender Grünflächen. Im Umfeld von bioklimatisch ungünstigen Siedlungsräumen gelegenen Grünflächen kommt dabei grundsätzlich eine hohe Bedeutung zu. Sie sind geeignet, unabhängig von ihrem Kaltluftliefervermögen ausgleichend auf das nächtliche Sonderklima in ihrem unmittelbaren Nahbereich zu wirken und am Tage bioklimatische Erholungsräume zur Verfügung zu stellen.

Die bioklimatische Ungunst kennzeichnet allerdings gerade solche Siedlungsräume, die unter anderem aufgrund ihres hohen Bauvolumens und ihrer freiflächenfernen Lage für ausgleichende Kaltluftströmungen

kaum zugänglich sind – hierbei handelt es sich demnach im engeren Sinne um bioklimatische „**Sanierungsgebiete**“, die eines erhöhten Grünanteils und einer Verbesserung der Belüftung bedürfen. Demgegenüber weisen thermisch günstigere Siedlungsräume („**Gunsträume**“) eine geringere Belastung oftmals gerade wegen ihrer effektiven Durchströmung mit Kaltluft auf. Das Ausmaß der bioklimatischen Bedeutsamkeit siedlungsnaher Grünflächen ist daher nicht allein vom Belastungsgrad des umgebenden Wirkungsraumes abhängig. Die in Kapitel 3.3.4 beschriebene Methode zur planerischen Einordnung der Grünflächen stellt eine – unter den gegebenen Rahmenbedingungen der halbautomatischen Bewertung – möglichst umfassende Berücksichtigung solcher Beziehungen zwischen den bioklimatischen Bedingungen im Siedlungsraum und der tatsächlichen Ausgleichsleistung der Grünflächen sicher.

Neben den bereits in der Klimafunktionskarte dargestellten Kaltlufteinwirkbereichen (siehe S. 43) werden in der Planungshinweiskarte zusätzlich „**bebaute Gebiete mit klimarelevanten Funktionen**“ ausgewiesen. Die so gekennzeichneten Flächen besitzen aufgrund ihrer Bebauungsart und ihrer Lage eine klimatische Bedeutsamkeit für angrenzende Siedlungskörper. Diese „**Gunstwirkungen**“ beruhen auf ihrer verhältnismäßig starken nächtlichen Abkühlung oder ihrem relativ windoffenen Charakter – auf Eigenschaften also, die sich aus einem niedrigen Versiegelungsgrad und einer lockeren Bebauung mit meist geringen Gebäudehöhen ergeben. Die zugehörigen Bereiche führen weder zu einer ausgeprägten thermisch-lufthygienischen Belastung, noch beeinträchtigen sie nachhaltig den Luftaustausch (s. VDI 1997). Wenn das innerhalb der Flächen vorhandene bauliche Nutzungsmaß beibehalten und die Klimarelevanz für umliegende Siedlungsräume berücksichtigt wird, ist die Empfindlichkeit gegenüber zusätzlicher baulicher Nutzung meist relativ gering.

Bioklimatische Bedingungen	Grund der Einstufung	Beurteilung der Empfindlichkeit	Maßnahmen
Sehr geringe und geringe Belastung 	Siedlungsraum mit sehr günstigen bzw. günstigen bioklimatischen Bedingungen. Vorwiegend offene Siedlungsstruktur mit hohem Durchgrünungsgrad und meist guter Durchlüftung.	Mittlere Empfindlichkeit gegenüber nutzungsintensivierenden Eingriffen. Maßvolles Nachverdichten unter Beibehaltung des offenen Siedlungscharakters.	<ul style="list-style-type: none"> • Günstiges Bioklima erhalten • Klimaaktivität der Fläche für angrenzende Siedlungsräume beachten • Bebauungsränder offenhalten oder öffnen • Bauhöhen gering halten oder reduzieren • Baukörperstellung im Hinblick auf Kaltluftströmungen beachten • Grünflächenvernetzung zum Freiland schaffen • Hausbrandemissionen reduzieren
Mäßige bis hohe bioklimatische Belastung 	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"> • Verbesserung vorhandener Durchlüftungswege • Keine weitere Verdichtung • Grünflächen sichern, optimieren und erweitern • Grün- und Freiflächen vernetzen • Versiegelung reduzieren (Richtwert < 60 %) • Entsiegelung und Begrünung der Blockinnenhöfe • Förderung von Dach- und Fassadenbegrünung • Stadtbaumbestand sichern und erweitern • Straßenbaumbestand klima- und immissionsgerecht ergänzen • Bei Verkehrseinfluss Emissionen reduzieren
Hohe bis sehr hohe bioklimatische Belastung 	Siedlungsstruktur mit ungünstigen bioklimatischen Bedingungen. Areale mit sehr hohem Versiegelungs- und Überbauungsgrad und unzureichender Durchlüftung.	Sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber nutzungsintensivierenden Eingriffen.	<ul style="list-style-type: none"> • Verbesserung vorhandener Durchlüftungswege • Keine weitere Verdichtung • Grünflächen sichern und optimieren • Förderung kleinräumiger „Klimaoasen“ • Versiegelung reduzieren (Richtwert < 80 %) • Entsiegelung und Begrünung vorhandener Blockinnenhöfe • Förderung von Dach- und Fassadenbegrünung • Stadtbaumbestand sichern und erweitern • Bei Verkehrseinfluss Emissionen reduzieren

