

Steinicke & Streifeneder
Umweltuntersuchungen GbR

iMA

Richter & Röckle

Immissionen
Meteorologie
Akustik

Messstelle § 26
BImSchG

Auftraggeber:

**Stadt Braunschweig
Fachbereich Stadtplanung und Umweltschutz
Petritorwall 6
38118 Braunschweig**

Stadtklimaanalyse Braunschweig

Bearbeiter:

Dipl.-Phys. Dr. Wolfgang Steinicke

Steinicke & Streifeneder, Umweltuntersuchungen

Dipl.-Geogr. Ulrike Schwab

Steinicke & Streifeneder, Umweltuntersuchungen

Dipl.-Met. Dr. Rainer Röckle

iMA Richter & Röckle

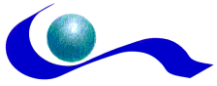
Dipl.-Met. Claus-Jürgen Richter

iMA Richter & Röckle
Anerkannter Beratender Meteorologe DMG

Dipl.-Met. Dr. Jost Nielinger

iMA Richter & Röckle
Anerkannter Beratender Meteorologe DMG

Freiburg, 21. Mai 2012



Steinicke & Streifeneder
Umweltuntersuchungen GbR

iMA

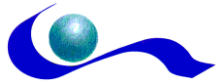
Richter & Röckle

Immissionen
Meteorologie
Akustik

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	9
1.1	SITUATION UND AUFGABENSTELLUNG	9
1.2	DEFINITION DES BEGRIFFS „STADTKLIMA“	10
1.3	UNTERSUCHUNGSGEBIET	10
1.4	BISHERIGE UNTERSUCHUNGEN ZUM STADTKLIMA VON BRAUNSCHWEIG	13
1.4.1	Übersicht	13
1.4.2	Ergebnisse der Klimauntersuchung von 2005	13
2	METHODIK	14
3	GROßRÄUMIGE EINORDNUNG	16
3.1	KLIMA-VARIABLE	16
3.1.1	Lufttemperatur	16
3.1.2	Feuchte	17
3.1.3	Niederschlagsverhältnisse	17
3.1.4	Nebel	18
3.1.5	Sonnenscheindauer	18
3.1.6	Wind	19
3.2	SCHWACHWINDANALYSE	25
3.3	THERMISCHES BIOKLIMA	26
3.4	LUFTHYGIENISCHE BEDINGUNGEN	27
3.4.1	Stickstoffdioxid NO ₂	27
3.4.2	Feinstaub	27
3.4.3	Weitere Luftschadstoffe	27
3.4.4	Messungen in Braunschweig	27
3.5	PHÄNOMENE BEI AUTOCHTHONEN WETTERLAGEN	29
3.5.1	Kaltluftentstehung	29
3.5.2	Kaltluftströmung	30
3.5.3	Flurwind	31
3.5.4	Strömungssysteme sind dreidimensional	32
4	MODELLRECHNUNGEN	33
4.1	DAS PROGNOSTISCHE SIMULATIONSMODELL FITNAH	33
4.1.1	Das Rechengebiet von FITNAH	34
4.1.2	Detaillierung des Ist-Zustandes	34
4.1.3	Meteorologische Situation und Anfangszustand	35
4.1.4	Quantitative Auswertung der Ergebnisse	37
4.2	KARTIERUNG DER BODENNAHEN DURCHLÜFTUNGSVERHÄLTNISSE	39
4.2.1	Durchlüftungspotenzial bei Südostströmung	42
4.2.2	Durchlüftungspotenzial bei Westwind	43
4.2.3	Durchlüftungspotenzial im Jahresmittel	44
4.3	HUMANBIOMETEOROLOGISCHE BEWERTUNG DER THERMISCHEN KOMponente DES STADTKLIMAS	45
4.3.1	Ermittlung der PMV-Werte	45
4.3.2	Ergebnisse der PMV-Berechnung	46
5	LUFTHYGIENE	49
5.1	BEWERTUNGSGRUNDLAGEN	49
5.1.1	Betrachtete Luftschadstoffe	49

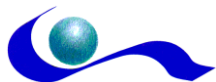
5.2	BEURTEILUNGSWERTE FÜR LUFTSCHADSTOFFE.....	50
5.3	ERMITTLUNG DER SCHADSTOFFEMISSIONEN UND -IMMISSIONEN	51
5.3.1	<i>Verkehrsbedingte Emissionen.....</i>	51
5.3.2	<i>Verkehrsaufkommen</i>	52
5.3.3	<i>Prognosejahr</i>	53
5.3.4	<i>Fahrzeugflotte</i>	54
5.3.5	<i>Straßentypus</i>	54
5.3.6	<i>Verkehrsfluss</i>	54
5.3.7	<i>Kaltstartanteil.....</i>	54
5.3.8	<i>Klimaanlagen</i>	54
5.3.9	<i>Aufwirbelung und Abrieb bei den Stäuben.....</i>	55
5.3.10	<i>Simulationsgebiet.....</i>	55
5.3.11	<i>Abschätzung der Hintergrundbelastung.....</i>	55
5.4	SIMULATIONSVERFAHREN.....	57
5.5	UMWANDLUNG NO \Rightarrow NO ₂	58
5.6	LUFTREINHALTEPLANUNG BRAUNSCHWEIG.....	58
5.7	ERGEBNISSE DER AUSBREITUNGSRECHNUNGEN	58
6	GRUNDLAGEN ZUR THERMISCHEN UND LUFTHYGIENISCHEN BEWERTUNG VON FLÄCHEN.....	62
6.1	WANN LIEGT EINE BELASTUNG VOR	62
6.1.1	<i>Kältebelastung.....</i>	63
6.1.2	<i>Wärmebelastung.....</i>	64
6.1.3	<i>Lufthygienische Belastung.....</i>	66
7	KLIMAFUNKTIONSKARTE	67
7.1	KLIMATOPE.....	67
7.1.1	<i>Gewässerklima</i>	67
7.1.2	<i>Freilandklima</i>	68
7.1.3	<i>Waldklima.....</i>	69
7.1.4	<i>Parkklima</i>	70
7.1.5	<i>Siedlungsklima.....</i>	70
7.1.6	<i>Stadtklima</i>	71
7.1.7	<i>Innenstadtklima</i>	71
7.1.8	<i>Gewerbe- und Industrieklima</i>	72
7.1.9	<i>Sonderflächen.....</i>	72
7.2	LUFTLEITBAHNEN	73
7.2.1	<i>Regionale Luftleitbahnen.....</i>	73
7.2.2	<i>Lokale Luftleitbahnen.....</i>	74
7.2.3	<i>Flächen mit Durchlüftungsfunktion (nicht dargestellt)</i>	75
7.2.4	<i>Kaltluftabflüsse (nicht dargestellt)</i>	75
7.2.5	<i>Strömungshindernisse (nicht dargestellt).....</i>	76
8	PLANUNGSHINWEISKARTE	77
8.1	FREIFLÄCHEN	77
8.1.1	<i>Freiflächen mit sehr hoher klimatisch-lufthygienischer Ausgleichsfunktion.....</i>	78
8.1.2	<i>Freiflächen mit hoher klimatisch-lufthygienischer Ausgleichsfunktion.....</i>	82
8.1.3	<i>Freiflächen mit mittlerer und geringer klimatisch-lufthygienischer Ausgleichsfunktion</i>	82
8.2	SIEDLUNGSFLÄCHEN	82
8.3	BELÜFTUNGSFUNKTION UND SONSTIGE KLIMARELEVANTE FLÄCHEN	83
8.4	VORBELASTUNGEN UND KONFLIKTE	85
9	ALLGEMEINE PLANUNGSEMPFEHLUNGEN UND ENTWICKLUNGSZIELE	87



10	FAZIT	91
10.1	BELASTUNGSSITUATION	91
10.2	ENTLASTENDE MOMENTE – LUFTHYGIENE	91
10.3	ENTLASTENDE MOMENTE – WÄRMEBELASTUNG	91
10.4	BEWERTUNG	92
10.5	KLIMAFUNKTIONS- UND PLANUNGSKARTE	92
11	LITERATUR	94
12	ANHANG	98
12.1	KURZBESCHREIBUNG GAMOS	98
12.2	LAGE DER MESSSTELLEN	99
12.3	EINGANGSDATEN UND SPEZIFISCHE EMISSIONEN	101
12.4	KARTEN	103

Abbildungsverzeichnis

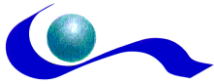
Abbildung 1-1: Geländehöhen, Höhenlinien in 5 m-Abständen mit Stadtgrenze (weiß).....	11
Abbildung 1-2: Nutzung im Raum Braunschweig	12
Abbildung 2-1: Fließbild der Stadtklimaanalyse	15
Abbildung 3-1: Mittlere monatliche Lufttemperaturen im 30-jährigen Mittel	16
Abbildung 3-2: Mittlere monatliche Niederschlagsmengen im 30-jährigen Mittel (1971-2000)	17
Abbildung 3-3: Mittlere monatliche Sonnenscheindauer im 30-jährigen Mittel (1961-1990). 18	
Abbildung 3-4: Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen an Braunschweiger Messstellen. 20	
Abbildung 3-5: Verteilung der Ausbreitungsklassen. Station Braunschweig-Völkenrode (199)9 und Station Flughafen (2006) (I – stark stabil, II – stabil, III ₁ – indifferent, III ₂ – indifferent bis leicht labil, IV – labil, V – stark labil)	21
Abbildung 3-6: Windrosen Völkenrode für die 6 Ausbreitungsklassen	22
Abbildung 3-7: Windrosen Flughafen Braunschweig für die 6 Ausbreitungsklassen	23
Abbildung 3-8: Windrichtungsverteilung an der LÜN-Station Broitzem (2008-2010); links - Nachtstunden, rechts - Tagstunden	24
Abbildung 3-9: Windrichtungsverteilung an der LÜN-Station Altewiekering (2008-2010). links - Nachtstunden, rechts – Tagstunden	24
Abbildung 3-10: Windrichtungsverteilung bei Schwachwind (links) und höheren Windgeschwindigkeiten (rechts). Oben – DWD-Station, unten – Flughafen.....	25
Abbildung 3-11: Bioklimatische Bewertung (aus www.heilklima.de)	26
Abbildung 3-12: Kaltluftproduktionspotenzial in m ³ /(m ² h)	30
Abbildung 4-1: Berechnete Volumenströme (farbig) und Windrichtungen um 21:00 Uhr im Dachniveau	38
Abbildung 4-2: Berechnete Lufttemperaturen in 2 m über Grund um 21:00 Uhr	39
Abbildung 4-3: von der Überdachströmung angetriebener Rotor in Straßenschlucht (links) und durch Horizontalkomponenten angetriebener Eckenwirbel (rechts).....	40
Abbildung 4-4: Durchlüftungspotenzial des Stadtkerns im Jahresmittel	41
Abbildung 4-5: Durchlüftungspotenzial bei Südostanströmung	42
Abbildung 4-6: Durchlüftungspotenzial bei Westanströmung	43
Abbildung 4-7: Durchlüftungspotenzial im Jahresmittel	44
Abbildung 4-8: Der Wärmeaustausch des Menschen mit seiner Umgebung (nach VDI 3787 Blatt 2).	45
Abbildung 4-11: PMV in einer innerstädtischen Situation an einem Augustnachmittag	48
Abbildung 5-1: Hauptverkehrswegenetz in Braunschweig	49
Abbildung 5-2: Konzentrationsverteilung auf einem Schnitt durch ländliches und städtisches Gebiet mit den entsprechenden Spitzen beim Anschnitt von viel befahrenen Straßenzügen.	51
Abbildung 5-3: Prognose DTV für 2015.....	53
Abbildung 5-4: Städtische Hintergrundbelastung NO _x , Werte in µg/m ³	56
Abbildung 5-5: Städtische Hintergrundbelastung PM ₁₀ , Werte in µg/m ³	57
Abbildung 5-6: Jahresmittelwert der NO ₂ -Konzentration (Bezugsjahr 2015) in 1,5 m über Grund (alt).....	60
Abbildung 5-7: Jahresmittelwert der PM ₁₀ -Konzentration (Bezugsjahr 2015) in 1,5 m über	



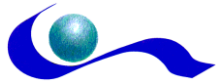
Grund (alt).....	61
Abbildung 6-1:Temperaturgang bei unterschiedlichem Lüftungsverhalten; rot – Außenluft, lila – Fenster tagsüber geöffnet, nachts geschlossen; blau – Fenster tags geschlossen, nachts gekippt (aus Zimmermann, 1999).....	65
Abbildung 7-1: Lage der regionalen Luftleitbahnen (R1–R11) sowie der lokalen Luftleitbahnen (L1–L5).	74
Abbildung 8-1: Bewertungsmatrix Freiflächen	77
Abbildung 8-2: Schema der Bereiche mit Freiflächen (inkl. Wald), die auf der Planungshinweiskarte eine sehr hohe klimatisch-lufthygienische Ausgleichsfunktion aufweisen (Erläuterung im Text).	79
Abbildung 8-3: Bewertungsmatrix „Siedlungsflächen“	83
Abbildung 12-2: Lage der Immissionsmessstation Braunschweig/Broitzern.	99
Abbildung 12-4: Lage der Immissionsmessstation Braunschweig Altewiekring 24.	100

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
°	als Himmelsrichtung: Nord = 0°, Ost = 90°, Süd = 180°, West = 270°;
°C	Grad Celsius
a	Jahr
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
clo	Bekleidungsmaß
CORINE	CORINE steht für „Coordinated Information on the European Environment“, d.h. Koordinierte Informationen über die europäische Umwelt.
DIN	Deutsche Industrie Norm
DTV	mittleres tägliches Verkehrsaufkommen
DWD	Deutscher Wetterdienst
FITNAH	Name des Mesoskalenmodells (“ F low over I rrregular T errain with N atural and A nthropogenic H eat Sources”)
GAMOS	G auß’sches Vielquellen m odell für S traßen
GIS	Geographisches Informationssystem
EMEP/EEA	European Monitoring and Evaluation Programme der European Environment Agency
h	Stunde
ha	Hektar
HBEFA	Handbuch für Emissionen des Kfz-Verkehrs
hPa	Hektopascal
HW	Hochwert
K	Kelvin (0 K = -273°C)
Kat	Straßenkategorie gemäß HBEFA 3.1 (aus Lage, Tempobegrenzung, Straßentyp)
kg	Kilogramm
km	Kilometer
Krad	Anteil der Krafträder
KRdL	Kommission zur Reinhaltung der Luft (VDI)
LfU	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
LN	Längsneigung der Straße
Inf	Anteil leichter Nutzfahrzeuge (zul. Gesamtgewicht zwischen 2,8 t und 3,5 t)
LÜN	Lufthygienisches Überwachungssystem Niedersachsen
m	Meter



m/s	Meter pro Sekunde (Windgeschwindigkeit)
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
MEZ	Mitteuropäische Zeit
MESZ	Mitteuropäische Sommerzeit
Min	Minute
nFs	Anzahl der Fahrspuren
NN	Normal Null (Höhe über Meeresspiegel)
NO	Stickstoffmonoxid
NO ₂	Stickstoffdioxid
NO _x	Stickoxide (NO und NO ₂)
O ₃	Ozon
PMV	predicted mean vote (engl.), die im Mittel von einem Kollektiv von Menschen zu erwartende Beurteilung der thermischen Umgebungsluftbedingungen nach einer siebenstufigen Skala
mg	1 mg = 10 ⁻³ g
µg	1 µg = 10 ⁻³ mg = 10 ⁻⁶ g
RW	Rechtswert
s	Sekunde
sNf	Anteil schwerer Nutzfahrzeuge (zul. Gesamtgewicht > 3,5 t)
T _{mrt}	mittlere Strahlungstemperatur
VP	Dampfdruck
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
W	Watt
ZUS LLG	Zentrale Unterstützungsstelle – Luftreinhaltung, Lärm und Gefahrstoffe im Staatlichen Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim



1 Einleitung

1.1 *Situation und Aufgabenstellung*

Die Stadt Braunschweig plant die Fortschreibung der Stadtklimaanalyse. Aus den Jahren 1992 und 2005 liegen der Stadt Braunschweig bereits Klimagutachten vor.

Die Fortschreibung soll den Stadtplanern im Vorfeld von Planungen, bei konkreten Bebauungsplanvorhaben und in der Flächennutzungsplanung, Anhaltspunkte zu möglichen Konflikten bezüglich der Themen:

- Innerstädtische Überwärmung
- Belastungsbereiche im Siedlungsraum
- Frisch-Kaltluftluftzufuhr
- Massenströme
- Kaltluftentstehung
- lufthygienische und bioklimatische Belastungen

bieten.

Es sollen Grundlagen erarbeitet werden, die es erlauben, im Flächennutzungsplan die Erhaltung und die Verbesserung eines günstigen Kleinklimas und einer günstigen lufthygienischen Situation adäquat zu berücksichtigen. Auch für künftige Einzelfallbetrachtungen im Rahmen der verbindlichen Bauleitplanung soll die Analyse den fachlichen Rahmen bieten und kostengünstige Auswertungen ermöglichen.

Zur Ermittlung der derzeitigen klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse wurde eine umfassende Bestandserhebung vorgenommen. Diese basiert auf Modellrechnungen

- FITNAH-Modellierungen
- Durchlüftungsanalyse
- Bioklimamodellierung
- Luftschadstoff-Immissionsprognosen

Auf der Basis dieser Informationen sowie den Erkenntnissen aus früheren Untersuchungen wurden eine Klimafunktionskarte und eine Planungshinweiskarte¹ erarbeitet. Weiterhin wurden alle flächendeckenden Informationen in einem ArcGIS-Projekt zusammengefasst, so dass ein Benutzer in der Lage ist, die verschiedenen klimatischen und lufthygienischen Aspekte in unterschiedlichen Maßstäben zu visualisieren. Der flächendeckende Charakter der Klimainformationen schafft für die Stadt Planungssicherheit hinsichtlich der Auswirkungen aktueller und künftiger Änderungen der Flächennutzung auf das lokale Klima und die Luftreinhaltung.

Die einzelnen Schritte der Stadtklimauntersuchung werden in den folgenden Kapiteln dargestellt. Bei den Formulierungen wurde darauf geachtet, dass sie auch für meteorologische Laien, insbesondere für den Planer, verständlich sind. Dies kann in einigen Fällen auf Kosten einer wissenschaftlich exakten Ausdrucksweise geschehen.

¹ Die Begriffe werden in den jeweiligen Kapiteln definiert

1.2 Definition des Begriffs „Stadtklima“

Beim Wort „Klima“ denkt man in der Regel an ganze Kontinente oder Großregionen wie die Tropen, Subtropen, gemäßigten Breiten oder Polargebiete. Doch nicht nur diese Gebiete weisen ein für sie typisches Klima auf, sondern auch kleinräumige Strukturen wie Wiesen, Flusstäler, Siedlungen und Städte.

Die Definition des Stadtklimas wurde von der World Meteorological Organization (WMO) folgendermaßen festgelegt:

Das Stadtklima ist das durch die Wechselwirkung mit der Bebauung und deren Auswirkungen (einschließlich Abwärme und Emission von luftverunreinigenden Stoffen) modifizierte Klima.

Im Wesentlichen zeichnet sich das Stadtklima durch folgende Eigenschaften aus:

1. Veränderung der Temperatur- und Feuchteverhältnisse

Das bekannteste stadtklimatologische Phänomen ist die Ausbildung einer Wärmeinsel. Je nach Größe der Stadt oder Gemeinde können die Temperaturen innerhalb der Bebauung während klarer Sommernächte um bis zu 10 K höher als im Umland sein. Die Ursache hierfür liegt vor allem in der Wärmespeicherung der städtischen Baumaterialien, der herabgesetzten Verdunstung und der reduzierten nächtlichen Wärmeabstrahlung.

2. Veränderung der Windverhältnisse

Die erhöhte Rauigkeit der städtischen Bebauung bewirkt im Mittel eine Verringerung der Windgeschwindigkeiten, was gleichzeitig den Luftaustausch verschlechtert. In der Nähe von hohen Gebäuden kann es hingegen zu einer Zunahme der Windgeschwindigkeitsspitzen, also einer Erhöhung der Böigkeit, kommen.

3. Veränderung der lufthygienischen Situation

Üblicherweise treten innerhalb von Stadtgebieten höhere Emissionen als im Umland auf. Während früher Hausbrand und Gewerbegebiete hierfür verantwortlich waren, ist in den vergangenen Jahren der Kfz-Verkehr zum Hauptverursacher geworden. In Verbindung mit dem reduzierten Luftaustausch kommt es zu einer Erhöhung der Schadstoffkonzentrationen im Stadtgebiet.

Wie aus der Aufzählung ersichtlich ist, beinhaltet der Begriff „Klima“ die Zusammenschau verschiedenster Parameter, die zum Teil konkurrierenden Prinzipien unterworfen sind. So kann eine Optimierung im Hinblick auch eine bestimmte Situation (z.B. Minderung der Wärmebelastung an einem Sommertag durch Anpflanzung von schattenwerfenden Bäumen) Nachteile bei anderen Situationen bringen (z.B. Verminderung des Luftaustausches aufgrund der Hinderniswirkung von Bäumen).

Eine wie auch immer definierte klimatische Optimierung steht daher stets in Konkurrenz zu anderen ökologischen sowie zum großen Feld der sozioökonomischen Planungsziele wie preiswerter Wohnraum, Urbanität, günstige Verkehrserschließung, Sicherheit und vielem anderen mehr.

1.3 Untersuchungsgebiet

Der Raum Braunschweig ist topografisch wenig strukturiert. Ausprägungen des lokalen Klimas ergeben sich deshalb hauptsächlich aus dem Gefüge der Landnutzungen.

Die Stadt Braunschweig (52° 16' 38" nördliche Breite, 10° 31' 28" östliche Länge) liegt im Übergangsbereich zwischen dem nördlichen Harzvorland und dem Norddeutschen Tiefland am Nordrand der

deutschen Mittelgebirge mit ihren schwach hügeligen Ausläufern.

Das Stadtgebiet erstreckt sich über eine Fläche von 192 km². Die größte Nord-Süd-Ausdehnung beträgt 19,1 km und die West-Ost-Ausdehnung 15,7 km. Das innere Stadtgebiet befindet sich auf einer Höhe von 70 m über NN. Die höchste Erhebung bildet der Geitelder Berg mit einer Höhe von 111 m über NN, die tiefste Stelle ist eine alte Okerschleife im Nordwesten des Stadtgebiets mit 62 m über NN (Braunschweig, 2011).

Abbildung 1-1 zeigt das Gelände im Raum Braunschweig mit den Siedlungskonturen (dunkelrot) und der Stadtgrenze (weiß).

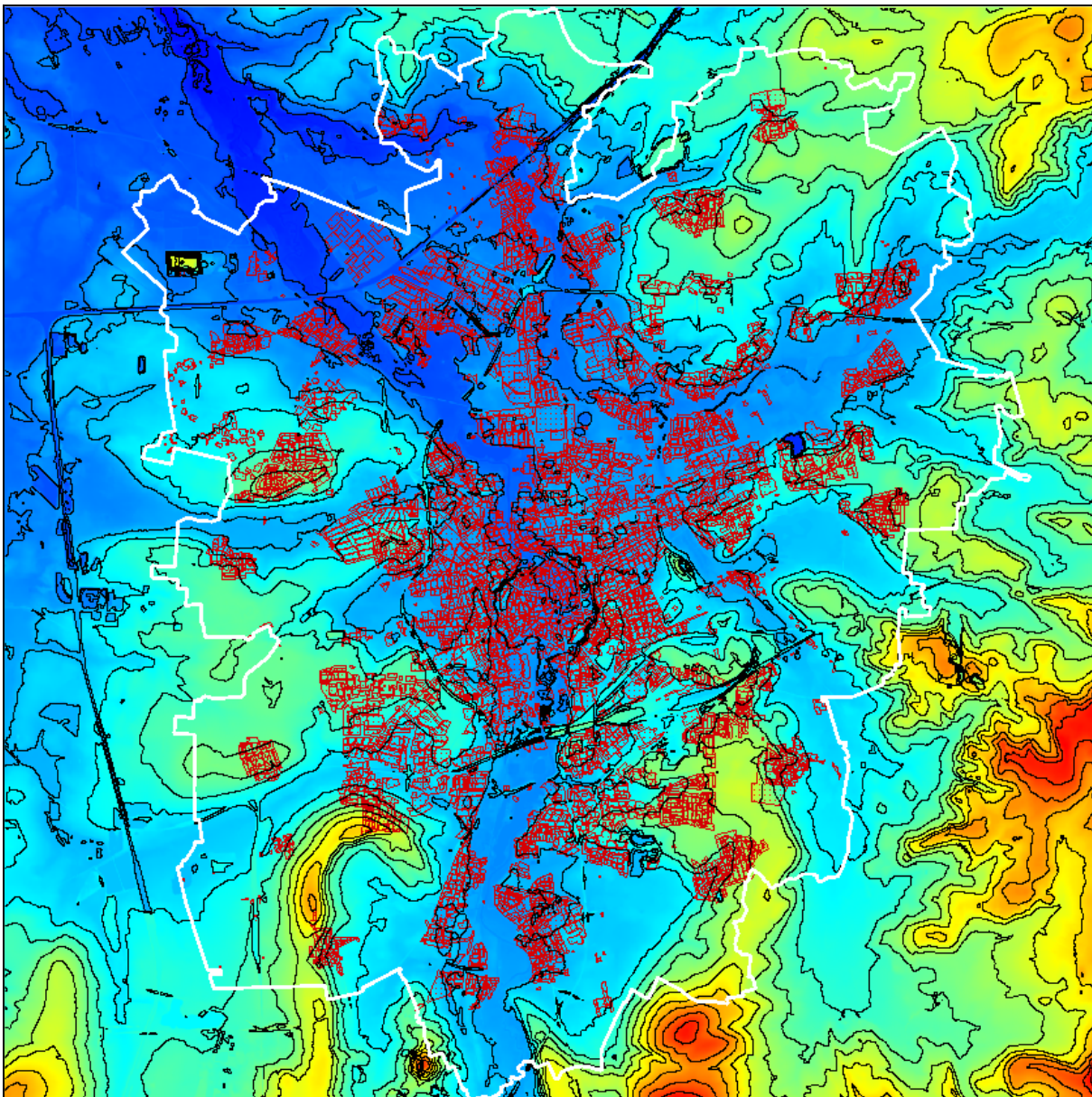


Abbildung 1-1: Geländehöhen, Höhenlinien in 5 m-Abständen mit Stadtgrenze (weiß)