Tab. 12: Allgemeine stadtklimatische Hinweise für Planungsentscheidungen (Siedlungsräume)

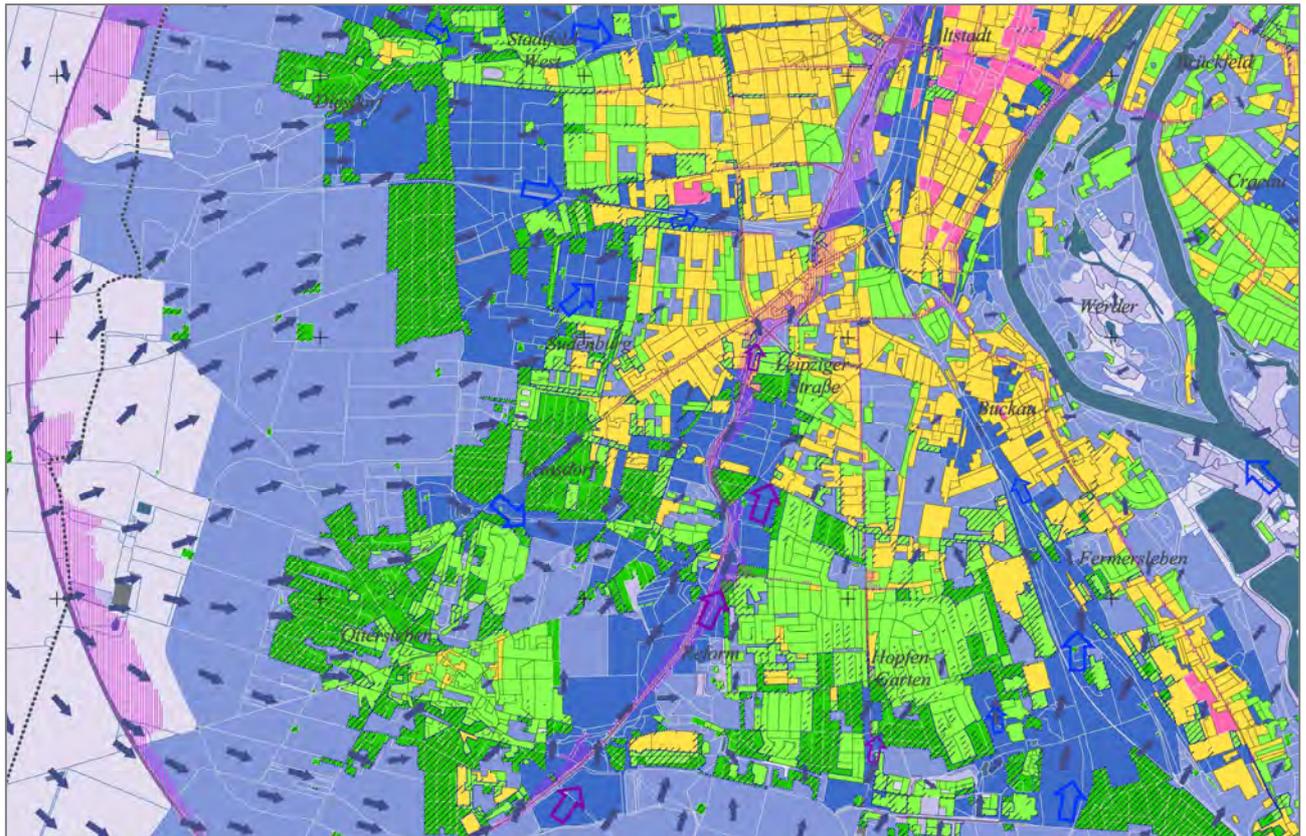


Abb. 31: Planungshinweiskarte (Ausschnitt)

6.3 Luftaustausch

Im Rahmen der Klima- und Windfeldmodellierung sind die in Kapitel 5.3 genannten Leitbahnen und Luftaustauschbereiche ausgewiesen worden. Aus klimaökologischer Sicht ist eine funktionale Sicherung und Entwicklung der zugehörigen Flächen vordringlich.

Tabelle 11 auf Seite 48 listet die wichtigsten zugehörigen Planungshinweise auf: Eine Einengung des Strömungsquerschnittes insbesondere dort, wo dieser bereits weniger als 300 m beträgt, sollte unbedingt vermieden werden. In einigen flächenhaft ausgeprägten Luftaustauschbereichen kann eine Nutzungsintensivierung unter Berücksichtigung des Strömungsgeschehens vertretbar sein. Linear ausgerichtete lokale Leitbahnen benötigen zum Erhalt ihrer Funktion eine mindestens 50 m breite, hindernisarme Durchflussbreite. Abriegelnde Bebauung im Übergangsbereich zwischen Leitbahn und Siedlung ist zu vermeiden. Bauliche Folgenutzungen in diesen Arealen vergrößern die Eindringtiefe von Kaltluftflüssen wenn sie parallel zur Kaltluftströmung ausgerichtet und möglichst niedrig und offen gestaltet werden. Zur Sicherung ihrer Nebenfunktion als Kaltluftentstehungsgebiete trägt eine Minimierung der Versiegelung innerhalb der Leitbahnen bei. Luftschadstoffemissionen innerhalb der Quell- und Leitbahnflächen sind zu vermeiden oder zu verringern.

Diese Hinweise gelten auch für lokale Kaltluftabflüsse und Flurwinde innerhalb kleinerer Grünflächen. Die Niederungsbereiche der Elbe unterstützen die Durchlüftung von Siedlungsflächen bei austauschstärkeren Wetterlagen und sollten daher ebenfalls möglichst offen gehalten werden.

6.4 Nutzungshinweise für die Bauleitplanung

Die Planungshinweiskarte stellt die stadtklimatisch relevanten Strukturen mit ihrer jeweiligen Bedeutsamkeit dar und erlaubt im Falle einer geplanten Nutzungsänderung die Ersteinschätzung der Empfindlichkeit von Grün- und Siedlungsflächen. Aufgrund ihrer wichtigen lokalklimatischen Funktionen sowie der Rolle im Stadtökosystem insgesamt sollte die Überbauung von Grünflächen 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.

Mit der durchgeführten Analyse der klima- und immissionsökologischen Funktionen stehen flächendeckend aktuelle Informationen zu den Schutzgütern Klima und Luft für das gesamte Stadtgebiet Magdeburgs zur Verfügung. Damit wird eine fundierte klimatisch-lufthygienische Ersteinschätzung von Planungsvorhaben ermöglicht, die anschließend in die Detailplanung von Flächennutzungsänderungen einfließen kann.

Die Aussagegenauigkeit der Synthesekarten entspricht im groben Rahmen dem Maßstabsbereich der Eingangsdaten, aus denen die zugrundegelegten Referenzflächen abgeleitet worden sind. Da das ATKIS-Basis-DLM eine Auflösung im Maßstabsbereich zwischen 1 : 50 000 und 1 : 10 000 repräsentiert, zielen die auf Basis der Planungshinweiskarte gemachten Aussagen zunächst einmal auf die Ebene der Stadtentwicklungs- und Flächennutzungsplanung.

Allerdings liegen die Grundlagendaten für die Ableitung der Synthesekarten (also die einzelnen Klimaparameter wie beispielsweise Strömung und Temperatur) aufgrund der beschriebenen Vorgehensweise wesentlich höher aufgelöst vor. Mittels Überlagerung der einzelnen Informationsebenen aus flächenhaft zusammengefassten Funktionszusammenhängen und flächenintern differenzierenden Detailinformationen lassen sich somit recht fundierte Ersteinschätzungen auch auf Ebene der Bauleitplanung geben (Maßstabsbereich zwischen 1 : 10 000 und 1 : 2 500). Eine mögliche Vorgehensweise hierfür sei auf der Folgeseite anhand eines Beispiels erläutert.

Beispiel für die Nutzung der digital vorliegenden Planungshinweiskarte und der flächenintern differenzierenden Detailinformationen einzelner Klimaparameter als „Klimainformationssystem“ für die Ersteinschätzungen von stadtklimatischen Belangen auf Ebene der Bauleitplanung:



Beispiel eines B-Plan-Gebietes (Grabbe-straße): Gegenwärtige Nutzung: Kleingartenanlage, benachbart: Einzelhausbebauung im Westen und Norden, Verwaltungs- und Schulgebäude im Osten.

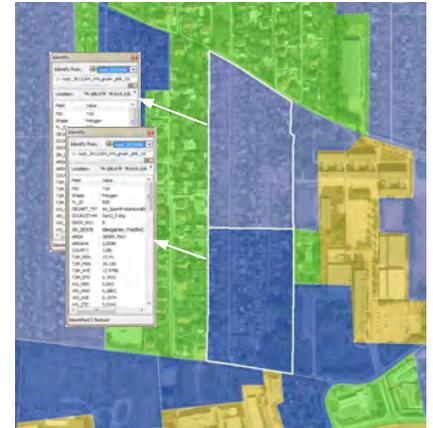
Ausweisung als allgemeines Wohngebiet mit Einfamilienhausbebauung.



In der Planungshinweiskarte überschneidet der Geltungsbereich zwei Referenzflächen.

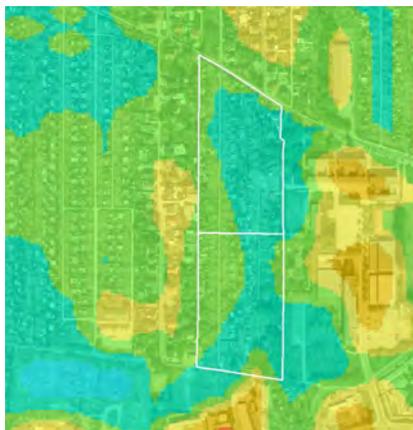
Für die Nordfläche ist eine hohe, für die Südfläche eine sehr hohe bioklimatische Bedeutung ausgewiesen worden.

Angrenzende Siedlungsräume sind bioklimatisch „günstig“ bis „weniger günstig“.