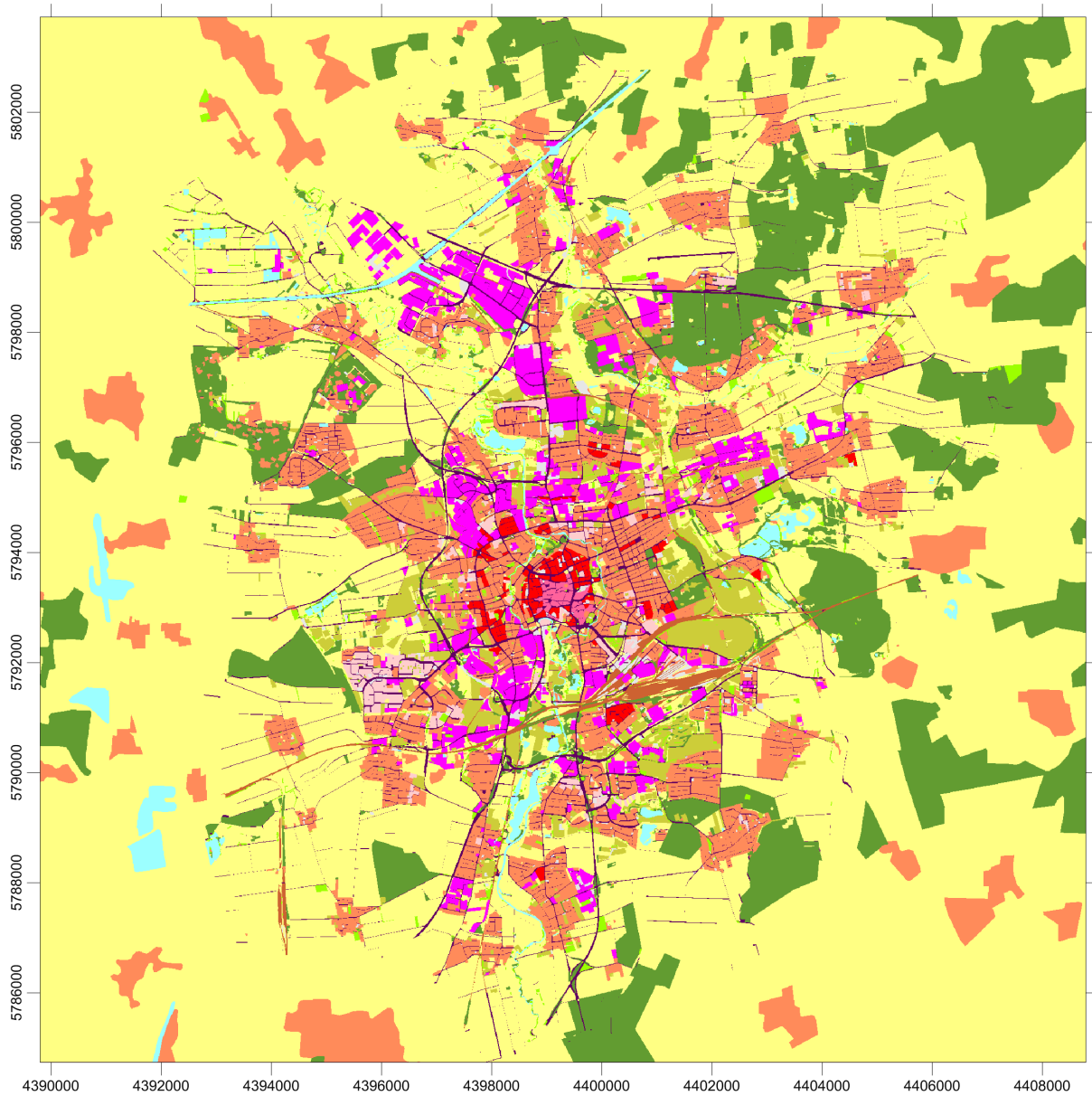
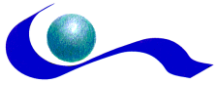


Abbildung 1-2: Nutzung im Raum Braunschweig

1.4 Bisherige Untersuchungen zum Stadtklima von Braunschweig

1.4.1 Überblick

In den Jahren 1992 und 2005 wurden für die Stadt Braunschweig Klimagutachten erstellt (Mosimann et al. 1992, GEO-NET 2006). Während das erste analog erstellt wurde, basiert das zweite auf Modellrechnungen mit dem prognostischen Mesoskalenmodell FITNAH (Prof. Gross, Hannover). Sie bestätigten die Ergebnisse der analogen Untersuchung.

Das jetzt vorliegende Klimagutachten ist eine Fortschreibung des Gutachtens von 2005. Grundsätzlich ähnelt die damalige Vorgehensweise der heutigen. Wesentliche Unterschiede sind allerdings die höhere Auflösung sowie Art und Umfang der gerechneten Szenarien. Die Klimafunktionskarte ist nun um eine Planungshinweiskarte Klima/Luft ergänzt.

1.4.2 Ergebnisse der Klimauntersuchung von 2005

Die wichtigsten Ergebnisse des Gutachtens (GEO-NET 2007) sind:

- Das klimatische Potenzial der umgebenden Freiflächen ist als hoch anzusehen.
- Teilräume weisen ein erhöhtes bioklimatisch-lufthygienisches Belastungspotenzial auf (im Vergleich zu süddeutschen Städten aber gering).
- Lediglich 15 % der Siedlungsfläche sind als bioklimatisch belastend einzuordnen.
- 20 % sind mäßig belastet.
- 10 % weisen eine geringe Belastung auf.
- 55 % des Siedlungsraumes sind nicht belastet.
- Nur 1 % des Siedlungsraums ist bioklimatisch und zugleich lufthygienisch belastet.
- Im Hinblick auf weitere Nutzungsintensivierungen im Stadtgebiet Braunschweig sollten die Funktionen der klima- und immissionsökologisch wichtigen Strukturen möglichst wenig beeinträchtigt werden.

2 Methodik

Ziel der Untersuchung ist es, zum einen die lokalklimatischen Wirkzusammenhänge in Form einer Klimafunktionskarte darzustellen. Ferner soll die Planungshinweiskarte ein Werkzeug für die Planer darstellen, mit dem Auswirkungen und Einwirkungen zukünftiger Planungen hinsichtlich der klimatischen Verhältnisse eingeschätzt werden können.

Abbildung 2-1 zeigt in einem Flussdiagramm, durch welche Methoden (Messungen / Modellrechnungen) die einzelnen Karten entstanden sind und welche Daten die Grundlage bildeten. Grundlagen waren:

- die Nutzungskartierung
- das digitale Höhenmodell im 50 m Raster
- das digitale Gebäudemodell
- das prognostizierte Verkehrsaufkommen
- Messdaten des LÜN
- die Stadtkarte
- Gutachten und Messungen aus vergangenen Jahren

Mittels Modellrechnungen wurden mit Hilfe dieser Daten flächendeckende Datensätze erzeugt:

- die Strömungsverhältnisse bei autochthonen Wetterlagen insbesondere bei nächtlichen Kaltluftsituationen im 50 m Raster
- das Durchlüftungspotenzial im 15 m Raster
- die Luftschadstoffimmissionen im 10 m Raster
- die Bioklimakarten im 50 m Raster

Die Daten wurden grafisch für das GIS aufbereitet, so dass die Ergebnisse in voller Auflösung auch in beliebigen Ausschnitten betrachtet werden können.

In der Klimafunktionskarte sind verschiedene Aspekte zusammengefasst. Diese Karte ermöglicht eine schnelle Orientierung, welche Bereiche welche klimatischen Eigenschaften aufweisen.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass planungsrelevante Faktoren des Stadtklimas z.T. konkurrierende Zielvorgaben aufweisen. Maßnahmen zur Reduzierung von Wärmestress an einem Sommertag können andere Nachteile – z.B. höheren Heizbedarf im Winter – nach sich ziehen. Eine Verbesserung des Bioklimas – z.B. Pflanzung von Bäumen entlang der Straßenzüge – verschlechtert den Luftaustausch im Straßenraum.

Im Gegensatz zur weitgehend wertfreien Darstellung auf der Klimafunktionskarte werden auf der Planungshinweiskarte die Freiflächen hinsichtlich ihrer klimatisch-lufthygienischen Ausgleichsfunktion und die Siedlungsflächen hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit gegenüber einer Siedlungsverdichtung oder -erweiterung klassifiziert. Die Luftleitbahnen werden differenziert in weitgehend unbelastete und schadstoffbelastete Bahnen. Dargestellt sind außerdem die lufthygienisch belasteten Bereiche entlang der Hauptverkehrsstraßen. Darauf aufbauend werden Planungsempfehlungen bzw. Erhaltungs- und Entwicklungsziele für die Ebene der Flächennutzungsplanung gegeben.

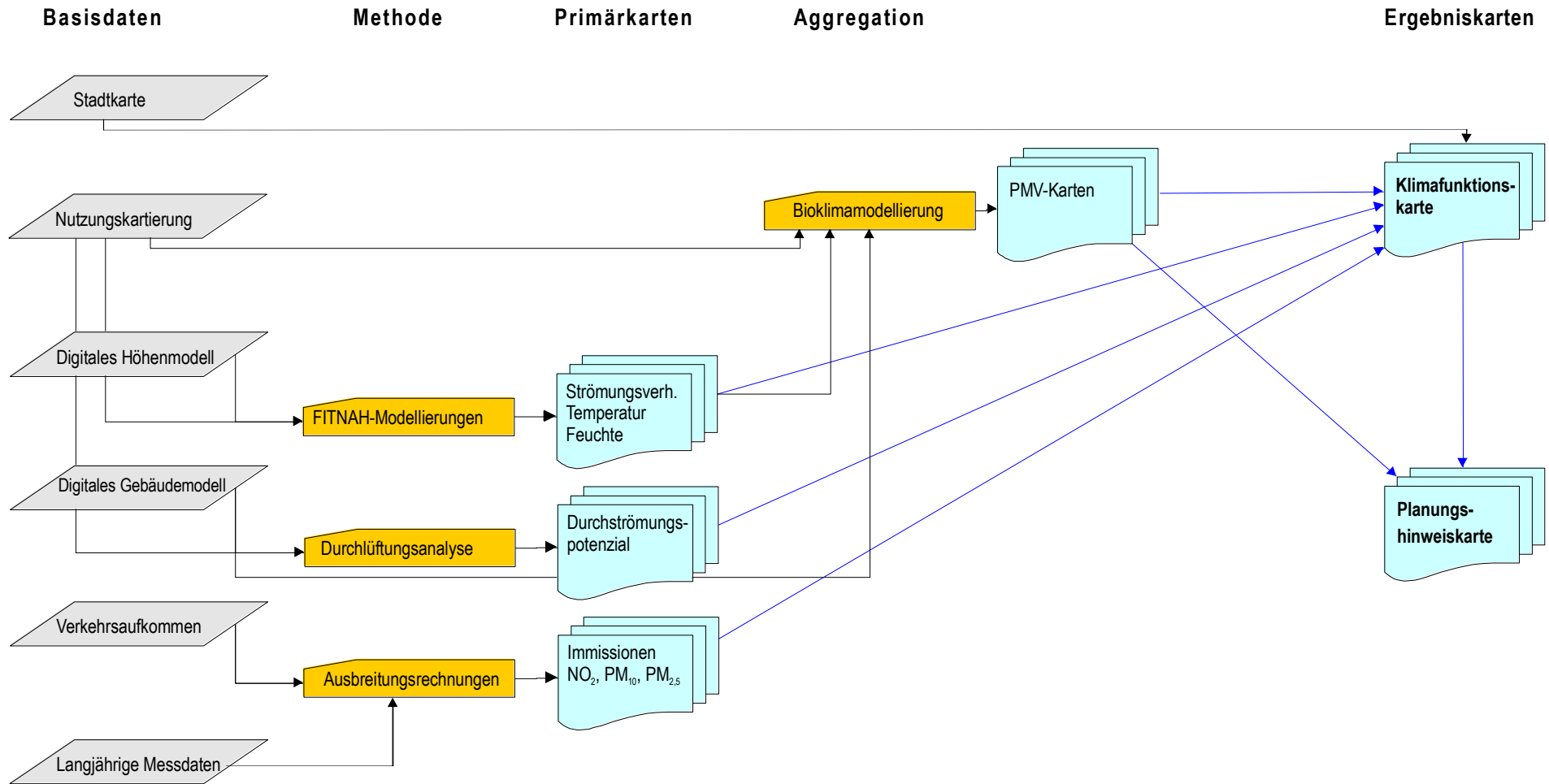


Abbildung 2-1: Fließbild der Stadtklimaanalyse

3 Großräumige Einordnung

Entsprechend der Definition der WMO (World Meteorological Organisation) ist das Klima die für einen Ort oder einen größeren Raum typische Zusammenfassung der erdnahen und die Erdoberfläche beeinflussenden atmosphärischen Zustände und Witterungsvorgänge während eines längeren Zeitraumes in charakteristischer Verteilung der häufigsten, mittleren und extremen Werte. Zugrunde gelegt werden Normalperioden von 30 Jahren. Aktuelle Auswertungen existieren hier für den Zeitraum 1971-2000.

Das Klima wird von vielen Faktoren beeinflusst, insbesondere der geographischen Breite, dem Abstand zu Ozeanen, der Höhe des Gebietes über NN., der Landnutzung und dem Geländere relief.

Braunschweig liegt in einer „gemäßigten“ Klimazone im Übergangsbereich zwischen ozeanisch und kontinental geprägten Gebieten. Der Witterungsablauf wird überwiegend von Tiefdruckgebieten mit eingelagerten Zwischenhochs bestimmt, so dass sich das Wetter meist veränderlich gestaltet und längere Hochdruckperioden mit beständigem Wetter eher selten sind.

Im Folgenden werden die wichtigsten meteorologischen Parameter dargestellt. Sie beziehen sich, wenn nicht anders angegeben, auf den Standort des Wetteramts in Braunschweig-Völkenrode. Innerhalb des Stadtgebiets von Braunschweig kann es nutzungsbedingt deutliche Abweichungen von den Messwerten am Wetteramt geben.

3.1 Klima-Variable

3.1.1 Lufttemperatur

Die mittlere Lufttemperatur im Zeitraum 1971 bis 2000 beträgt in Völkenrode 9,2°C.

Abbildung 3-1 zeigt die mittleren monatlichen Temperaturen für den Bezugszeitraum 1971 bis 2000 für Braunschweig (rote Linie) und zum Vergleich für einige deutsche Städte (Mühr, 2011).

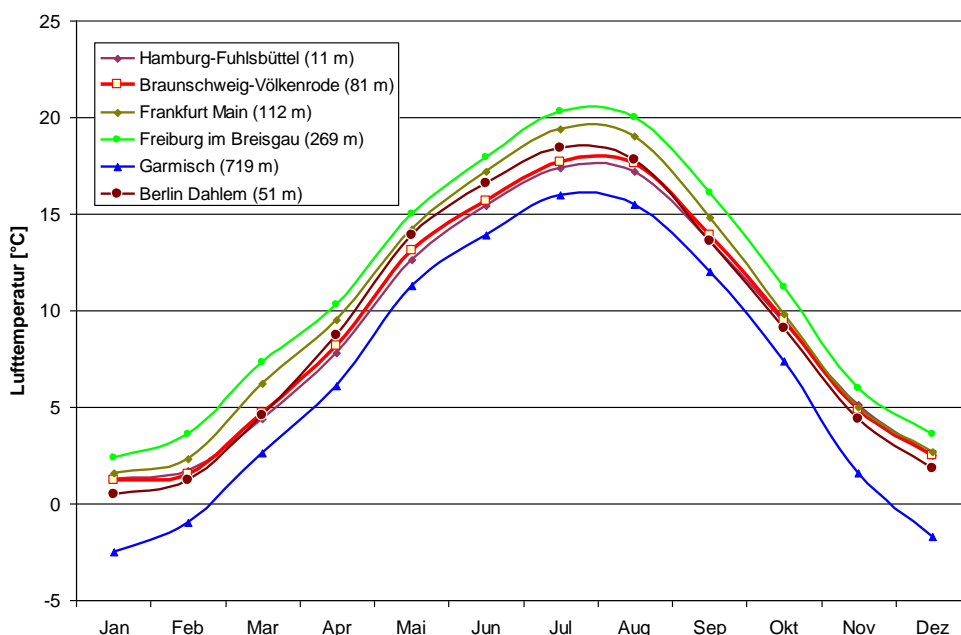


Abbildung 3-1: Mittlere monatliche Lufttemperaturen im 30-jährigen Mittel

Man erkennt, dass die Temperaturen zum einen mit zunehmender geographischer Breite, zum andern mit zunehmender Meereshöhe zurückgehen. So liegt im Jahresmittel die Lufttemperatur in Freiburg

bei 11,1°C und nimmt über Frankfurt (10,1°C) nach Norden hin ab (Hamburg 9,0°C). Braunschweig liegt in einem mittleren Temperaturbereich. Der Jahresgang ist weitgehend mit dem von Berlin-Dahlem identisch.

3.1.2 Feuchte

Die Luft enthält immer einen Anteil an Wasserdampf. Dieser hängt von der Lufttemperatur ab. Warme Luft kann mehr Wasserdampf aufnehmen als kalte Luft.

Natürliche Quellen für Wasserdampf ist die Verdunstung (Wasserflächen, Vegetation). Anthropogene Wasserdampfproduzenten sind Industrie, Hausbrand und Verkehr. Senken für Wasserdampf stellen die Tau- und Reifbildung an kalten Oberflächen dar.

Der Wasserdampfgehalt wird im Wesentlichen durch die großräumig herantransportierte Luftmasse bestimmt. Maritime Luftmassen enthalten daher in der Regel mehr Wasserdampf als Luftmassen aus kontinentalen Zonen. Zu einem geringeren Teil tragen auch lokale Quellen und Senken zum Wasserdampfgehalt der Luft bei.

Die Luftfeuchte ist ein wichtiger Parameter für die humanbiometeorologischen Verhältnisse. In trockenen Klimaten wird Kälte und Wärme als wesentlich weniger belastend empfunden als in feuchten Zonen.

3.1.3 Niederschlagsverhältnisse

Die Niederschlagsverhältnisse im Raum Braunschweig werden überwiegend durch Regen und Schnee beim Durchzug von Tiefdruckgebieten bestimmt. Stauniederschläge, wie in den Mittelgebirgsräumen, sind nicht zu erwarten.

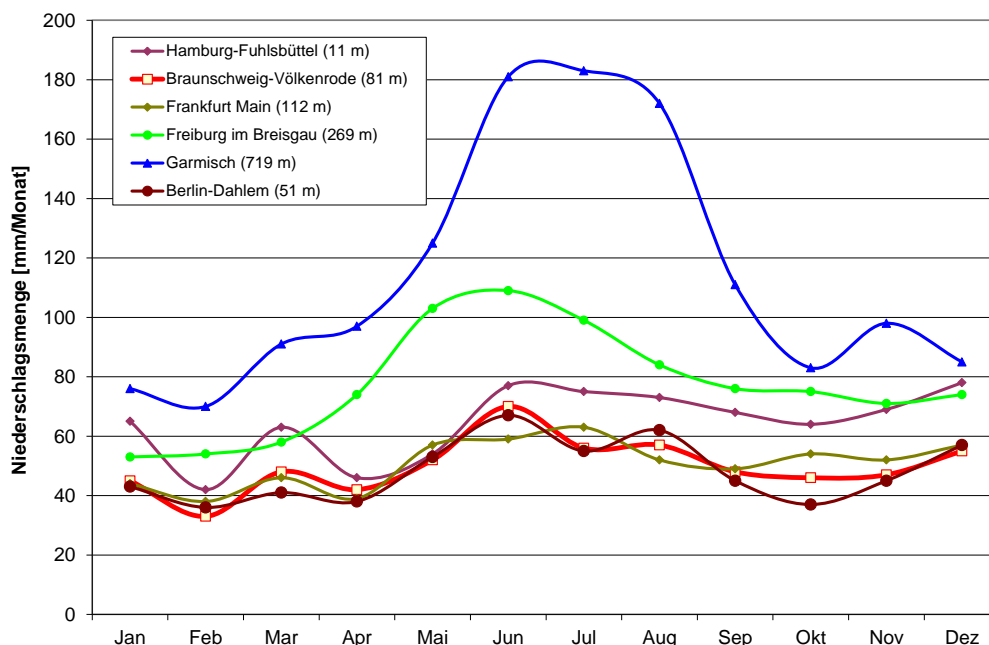


Abbildung 3-2: Mittlere monatliche Niederschlagsmengen im 30-jährigen Mittel (1971-2000)

In Braunschweig fallen im Jahresmittel 599 mm Niederschlag. Dies ist vergleichbar mit Berlin-Dahlem (578 mm) und Frankfurt am Main (611 mm). In Freiburg fallen durch Staueffekte am Südschwarzwald

930 mm, in Garmisch sogar 1371 mm Niederschlag. In Abbildung 3-2 sind die mittleren monatlichen Niederschlagsmengen dargestellt. Der meiste Niederschlag fällt in den Monaten Mai bis Juli durch Schauer und Gewitter.

3.1.4 Nebel

Ein Tag wird als Nebeltag erfasst, wenn die horizontale Sichtweite in einem beliebigen Zeitabschnitt weniger als 1 km beträgt. In Braunschweig treten ca. 30 Nebeltage auf. Dies ist im Vergleich zu Tallagen in Mittelgebirgslandschaften wenig. Z.B. liegt im Oberrheingraben die Zahl der Nebeltage pro Jahr zwischen 70 und 80.

Die meisten Nebeltage treten von Oktober bis Januar auf; die wenigsten Nebeltage weist der Juli auf.

3.1.5 Sonnenscheindauer

Die Sonnenscheindauer ist die Zeit, in der direkte Sonnenstrahlung auf die Erdoberfläche auftrifft. Die maximal mögliche Sonnenscheindauer ist abhängig von der Jahreszeit, der geographischen Breite und der Horizonteinschränkung durch das Geländere relief.

Die höchsten Sonnenscheindauern werden in Süddeutschland gemessen. In Braunschweig scheint die Sonne an ca. 1550 Stunden im Jahr (Bezugszeitraum 1961-1990).

In Abbildung 3-3 ist die mittlere monatliche Sonnenscheindauer für Braunschweig sowie weiteren deutschen Städten dargestellt. Im Vergleich zu den süddeutschen Städten wiesen die norddeutschen Städte aufgrund der geographischen Lage im Winter geringere Sonnenscheindauern auf, liegen in den Frühjahrsmonaten aber über den süddeutschen Städten. Im Sommer scheint die Sonne dagegen in den norddeutschen Regionen weniger häufig.