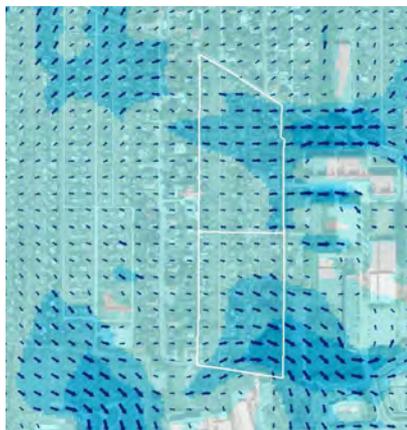


Aus den Sachdaten lassen sich die Flächenstatistik und der Grund für die Einstufungen entnehmen:

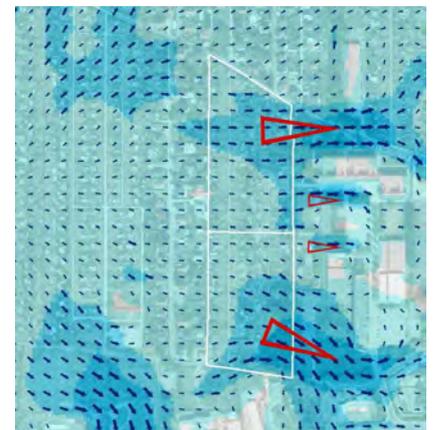
Die Nordfläche „befindet sich im Umfeld von bioklimatisch weniger günstigen Siedlungsräumen“, die Südfläche übernimmt zusätzlich Funktionen als „Teil einer Kaltluftleitbahn“.



Das Temperaturfeld verdeutlicht die Auswirkungen der umliegenden Bebauung im zentralen Geltungsbereich.



Das Strömungsfeld zeigt die Bedeutung der Fläche als Quellgebiet und die erhöhte Dynamik, die vom nördlichen und südlichen Geltungsbereich ausgeht.



Zentral bildet sich im Verbund mit den Grünflächen am Baudezernat ein Strukturwind aus.

Konkretisierte Planungsaussagen: Der Geltungsbereich schließt bioklimatisch bedeutsame Flächen ein. Aufgrund westlich vorgelagerter Bebauung sind diese in ihrer Wirksamkeit bereits abgeschwächt. Die südliche Fläche ist als randlicher Teil einer Luftleitbahn ausgewiesen. Insbesondere für den Süd- aber auch für den Nordrand des Geltungsbereiches zeigt das Strömungsfeld eine erhöhte Empfindlichkeit auf. Für diese Gebiete sollte von einer Bebauung weitgehend abgesehen oder eine sehr geringe bauliche Dichte ($GRZ < 0,2$) angestrebt werden. Im zentralen Geltungsbereich wäre aus klimaökologischer Sicht ein geringfügig höheres Maß der baulichen Nutzung möglich, da die Kaltluftdynamik relativ gering ist und die im östlichen Bereich entstehenden Strukturwinde in Richtung Baudezernat und Schule von untergeordneter Bedeutung sind. Insgesamt ist ein besonderes Augenmerk auf großräumige, west-östlich verlaufende Abstandflächen zu legen.

6.5 Kleinräumige Maßnahmen zur Verringerung der Wärmebelastung

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

Auf die Relevanz **innerstädtischer Grünflächen** für die bioklimatischen Bedingungen am Tage ist bereits auf Seite 40 hingewiesen worden. Die Flächengröße entsprechender bebauungsfreier Bereiche ist im Rahmen dieser Funktion zunächst von untergeordneter Bedeutung: Selbst kleine unversiegelte Plätze, begrünte Höfe (sogenannte „Pocket Parks“) und temporär genutzte Baulücken können sich als kühlere Erholungsräume eignen und die Aufenthaltsqualität im Freien tagsüber deutlich erhöhen. Ab einer Größe von etwa einem Hektar tragen Grünflächen bei günstigen Rahmenbedingungen auch zur nächtlichen Abkühlung der angrenzenden Bebauung bei.¹ Nach SCHERER (2007) können hierbei Reichweiten von bis zu 400 Metern beobachtet werden. Um die von den Flächen ausgehenden nächtlichen Strukturwinde nicht zu beeinträchtigen, sollte der Übergangsbereich zur Bebauung – falls keine prioritäre Immissionsschutzwirkung gegeben ist – von Grünstrukturen wie dichten Baumgruppen, Gehölzen oder hohen Hecken weitgehend frei gehalten werden.

Zum Erhalt ihrer Funktion am Tage sollten innerstädtische Grünflächen allerdings nicht ausschließlich mit Rasen bewachsen sein, sondern Sträucher und – falls möglich – Gruppen von hochstämmigen, schattenspendenden Bäumen einbeziehen. Da **Bäume** einen großen Teil der Strahlung bereits im Kronen- und Stammraum absorbieren, bewirken sie bei starken Einstrahlungsintensitäten eine erhebliche Abkühlung der Oberflächen- und Lufttemperatur. Vor diesem Hintergrund ist eine verstärkte Förderung von großkronigen Bäumen in dicht bebauten Siedlungsbereichen insgesamt wünschenswert. Neben öffentlichen Grünflächen, Parkplätzen und breiteren Straßenräumen betrifft dies auch Flächen, die sich in privater Verantwortung befinden (z. B. Innenhöfe und Vorgärten).