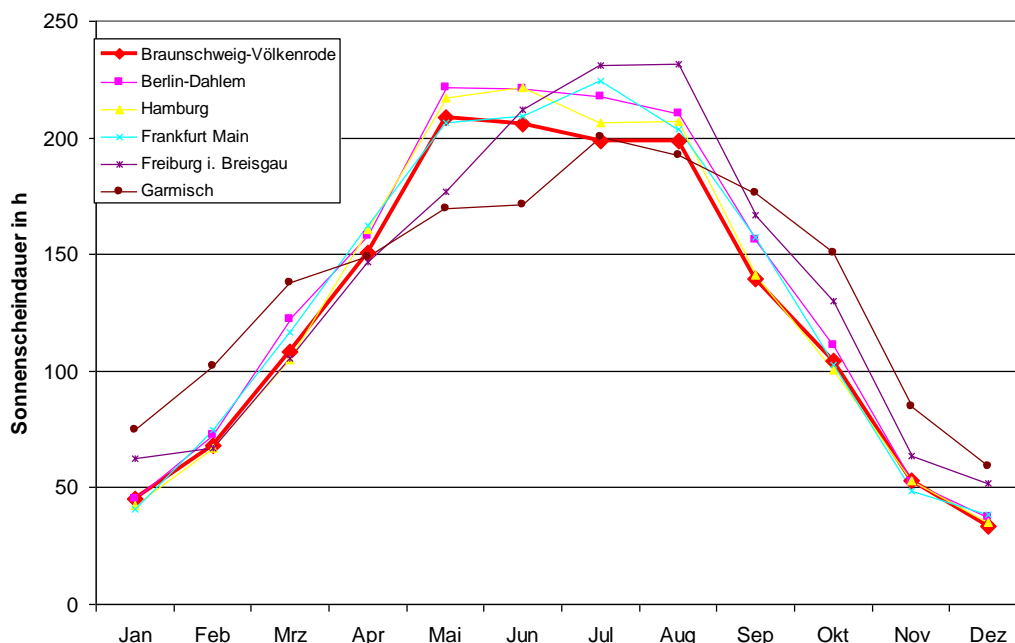
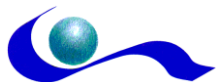


Abbildung 3-3: Mittlere monatliche Sonnenscheindauer im 30-jährigen Mittel (1961-1990)



3.1.6 Wind

Eine Luftströmung wird gekennzeichnet durch die Windrichtung (Himmelsrichtung aus der der Wind weht) und die Windgeschwindigkeit. Den Antrieb für Luftströmungen stellen horizontale Druckunterschiede dar. In großer Höhe ist diese Strömung nahezu geradlinig. Durch die Reibung wird die Strömung zum Boden hin abgebremst und durch das Geländere relief umgelenkt.

Im Raum Braunschweig gibt es 4 meteorologische Messstellen, die bereits über einen längeren Zeitraum gelaufen sind und auch aktuell noch Daten liefern. Dies sind:

- die Messstation des Deutschen Wetterdienstes in Völkenrode²
- die Messstelle der meteomedia am Flughafen
- die Messstelle der LÜN bei Broitzem am Fernmeldeturm
- die Messstelle der LÜN in der Straßenschlucht Altewiekring

Die letztere Station liegt in einer Straßenschlucht und weist deshalb eine starke Kanalisierung in Straßenslängsrichtung auf.

Die „ungestört“ messenden Stationen weisen überwiegend Winde aus West bis Südwest auf. Ein weiteres Maximum stellt sich bei Windrichtungen aus Ost bis Südost ein.

In 10 m über Grund werden am Flughafen und in Völkenrode 3,4 m/s im Jahresmittel gemessen. In Broitzem liegt die mittlere Windgeschwindigkeit bei 3,2 m/s, in der Straßenschlucht Altewiekring bei 0,9 m/s.

Aufgrund des geringen Geländere liefs stellen sich keine markanten Kaltluftabflüsse ein. In den Nachtstunden wolkenarmer und windschwacher Nächte stellt sich, großräumig durch topographische Strukturen, bedingt eine südöstliche Strömung ein.

² Folgende Daten lagen uns vor:

Völkenrode: AKTerm-Zeitreihe aus dem Jahr 1999

Flughafen: AKTerm-Zeitreihe aus dem Jahr 2006 (repräsentatives Jahr für den bisherigen Messzeitraum)

LÜN-Station Broitzem: Zeitreihe Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Temperatur, 2008-2010 (Bereitstellung durch das Staatliche Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim)

LÜN-Stadtstation Altewiekring 24: Zeitreihe Windrichtung, Windgeschwindigkeit, 2008-2010, (Bereitstellung durch das Staatliche Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim)

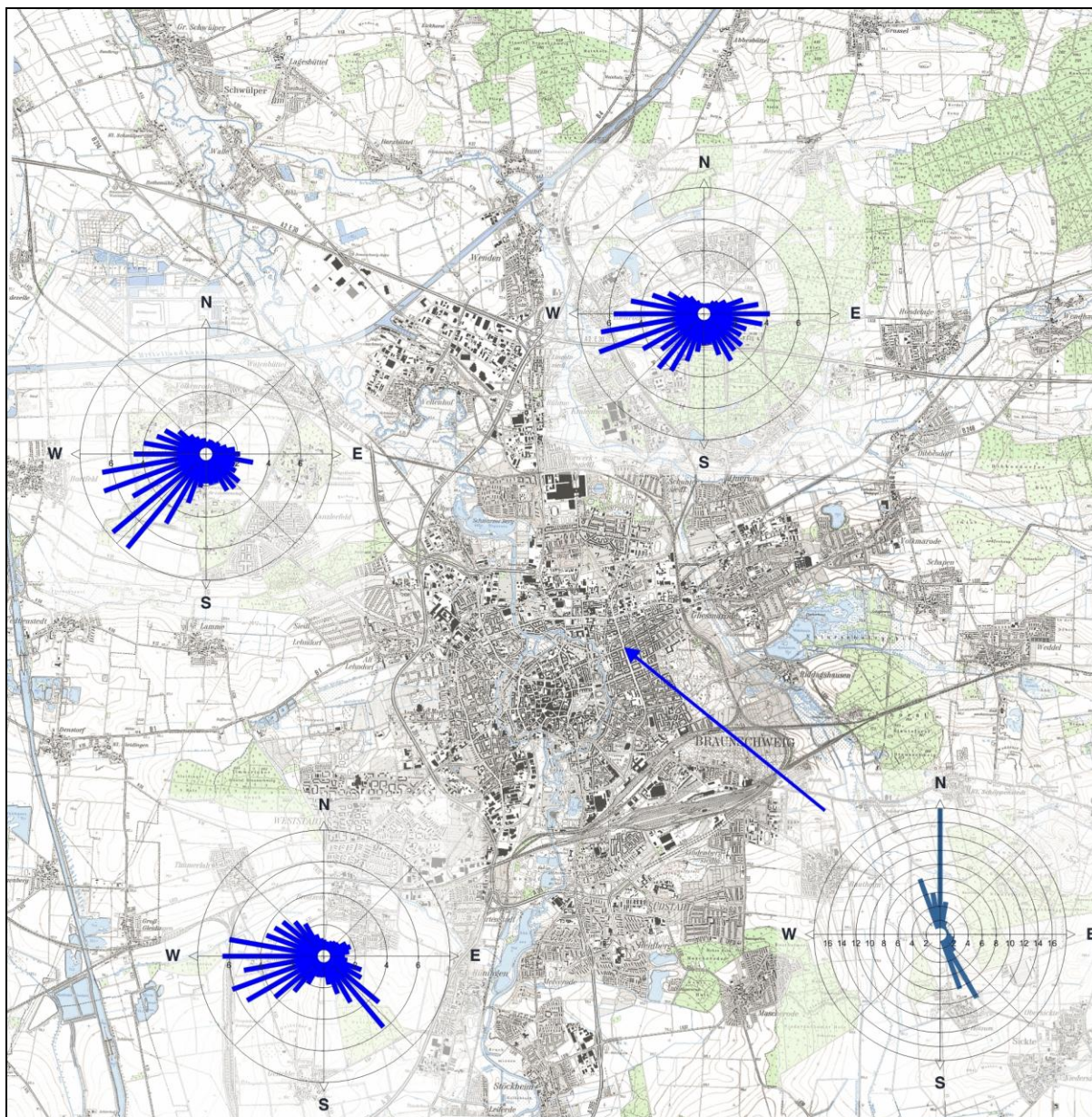


Abbildung 3-4: Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen an Braunschweiger Messstellen.

Auswertungen DWD-Station Völkenrode

Die Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen für die Messstelle 10348 des Deutschen Wetterdienstes (Braunschweig-Völkenrode), die etwa 6 km nordöstlich des Stadtzentrums liegt, ist in Abbildung 3-4 dargestellt. Die Länge der Strahlen gibt die Häufigkeit an, mit der der Wind aus der jeweiligen Richtung weht. Die Richtungen sind in Sektoren von 10 Grad eingeteilt.

Man erkennt, dass am Standort sowohl in den Tagstunden wie auch in den Nachtstunden Winde aus Südwest bis West dominieren. Ein sekundäres aber deutlich geringeres Maximum tritt bei südöstlichen bis östlichen Windrichtungen auf. Aus dem Nordsektor weht der Wind vergleichsweise selten.

Die mittlere Windgeschwindigkeit in 10 m über Grund liegt bei 3,4 m/s.

Neben der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit bestimmt die Ausbreitungsklasse die Verdünnungsfähigkeit der Atmosphäre. Die Definition der Ausbreitungsklassen nach TA Luft und deren meteorologische Bedingungen sind in Tabelle 3-1 aufgeführt.

Tabelle 3-1: Erläuterung der Ausbreitungsklassen nach TA Luft

Ausbreitungs-klasse	Thermische Schichtung	Entsprechende meteorologische Bedingungen
I	sehr stabil	nachts, windschwach, geringe Bewölkung
II	stabil	nachts, windschwach, bedeckt
III ₁	neutral/stabil	Tag und Nacht, höhere Windgeschwindigkeiten
III ₂	neutral/labil	tagsüber, mittlere Windgeschwindigkeiten, bedeckt
IV	labil	tagsüber, windschwach, geringe Bewölkung
V	sehr labil	Tage in den Sommermonaten, wolkenarm, windschwach, nur um die Mittagszeit

In Abbildung 3-5 ist die Verteilung der Ausbreitungsklassen dargestellt. Es überwiegt die indifferente Schichtung mit guten Austauschverhältnissen. In knapp 30% der Jahresstunden treten stabile Schichtungen (Klasse I und II) mit ungünstigen Austauschverhältnissen auf. Labile Schichtung tritt in knapp 10% der Jahresstunden auf.

Differenziert man die Windrichtungen nach den Ausbreitungsklassen, so erhält man die in Abbildung 3-6 dargestellten Windrosen. Bei stark stabiler Schichtung (Ausbreitungsklasse I), also den Nachtstunden mit geringem übergeordnetem Wind und geringer Bewölkung stellen sich in Völkenrode Winde aus dem östlichen bis südwestlichen Sektor ein.

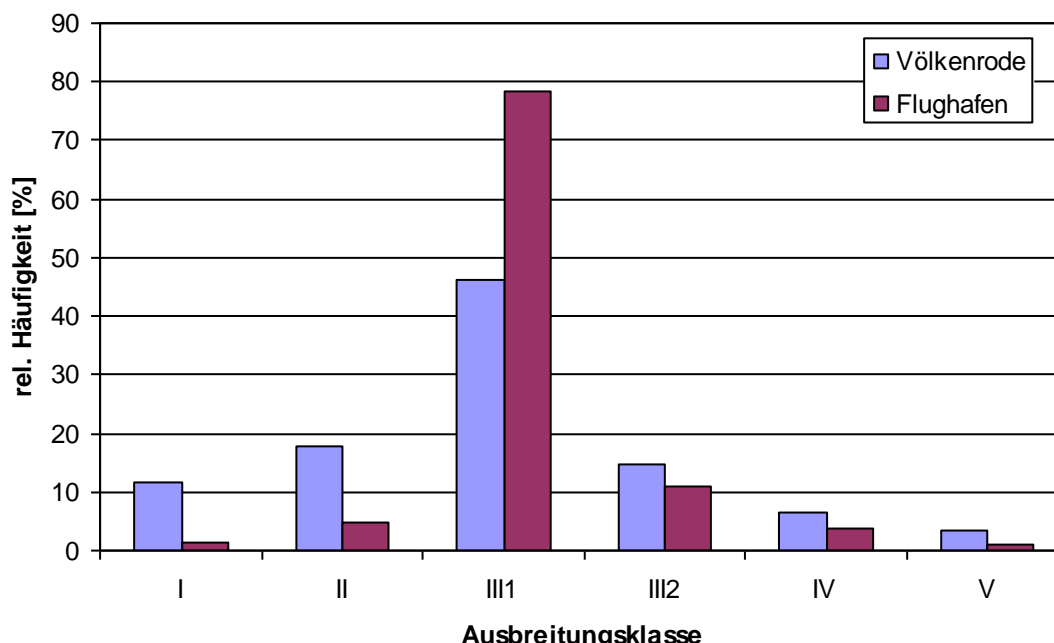


Abbildung 3-5: Verteilung der Ausbreitungsklassen. Station Braunschweig-Völkenrode (199)9 und Station Flughafen (2006)
(I – stark stabil, II – stabil, III₁ – indifferent, III₂ – indifferent bis leicht labil, IV – labil, V – stark labil)