Neben diesen flächenbezogenen Eingriffen können objektbezogene Maßnahmen effektiv dazu beitragen, die Speicherung von Wärmeenergie in der Bausubstanz (und damit die nächtliche Energieabgabe an die Atmosphäre oder die Innenräume) zu mindern. Insbesondere bei gering gedämmten Wänden und Dächern kann das Innenraumklima in erheblichem Maße von der Oberflächentemperatur des Baukörpers beeinflusst werden. Diese wiederum wird von den Strahlungsbedingungen aber auch von der Lufttemperatur im Nahbereich des Gebäudes mitbestimmt. Die **Bepflanzung** (und Bewässerung) **von Dächern und Fassaden** gehört daher zu den wirkungsvollsten Maßnahmen, die Energieaufnahme des Baukörpers zu reduzieren. Überdies wirken sie sich auch anderweitig in vielfältiger Form positiv auf ihr Umfeld aus (siehe z. B. DDV 2011). Neben der Dach- und Fassadenbegrünung hat sich auch eine Steigerung der Sonnenlichtreflexion durch die Verwendung von hellen Farben und Baumaterialien (Albedo-Erhöhung) als effektives Mittel zur Senkung der Oberflächen- und Lufttemperatur erwiesen (siehe SENATSWERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG 2011, S. 37 ff).

¹ Im Strömungsfeld deutlich sichtbar beispielsweise im Umfeld des Nordparks aber auch im Bereich kleinerer Areale wie der Parkanlage der Festung Mark und der westlich anschließenden Grünfläche an der Listemannstraße.

7 Fazit

Mit der Fortschreibung der Klimafunktions- und der Planungshinweiskarte für die Landeshauptstadt Magdeburg steht dem Umweltschutz ein aktualisiertes Instrumentarium zur Berücksichtigung der Schutzgüter Klima und Luft in der räumlichen Planung zur Verfügung. Bereits 1993 ist für Magdeburg eine gesamtstädtische Klimaanalyse erarbeitet worden (STEINICKE UND STREIFENEDER 1993). Diese ist im Jahre 1999 vom Büro GEO-NET Umweltplanung und GIS-Consulting GbR auf Grundlage umfangreicher Messkampagnen fortgeschrieben und aktualisiert worden. Anders als diese Arbeiten beruht die nun vorliegende Fortschreibung 2012 im Wesentlichen auf einem modellgestützten Analysansatz.

Dieser Ansatz bringt wesentliche Vorteile mit sich, denn aufgrund der Vorgehensweise liegen die Ergebnisse der Klimaanalyse digital in unterschiedlichen Abstraktionsgraden vor: Zum Einen als Syntheskarte für planungsrelevante und maßstabsgerechte, räumlich in der Realität abgrenzbare Flächeneinheiten, zum anderen als analytisch hochaufgelöste und flächendeckende Verteilung der Klimaparameter im räumlichen Kontinuum. Auf diese Weise bleibt, in Ergänzung zur abstrahierten Darstellung der klimatischen Funktionszusammenhänge (als Flächen- und Beziehungstypen in den Klimafunktions- und Planungshinweiskarten), die flächeninterne Heterogenität der Klimaparameter als Detailinformation jederzeit abrufbar und mit den Syntheskarten überlagerbar. Damit gestatten die Ergebnisse der Untersuchung nicht nur, klima- und immissionökologische Belange auf Ebene der Flächennutzungs- und Landschaftsplanung in den Planungsprozess zu integrieren. Sie ermöglichen zudem, Ersteinschätzungen für die Einbeziehung klimaökologischer Funktionszusammenhänge im Rahmen des Abwägungsprozesses auf Ebene der Bauleitplanung zu treffen.

8 Literatur

39. BImSchV (2010): Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen vom 2. August 2010 (BGBl. I S. 1065)
- ADRIAN, G. (1994): Zur Dynamik des Windfeldes über orographisch gegliedertem Gelände. Ber. Deutscher Wetterdienst, Offenbach 188, 141 S.
- BAUMÜLLER J., U. REUTER (2003): Umweltmeteorologie und Planung. Deutscher Wetterdienst Offenbach [Hrsg.], Promet 30, Nr. 1/2, S. 48 – 56
- DDV (2011): Dachbegrünung für Kommunen, Nutzen – Fördermöglichkeiten – Praxisbeispiele. Deutscher Dachgärtner Verband e. V. / Hafencity Universität Hamburg / Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz GALK e.V. Eigenverlag, Nürtingen
- DLR-DFD (2009): Coordination of Information on the Environment CORINE Land Cover CLC2006; Umweltbundesamt, DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt 2009.
- FANGER P. O. (1972): Thermal Comfort, Analysis and Application in Environmental Engineering, New York: Mc Graw Hill
- GEO-NET (2000): Klimaanalyse Magdeburg. Klima- und immissionsökologische Funktionen und Planungsempfehlungen. Abschlussbericht. Im Auftrag des Umweltamtes der Landeshauptstadt Magdeburg. GEO-NET Umweltplanung und GIS-Consulting GbR, Hannover
- GROSS, G. (1989): Numerical simulation of the nocturnal flow systems in the Freiburg area for different topographies. Beitr. Phys. Atmosph. , H 62 , S. 57-72.
- GROSS, G. (1993): Numerical Simulation of canopy flows. Springer Verlag Heidelberg.
- GROSS, G. (2002): The exploration of boundary layer phenomena using a nonhydrostatic mesoscale model. Meteor. Z.schr. Vol. 11 Nr. 5., S. 701-710.
- GROSS, G. UND C. ETLING (2003): Numerische Simulationsmodelle. Deutscher Wetterdienst Offenbach [Hrsg.], Promet 30, Nr. 1/2, S. 28 – 38
- HAASE, A. (2003): Gegenwart und Zukunft der Stadtentwicklung in Sachsen-Anhalt: Magdeburg, Halle, Dessau. Perspektiven und strukturelle Rahmenbedingungen zukünftiger Entwicklungen. Hochschule Anhalt, Fachbereich Architektur und Bauingenieurwesen, Dessau, Januar 2002 – Juni 2003
- HOCHSCHULE MAGDEBURG-STENDAL (2011a) [Hrsg.]: Digitales Geländemodell (DGM5) der Landeshauptstadt Magdeburg, GeoFly GmbH 2011, zur Verfügung gestellt vom Fachbereich Vermessungsamt und Baurecht der Landeshauptstadt Magdeburg, Team Geobasisdaten, Andreas Schmöche
- HOCHSCHULE MAGDEBURG-STENDAL (2011b) [Hrsg.]: Luftbildaufnahmen (DOP5 RGB) der Landeshauptstadt Magdeburg, GeoFly GmbH 2011, zur Verfügung gestellt vom Fachbereich Vermessungsamt und Baurecht der Landeshauptstadt Magdeburg, Team Geobasisdaten, Andreas Schmöche
- JENDRITZKY G. et al. (1990): Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen, Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell, Jendritzky G., Menz G., Schmidt-Kessen W., Schirmer H., Beiträge der Akademie für Raumforschung und Landesplanung Nr. 114, Hannover
- KUTTLER W., D. DÜTEMEYER (2003): Umweltmeteorologische Untersuchungsmethoden. Deutscher Wetterdienst Offenbach [Hrsg.], Promet 30, Nr. 1/2, S. 15 – 27
- KUTTLER W. (2010): Urbanes Klima, Teil 1. In: Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, Umweltmeteorologie, 70, Nr. 7/8 - Juli/August, S. 329-340. Teil 2. In: Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, Umweltmeteorologie, 70, Nr. 9 - September, S. 378-382.
- KUTTLER W. (2011): Klimawandel im urbanen Bereich. Teil 2, Maßnahmen. Environmental Sciences Europe 2011, 23:21.

- LANDESHAUPTSTADT MAGDEBURG (2010): Integriertes Stadtentwicklungskonzept der Landeshauptstadt Magdeburg. Magdeburg 2025 – Gesamtstadt. Stadtplanungsamt der Landeshauptstadt Magdeburg unter Mitarbeit der Büros Stephan Westermann und Wallraf & Partner, 101 S.
- LANDESHAUPTSTADT MAGDEBURG (2011a): Realnutzungskartierung. Zur Verfügung gestellt vom Stadtplanungsamt der Landeshauptstadt Magdeburg, Sachgebiet 61.21 (Stadtentwicklung / Flächennutzungsplan).
- LANDESHAUPTSTADT MAGDEBURG (2011b): Hauptverkehrsstraßen mit einem DTV von mehr als 8 000 Kfz/d für den Istfall 2009. Landeshauptstadt Magdeburg Stadtplanungsamt, Abt. Verkehrsplanung.
- LANDESHAUPTSTADT MAGDEBURG (2012): Topographische Stadtkarte 1:10 000 (Bearbeitungsstände 2009 und 2012) Landeshauptstadt Magdeburg, Fachbereich 62, Vermessungsamt und Baurecht.
- LAU (2007 – 2012): Jahresmittelwerte von Stickstoffdioxid und Feinstaub der aktuellen Messstandorte des Luftüberwachungssystems Sachsen-Anhalt (LÜSA) in Magdeburg (aus: Immissionsschutzberichte 2008 – 2012 des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt).
- LOHMEYER et al. (2000): EU-Richtlinie: Neue Anforderungen an Luftschadstoffgutachten. Hilfestellung für Anwender. in: UMWELT kommunale ökologische Briefe, Ausgabe 01/2000, 05.01.2000, S. 13
- LSSB (2010): Straßenverkehrszählung 2010. Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärken (DTV / 24h) für Kfz gesamt und Schwerverkehr (SV) auf Autobahnen in Sachsen-Anhalt. Landesstraßenbaubehörde Sachsen-Anhalt, Magdeburg.
- LUBW (2010) [Hrsg.]: Modellierung verkehrsbedingter Immissionen - Anforderungen an die Eingangsdaten - Grundlage HBEFA 3.1 – Leitfaden. Bearbeitung: IVU Umwelt GmbH, 79110 Freiburg, Emmy-Noether-Str. 2, Volker Diegmann, Anna Mahlau, Dr. Lina Neunhäuserer, Florian Pfäfflin, Heike Wursthorn. Herausgegeben von der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) Karlsruhe. 80 S.
- LVERMGEO SA (2010): ATKIS-Basis-DLM, Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt, Otto-von-Guericke-Straße 15, 39104 Magdeburg, LVermGeo SA [A18/1-10159/09]
- LVERMGEO SA (2011): DTK 10. Blätter 3735SO; 3736SW; 3835NO; 3835NW; 3835SO; 3835SW; 3836NW; 3836SW; 3935NO; 3935NW; 3935SO; 3936NW; 3936NO; 3936SW. Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt, Otto-von-Guericke-Straße 15, 39104 Magdeburg, LVermGeo SA [A18/1-10159/09]
- MLU (2011) [Hrsg.]: Luftreinhalteplan für den Ballungsraum Magdeburg 2011. Hrsgg. v. Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt, Referat 34. Projektleitung, Koordination und Bearbeitung: Landesamt für Umweltschutz des Landes Sachsen-Anhalt, Fachbereich 3. Magdeburg, April 2011, 65 S.
- MATZARAKIS, A. (2001): Die thermische Komponente des Stadtklimas. Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg Nr. 6. Juli 2001, Freiburg, 287 S.
- MOSIMANN, TH., P. TRUTE & TH. FREY (1999): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, Heft 4/99, S. 202-275.
- SCHERER, D. (2007): Viele kleine Parks verbessern Stadtklima. Mit Stadtplanung Klima optimieren. In: TASPO Report. Die Grüne Stadt. Oktober 2007
- SENATSV ERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG [Hrsg.] (2011): Stadtentwicklungsplan (StEP) Klima. Urbane Lebensqualität im Klimawandel sichern. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, Abt. I – Stadt- und Freiraumplanung. 84 S.
- STEINICKE UND STREIFENEDER (1993): Klimagutachten für die Stadt Magdeburg – ein Beitrag zur Flächennutzungsplanung. Landeshauptstadt Magdeburg, Stadtplanungsamt, Spacetec Steinicke & Streifeneder Umweltuntersuchungen GbR, Freiburg.
- UBA (2010): HBEFA Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. Version 3.1. INFRAS AG, Bern Schweiz, Januar 2010. Hrsg.: UBA (Umweltbundesamt) Berlin.