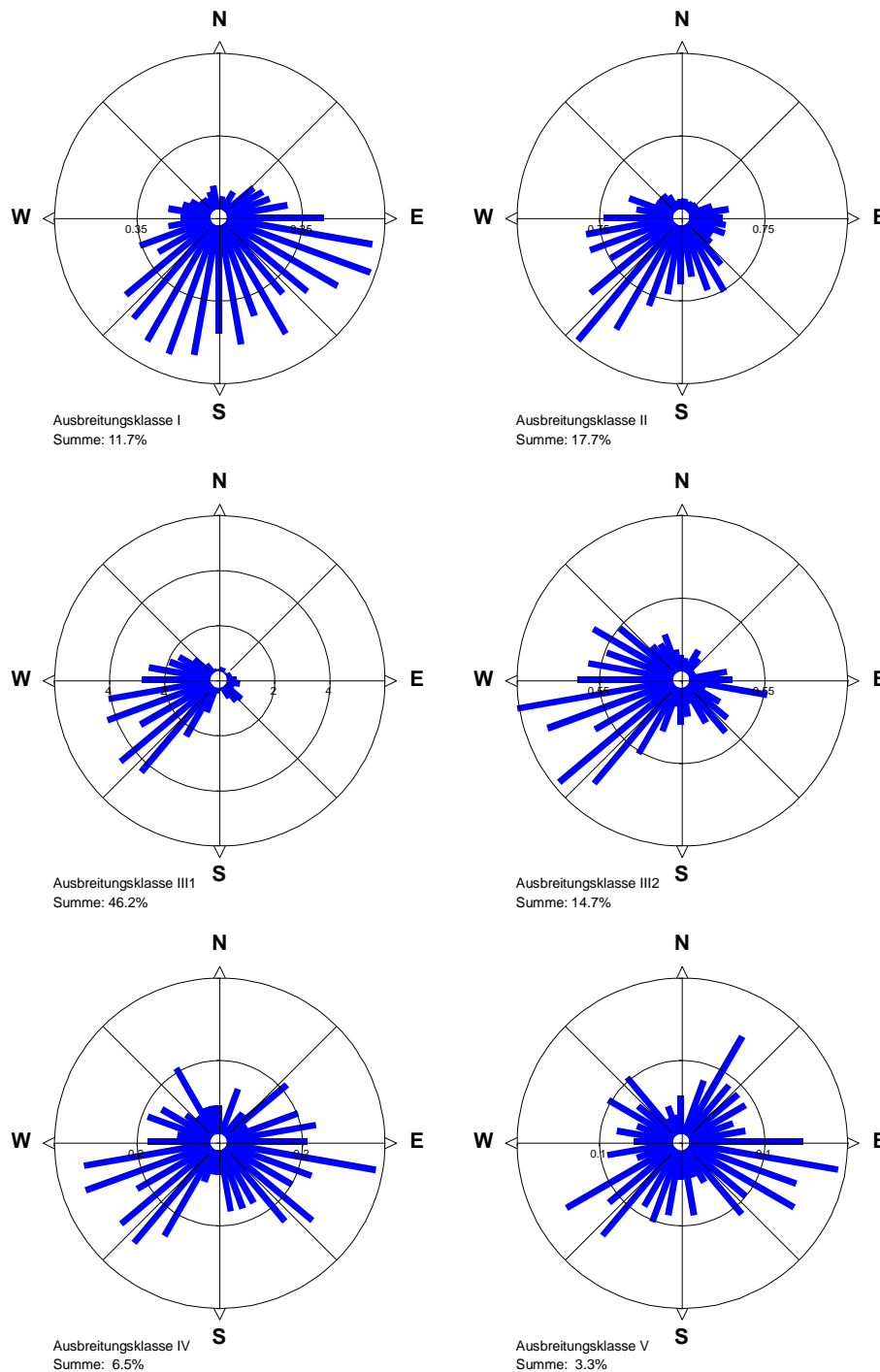


Abbildung 3-6: Windrosen Völkenrode für die 6 Ausbreitungsklassen

Auswertungen meteomedia-Station Flughafen

Bei der Messstation am Flughafen sind die Ost- und Westkomponenten etwas stärker betont.

Die Differenzierung nach Ausbreitungsklassen zeigt bei den stabilen Schichtungen (Klasse I und II) hauptsächlich Windrichtungen aus Südöstlichen Richtungen.

In Abbildung 3-5 ist die Verteilung der Ausbreitungsklassen neben der Verteilung in Völkenrode darge-

stellt. Am Flughafen treten noch mehr indifferente Schichtungen auf. Labile und stabile Schichtungen sind relativ selten.

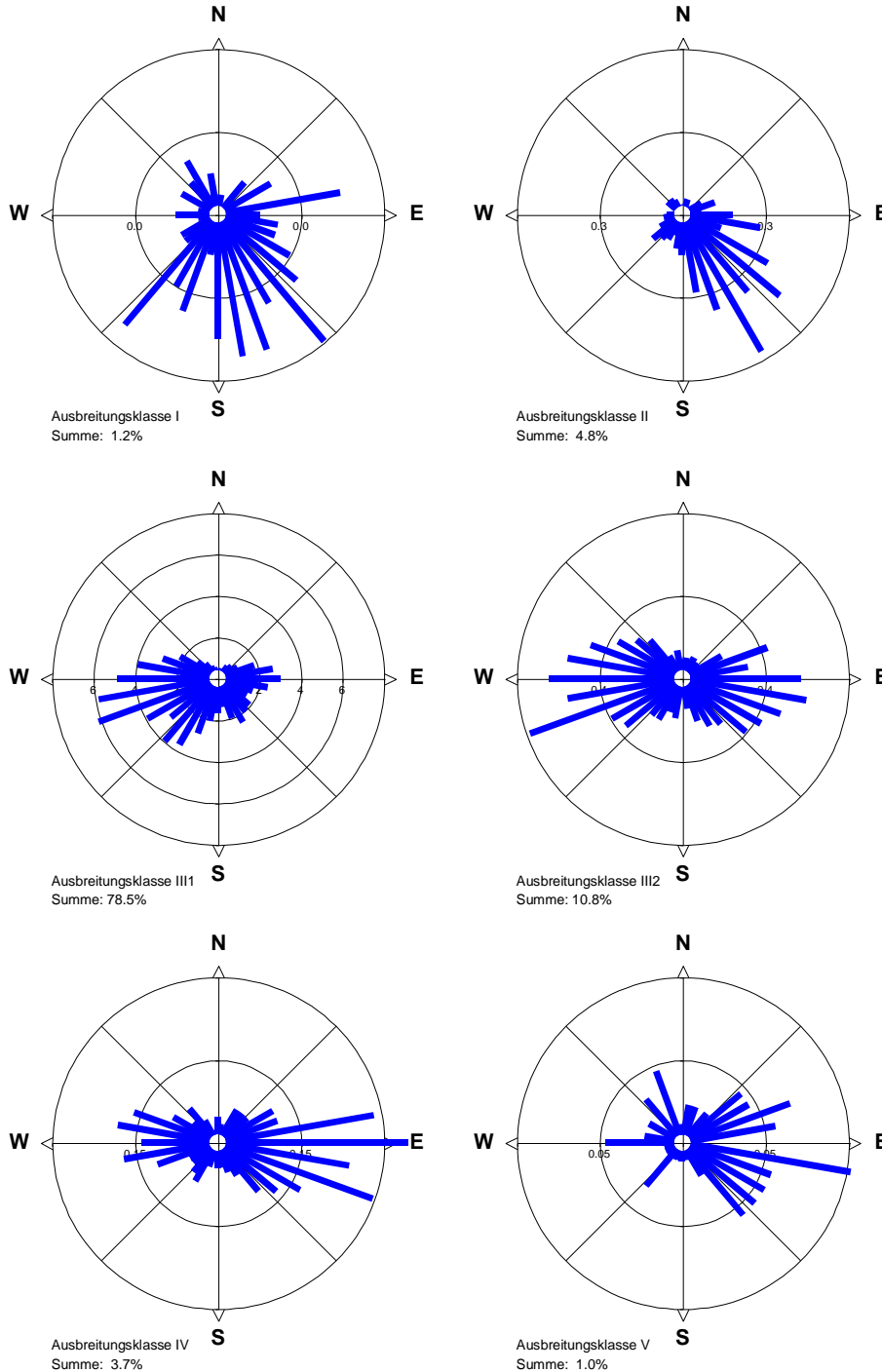


Abbildung 3-7: Windrosen Flughafen Braunschweig für die 6 Ausbreitungsklassen

Auswertungen LÜN-Station Broitzern

Die Messstelle am Fernmeldeturm im Süden von Braunschweig weist als Hauptwindrichtung westliche Winde auf. Ein zweites Maximum stellt sich bei südöstlichen Winden ein.

Eine Differenzierung in Tag- und Nachtstunden (Abbildung 3-8) zeigt nur geringe Unterschiede. Da sowohl stabile wie auch labile Schichtungen vergleichsweise selten sind, sind auch keine großen Effekte zu erwarten. Eine Differenzierung nach Ausbreitungsklassen ist nicht möglich, da nur die Zeitreihe der Windgeschwindigkeiten und -richtungen vorlag.

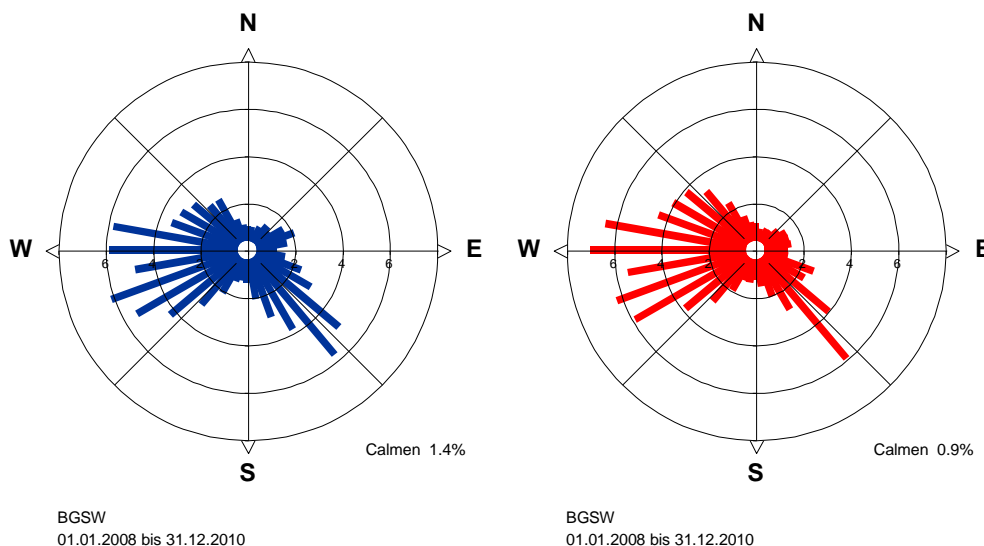


Abbildung 3-8: Windrichtungsverteilung an der LÜN-Station Broitzem (2008-2010); links - Nachtstunden, rechts - Tagstunden

Auswertungen LÜN-Station Altwiekring

An der Messstelle in der Straßenschlucht der Hauptverkehrsstraße Altwiekring findet man eine ausgeprägte Kanalisierung in Straßenlängsrichtung. In Abbildung 3-9 sind die Verhältnisse während der Nacht- und Tagstunden dargestellt. Wie bereits oben beschrieben, ergeben sich keine großen Unterschiede. Man erkennt aber, dass in den Nachtstunden sowohl mehr Calmen (Windgeschwindigkeiten unter 0,5 m/s) als auch etwas mehr Südsüdostwinde auftreten als in den Tagstunden.

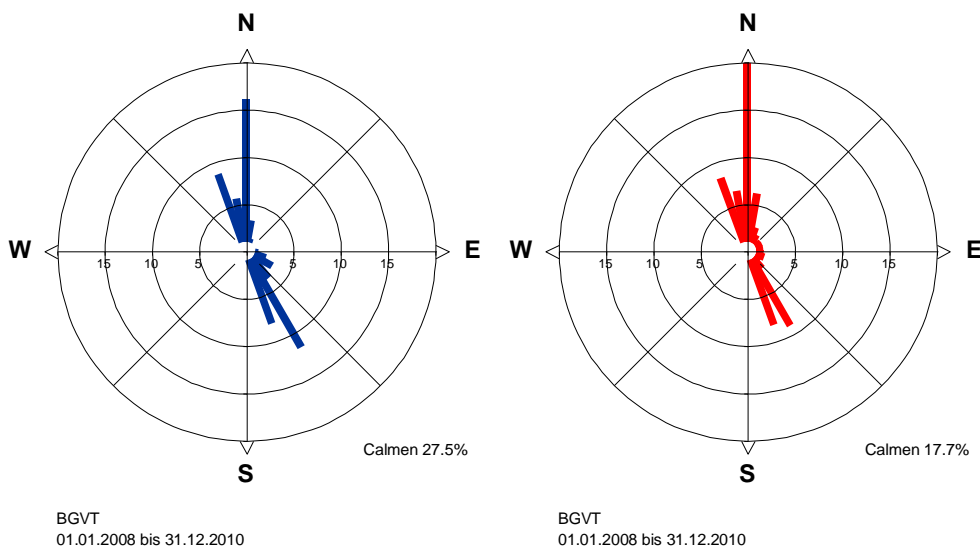


Abbildung 3-9: Windrichtungsverteilung an der LÜN-Station Altwiekring (2008-2010). links - Nachtstunden, rechts - Tagstunden

3.2 Schwachwindanalyse

Eine zusätzliche Differenzierung wurde in Schwachwinde mit Windgeschwindigkeiten unter 1,4 m/s und Windstärken über 1,4 m/s vorgenommen. Bei geringen Windgeschwindigkeiten, die sowohl nachts wie auch tags auftreten können, wirkt sich der Einfluss von Hindernissen stärker aus.

In Abbildung 3-10 sind für die DWD-Station (Abbildungen oben) und den Flughafen (Abbildungen unten) die Windrichtungsverteilungen für Schwachwind (jeweils links) und höhere Windgeschwindigkeiten (jeweils rechts) dargestellt.

In Völkenrode (DWD-Station) kommen Schwachwinde in ca. 11% der Jahresstunden vorwiegend aus dem südlichen Halbraum. Am Flughafen dominieren dagegen bei Schwachwind südöstliche Windrichtungen. Windgeschwindigkeiten unter 1,4 m/s sind hier mit ca. 9% etwas seltener als in Völkenrode. Dies ist unter anderem auf die geringere Rauigkeit am Flughafen zurückzuführen. Bei höheren Windgeschwindigkeiten entspricht die Verteilung im Wesentlichen den Verhältnissen im Jahresmittel.

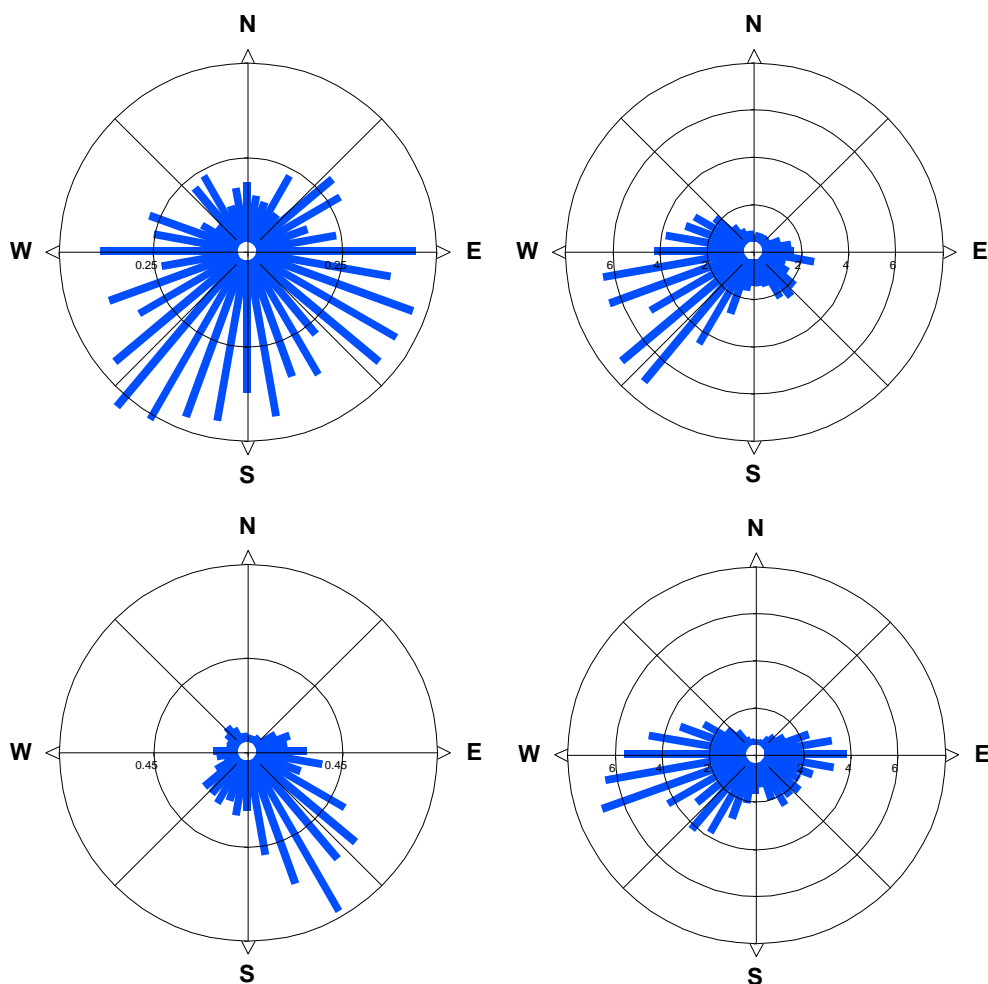


Abbildung 3-10: Windrichtungsverteilung bei Schwachwind (links) und höheren Windgeschwindigkeiten (rechts). Oben – DWD-Station, unten – Flughafen

3.3 Thermisches Bioklima

Wärmebelastung tritt hauptsächlich bei sommerlichen, strahlungsreichen Hochdruckwetterlagen mit geringer Luftbewegung auf. Kältestress ist der Mensch dagegen bei niedrigen Temperaturen und hohen Windgeschwindigkeiten ausgesetzt.

Abbildung 3-11 zeigt eine bioklimatische Belastungskarte von Deutschland. Die höchsten Wärmebelastungen finden sich im Oberrheingraben, die höchsten Kältebelastungen in den Hochlagen der Mittelgebirge. Im Raum Braunschweig (roter Kreis) treten Wärme- und Kältebelastung nur gelegentlich auf.

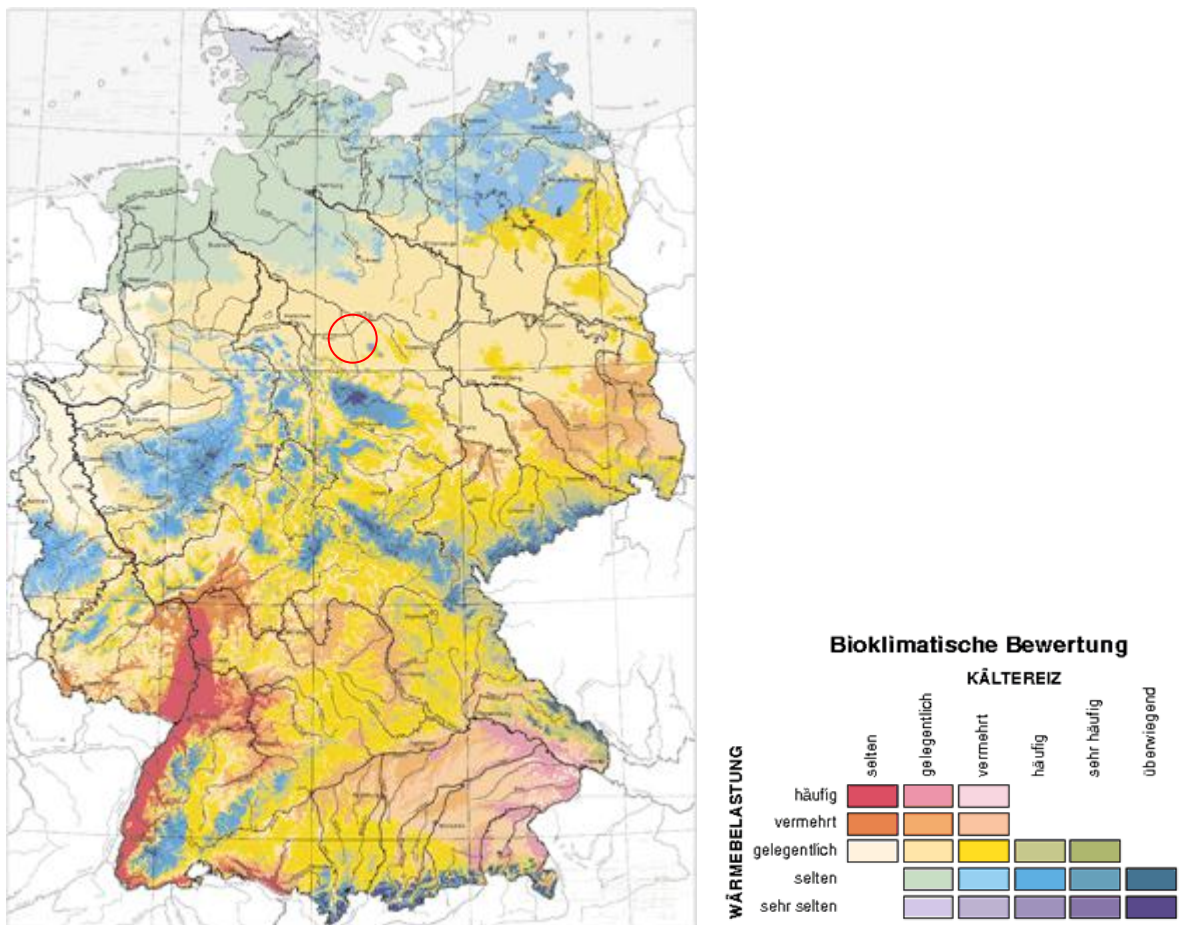
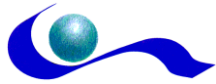


Abbildung 3-11: Bioklimatische Bewertung (aus www.heilklima.de)

Unangenehme thermische Belastungen können auch im Raum Braunschweig bei Extremwetterlagen (z.B. sommerliche Hitzeperioden) auftreten. Aufgrund der moderaten Häufigkeit des Auftretens von Belastungssituationen ist hier der Spielraum bei der Planung aber deutlich größer als beispielsweise in der Rheinebene.



3.4 Lufthygienische Bedingungen

Neben den klimatischen Bedingungen bestimmt die Luftqualität das menschliche Wohlbefinden und die Gesundheit. Schädliche Bestandteile der Luft sind z.B. Stickoxide (NO, NO₂), Stäube (PM₁₀, PM_{2,5}) und Ozon (O₃). Dabei wird die bodennahe lufthygienische Situation meist durch den Kfz-Verkehr bestimmt.

3.4.1 Stickstoffdioxid NO₂

Stickstoffoxide entstehen bei Verbrennungsprozessen zum einen durch die Umwandlung des im Brennstoff enthaltenen Stickstoffs und zum anderen durch die Oxidation des Stickstoffs, welcher bei der Verbrennung über die Luft zugeführt wird. Bei diesem Vorgang wird vor allem NO (Stickstoffmonoxid) gebildet, das in der Atmosphäre zu NO₂ (Stickstoffdioxid) oxidiert. Für den Menschen ist insbesondere Stickstoffdioxid von Bedeutung – es reizt die Schleimhäute und begünstigt damit Atemwegserkrankungen.

3.4.2 Feinstaub

Verkehrsbedingter Schwebstaub enthält lufthygienisch relevante Stoffe, z.B. Rußpartikeln, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und Schwermetalle. Eingeatmeter Staub, im wesentlichen Schwebstaub, enthält sowohl nicht-lungengängige Anteile (Grobstaub) als auch lungengängige Anteile (Feinstaub). **PM₁₀** ist als Staub definiert, der einen Abscheider passiert, welcher Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von 10 µm zu 50% zurückhält. **PM_{2,5}** entsprechend Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von 2,5 µm.

Der aerodynamische Teilchendurchmesser der unmittelbar vom Motor emittierten Partikeln liegt unter 1 µm. Aufgewirbelter Staub und Stäube aus Reifen-, Brems- und anderen Abrieben können auch größer sein. Der überwiegende Teil kann der Klasse der Feinstäube zugeordnet werden.

Abhängig von der Höhe der Belastung kann die Einwirkung von Schwebstaub zu einer Irritation der Bronchialschleimhaut führen. Chronische Staubbelastungen können zu chronischer Bronchitis sowie zu Lungenfunktionsveränderungen führen.