- USGS (2000): SRTM-3-Höhendaten, The Shuttle Radar Topography Mission digital topographic data, U.S. Geological Survey, nachbearbeitete und korrigierte Version: Esri Data & Maps
- ULRICH, W. (1987): Simulationen von thermisch induzierten Winden und Überströmungssituationen. Wiss. Mitt. Meteor. Inst. Univ. München Nr. 57.
- UMEG (2005): Ursachenanalyse für PM10 im Rahmen der Erarbeitung von Luftreinhalte- und Aktionsplänen in Baden-Württemberg nach § 47 BImSchG für das Jahr 2004. Zentrum für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit Baden-Württemberg, Fachgebiet 4.2 Anlagentechnik und Modellierungen
- VDI (1997): Richtlinie VDI 3787 Blatt 1. Umweltmeteorologie – Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.
- VDI (2003): Richtlinie VDI 3787 Blatt 5 Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.
- VDI (2004): Richtlinie VDI 3787 Blatt 9 Umweltmeteorologie – Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene in der räumlichen Planung. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.
- VDI (2008a): Richtlinie VDI 3787 Blatt 2. Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung - Teil I: Klima. VDI Verein Deutscher Ingenieure Düsseldorf.
- VDI (2008b): Richtlinie VDI 3785, Blatt 1, Umweltmeteorologie – Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.
- WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG [Hrsg.] (2012): Städtebauliche Klimafibel Online, Stand: 14.02.2012. In Zusammenarbeit mit dem Amt für Umweltschutz Stuttgart. Fachliche Bearbeitung: J. Baumüller, U. Hoffmann und U. Reuter, Stuttgart. Web-Layout: E. Kohfink, www.staedtebauliche-klimafibel.de

9 Glossar

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

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

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 (raumfunktioneller Begriff).

Austauscharme Wetterlage: → Strahlungswetterlage

Autochthone Wetterlage: → Strahlungswetterlage

Autochthones Windfeld: Strömungen, deren Ursachen im Betrachtungsgebiet liegen und nicht durch großräumige Luftdruckgegensätze beeinflusst werden. 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.

Business-As-Usual-Szenario: Bestands- bzw. Fahrleistungsanteile nach Emissionsstufen. Beispielsweise beträgt dem „Business-As-Usual“-Szenario zufolge der Anteil von Fahrzeugen mit Euro-5 (und besser) innerhalb der Pkw-Flotte für das Jahr 2011 etwa 17 %, während für 2015 bereits ein Anteil von über 50 % angenommen wird.

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

Emission: Freisetzung von Schadstoffen in die Luft, verursacht von einem Emittenten (Quelle der Emission), hier angegeben in Gramm pro Meter und Tag.

Emissionsfaktor: Emission eines Stoffes durch ein einzelnes Fahrzeug auf einer Wegstrecke in Gramm pro Fahrzeugkilometer.

Evapotranspiration: Die Summe aus der Verdunstung von der freien Bodenoberfläche und über Wasser (Evaporation), sowie der Verdunstung durch Lebewesen, insbesondere durch Pflanzen (Transpiration).

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

Grünfläche: Als „Grünfläche“ werden in dieser Arbeit unabhängig von ihrer jeweiligen Nutzung 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.

Immission: Konzentration von Schadstoffen in der Luft. Einwirkung der → Emission auf die Umwelt, hier angegeben in Mikrogramm pro Kubikmeter (Konzentrationswert).

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.

Kaltluftproduktionsrate: Die Menge der sich innerhalb einer Stunde pro Quadratmeter relativ zu ihrer Umgebung abkühlenden Luft.

Kaltluftvolumenstrom: Unter dem Begriff Kaltluftvolumenstrom versteht man, vereinfacht ausgedrückt, das Produkt aus der Strömungsgeschwindigkeit und der Schichthöhe der Kaltluft. Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit m³, die in jeder Sekunde durch einen bestimmten Querschnitt fließt. Anders als das → Strömungsfeld berücksichtigt der Kaltluftvolumenstrom auch Fließbewegungen oberhalb der bodennahen Schicht.

Kelvin: (Einheitenzeichen: K), SI-Basiseinheit der thermodynamischen Temperatur, wird zur Angabe von Temperaturdifferenzen verwendet. Der Wert kann in der Praxis als Abweichung in Grad Celsius (°C) interpretiert werden.

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 (raumfunktioneller Begriff).

Leitbahnen: Linear ausgerichtet, wenig raue Freiflächen, die den lokalen Luftaustausch fördern, insbesondere den Transport von Kalt-/Frischluft 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 ≤ 1,5 m/s von austauschstarken mit Windgeschwindigkeiten ≥ 5,5 m/s unterschieden.

NO_x: Stickstoffoxide oder auch Stickoxide. In dieser Arbeit definiert als Summe aus **Stickstoffdioxid** (NO₂) und **Stickstoffmonoxid** (NO). Stickstoffoxide entstehen als Produkte bei Verbrennungsprozessen und werden als NO₂ und NO aus dem Auspuff oder Schornstein freigesetzt. Der NO₂-Anteil wird als primäres NO₂ oder NO₂-Direktemission bezeichnet. Ein größerer Anteil wird als NO emittiert, das später mit Luftsauerstoff und insbesondere mit Ozon (O₃) zu NO₂ reagiert (sekundäres NO₂).

PM10: Feinstaub. „Teilchen, die einen gröÙenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % hat.“ (amtliche Definition nach RL 1999/30/EG). Die gesamte straÙenverkehrsbedingte PM10-Emissionen ergibt sich aus den motorbedingten Auspuffemissionen und den nicht-motorbedingten Emissionen infolge von Abrieben (Reifen-, Bremsen-, Kupplungs-, und StraÙenbelagsabrieb) sowie die Wiederaufwirbelung von akkumuliertem StraÙenstaub.

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.

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 (Rauigkeitslänge).

Reichweite: → Eindringtiefe

Stickstoffoxide: → NO_x

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 den Analysezeitpunkt 04 Uhr morgens simulierte flächendeckende Angabe zur Geschwindigkeit und Richtung der Kaltluftabflüsse und Flurwinde während einer windschwachen → Strahlungswetterlage.

Strukturwind: Kleinräumiges Strömungsphänomen, dass sich zwischen strukturellen Elementen einer Stadt ausbildet (beispielsweise zwischen einer innerstädtischen Grünfläche und der Bebauung entlang einer angrenzenden StraÙe).

Transmission: Ausbreitung von Schadstoffen in der Luft. Bindeglied zwischen Emission und Immission.

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: (Urban Heat Island), 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 (Wärmearchipel). Die Jahresmitteltemperaturen sind in diesen Räumen um 0,5 bis 1,5 Kelvin erhöht.

Wirkungsraum: Bebauter (oder zur Bebauung vorgesehener), bioklimatisch und/oder lufthygienisch belasteter Raum (Belastungsraum), der an einen oder mehrere Ausgleichsräume angrenzt oder über wenig raue Strukturen angebunden ist. Durch lokale Luftaustauschprozesse erfolgt eine Zufuhr von Kalt-/Frischlufte aus dem → Ausgleichsraum, die zur Verminderung oder zum Abbau der Belastungen beiträgt (raumfunktioneller Begriff).

z-Transformation: Unter der z-Transformation versteht man in der mathematischen Statistik eine Umrechnung zur Standardisierung einer Variablen, so dass der arithmetische Mittelwert der transformierten Variable den Wert Null und ihre Standardabweichung den Wert Eins annimmt. Dies wird erreicht, indem von jedem Ausgangswert der Variablen das arithmetrische Gebietsmittel abgezogen und anschließend durch die Standardabweichung aller Werte geteilt wird. Durch den ersten Schritt werden Abweichungen unterhalb des Gebietsmittels negativ, während Werte oberhalb des Gebietsmittels positiv werden. Teilt man die Abweichungswerte nun durch die Standardabweichung, liegen sie in Vielfachen der Standardabweichung vor. Die Form der Verteilung bleibt dabei unverändert.

$$z = \frac{X - AM}{SA}$$

<i>z</i>	<i>Standardisierter Wert der Variablen x</i>
<i>X</i>	<i>Einzelwert der Variablen x</i>
<i>AM</i>	<i>Arithmetisches Mittel aller Einzelwerte eines Gebietes</i>
<i>SA</i>	<i>Standardabweichung aller Einzelwerte eines Gebietes</i>