Durch die Vorgaben der Luftreinhaltepläne konnte der Feinstaubanteil in den Großstädten in den letzten Jahren gesenkt werden. Problematisch sind nicht die Jahresmittelwerte, sondern die Überschreitungen der 50 µg/m³-Schwelle durch Tagesmittelwerte. So wurden beispielsweise 2011 an ca. 13% aller deutschen Messstationen an mehr als 35 Tagen PM₁₀-Tagesmittelwerte über 50 µg/m³ gemessen, während an weniger als einem Prozent der Stationen zudem der PM₁₀-Grenzwert von 40 µg/m³ im Jahresmittel überschritten wurde (Umweltbundesamt, 2011).

3.4.3 Weitere Luftschadstoffe

Die Konzentrationen weiterer Luftverunreinigungen aus dem Verkehrsbereich, wie z.B. Schwefeldioxid, Benzol, Blei oder Kohlenmonoxid liegen heute aufgrund der bereits ergriffenen Luftreinhaltemaßnahmen deutlich unterhalb gesundheitsbezogener Grenz- und Richtwerte.

Die Vorgehensweise erfordert eine Differenzierung in eine „allgemeine Hintergrundbelastung“ (Ferntransport) und die „lokale Hintergrundbelastung“ (Gewerbe/Industrie, Hausbrand) im Bereich des Untersuchungsgebietes.

3.4.4 Messungen in Braunschweig

Die Zentrale Unterstützungsstelle – Luftreinhaltung, Lärm und Gefahrstoffe im Staatlichen Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim (ZUS LLG) betreibt im Rahmen des Lufthygienischen Überwachungssystems Niedersachsen (LÜN) im Raum Braunschweig 2 Messstellen.

Maßgeblich für den vorstädtischen Hintergrund ist die Messstation beim Ortsteil Broitzem am Fernmeldeturm im Südwesten von Braunschweig. Zudem gibt es eine verkehrsbezogenen Messstelle östlich der Innenstadt am Altewiekring. Ein Foto der Stationen und der jeweilige Lageplan sind im Anhang abgelegt.

In Tabelle 3-2 sind die jahresbezogenen Kenngrößen „Jahresmittelwert“ und „Überschreitungshäufigkeit“ (vgl. Tabelle 5-1) für diese Messstellen aufgeführt (Quelle: Jahresberichte 2005 - 2010 aus dem Lufthygienischen Überwachungssystem Niedersachsen).

Tabelle 3-2: Immissionsmessungen aus dem LÜN an der Messstelle am Fernmeldeturm in Braunschweig-Broitzem in den letzten 6 Jahren.

	Einheit	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Mittelwert
NO ₂	µg/m ³	17	18	14	15	15	16	15,8
NO ₂ -Überschreitungshäufigkeit	Stunden	–	–	–	0	0	0	0
PM ₁₀	µg/m ³	24	26	18	17	17	19	20,1
PM ₁₀ -Überschreitungshäufigkeit	Tage	19	14	4	3	3	15	9,7

Die Jahresberichte enthalten außerdem Messwerte für die Jahre 2008 bis 2010 der verkehrsbezogenen Messstation in Braunschweig (Altewiekring 24). Die Werte sind in Tabelle 3-3 aufgeführt.

Tabelle 3-3: Immissionsmessungen aus dem LÜN an der Messstelle Braunschweig-Altewiekring 24 in den letzten 6 Jahren.

	Einheit	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Mittelwert
NO ₂	µg/m ³	–	–	–	54	52	51	52,3
NO ₂ -Überschreitungshäufigkeit	Stunden	–	–	–	1	2	1	1,3
PM ₁₀	µg/m ³	–	–	–	24	23	27	24,6
PM ₁₀ -Überschreitungshäufigkeit	Tage	–	–	–	3	6	20	9,7

PM_{2,5} wurde bislang an keiner der beiden Stationen gemessen.

Die Messungen zeigen, dass die großräumige Hintergrundbelastung zwar gering ist, an Hauptverkehrsstraßen mit Straßenschluchtcharakter aber durchaus Überschreitungen bei NO₂ auftreten können. PM₁₀ ist dagegen eher unproblematisch. Dies ist auch für PM_{2,5} anzunehmen. Statistische Aus-

wertungen zeigen, dass die $PM_{2,5}$ -Zielwerte an Orten, an denen die PM_{10} -Grenzwerte eingehalten werden, ebenfalls unterschritten werden.

3.5 *Phänomene bei autochthonen Wetterlagen*

3.5.1 Kaltluftentstehung

Der Begriff „Kaltluft“ bezieht sich nicht auf absolut kalte Luft (wie bei winterlicher Kaltluft aus polaren Regionen), sondern es handelt sich um relativ kalte Luft handelt: „Luftmenge, die gegenüber durchschnittlichen Verhältnissen der Unterlage oder ihrer Umgebung eine niedrigere Temperatur aufweist“ (Zitat: Meyers kleines Lexikon Meteorologie).

Die Bildung bodennaher Kaltluft wird durch die Abkühlung der Erdoberfläche aufgrund einer negativen Energiebilanz verursacht. Der Energieverlust sorgt zunächst für eine Abkühlung der Oberfläche und infolgedessen für die Abkühlung der darüber befindlichen Luftmasse. Besonders günstig für solche Abkühlungsprozesse sind:

- Nachtstunden (wegen des Fehlens der solaren Einstrahlung).
- Geringer Wolkenbedeckungsgrad (wegen des Fehlens der atmosphärischen langwelligen Gegenstrahlung von Wolken und der ungehinderten langwelligen Ausstrahlung der Oberfläche).
- Hochdruckwetterlagen (wegen der überregional geringen Windgeschwindigkeiten und damit einer höheren Verweilzeit eines Luftpakets über der kaltluftproduzierenden Oberfläche sowie wegen der geringeren bodennahen Turbulenz und daher einer geringeren vertikalen Durchmischung bodennaher Luftschichten).

Die beschriebenen Bedingungen werden auch als „autochthone Wetterlage“ bezeichnet.

Die höchsten Kaltluftproduktionsraten weisen unversiegelte Freiflächen auf. Bebautes Gebiet hat i.a. ein reduziertes Kaltluftbildungsvermögen, dichte Bebauung und industriell genutzte Flächen können je nach anthropogener Wärmefreisetzung (s. Abschnitt 4.1.2) als relativ warme Zonen wirken. In Wäldern bleibt die Luft aufgrund der Verschattung im Bestand tagsüber relativ kühl. Wälder können daher speziell am Abend und zu Beginn der Nacht durchaus nennenswerte Beiträge zu Kaltluftbildung leisten, vorausgesetzt natürlich, dass die Umgebungsluft außerhalb des Bestandes noch höhere Temperaturen aufweist. Während der Nacht kühlt die Luft im Bestand sehr viel weniger ab als über freier Flur, was auf die langwellige Strahlung der Pflanzenbestandteile, die Minderung der Ausstrahlung des Erdbodens in die freie Atmosphäre und den gebremsten Luftaustausch zurückzuführen ist. Später in der Nacht können Wälder daher häufig als relativ warme Zonen (im Vergleich zur Umgebung) identifiziert werden.

In ebenem Gelände verbleibt die lokal gebildete Kaltluft im Entstehungsgebiet. Nur starke horizontale Temperaturunterschiede oder übergeordnete Winde können dort die Kaltluft in Bewegung setzen.

In Abbildung 3-12 sind auf der Basis der Realnutzungen die möglichen Kaltluftbildungsraten dargestellt. Innerstädtisch gibt es nur kleine Kaltluftproduktionsinseln. Der größte Bereich stellt die Okeraue dar.

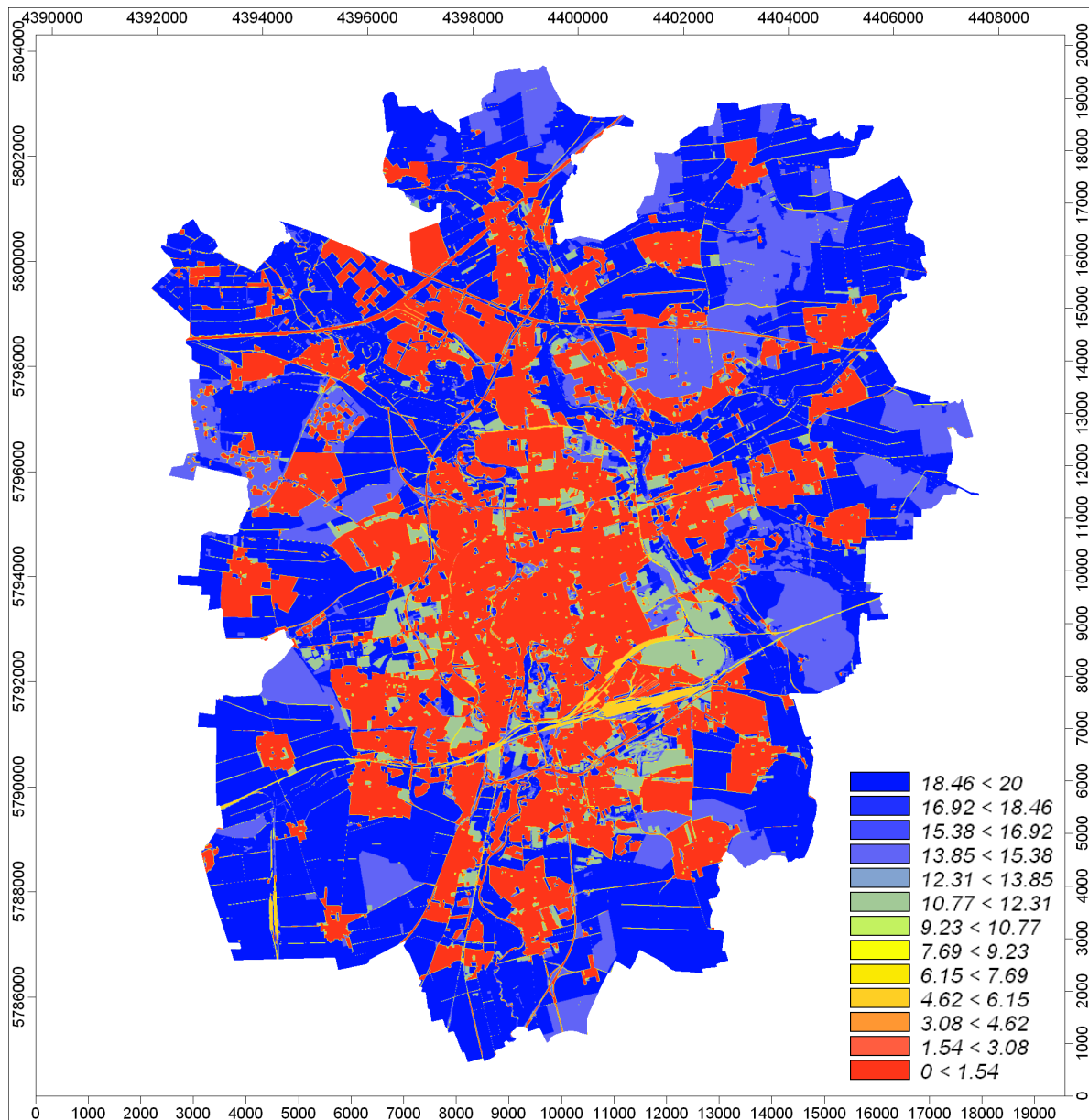
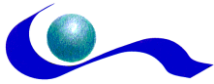


Abbildung 3-12: Kaltluftproduktionspotenzial in $m^3/(m^2h)$

3.5.2 Kaltluftströmung

Als Kaltluftströmung wird in der Umweltmeteorologie im vorliegenden Zusammenhang bodennah gebildete Kaltluft verstanden, die sich in Bewegung gesetzt hat. Eine *Kaltluftströmung* entsteht dann, wenn sich bodennah gebildete Kaltluft in Bewegung setzt. Dies geschieht vornehmlich an geneigten Hängen, da die Kaltluft eine höhere Dichte besitzt („schwerer ist“) und sich daher geländefolgend in Bewegung setzt. Dieses Stadium wird auch als *Kaltluftabfluss* bezeichnet.

Die Intensität dieses Prozesses ist von der Hangneigung, dem Dichteunterschied sowie von Bewuchs und Bebauung abhängig. Die hangparallel wirkende Reibungskraft bremst die abfließende Luft. Die beschriebenen Vorgänge sind bei flachen Hängen mit wenig Höhenunterschied oft instationär, d.h. es kommt vielfach zu "pulsierenden" Kaltluftabflüssen.



Zu Beginn der Nacht sind die lokalen Kaltluftabflüsse meist am intensivsten, da die Abkühlungsrate über freien Flächen am höchsten ist. Später in der Nacht flacht die Abkühlungskurve ab und es wird lokal weniger schnell Kaltluft gebildet.

Da an einem ausreichend langen geneigten Hang von oben kommend immer mehr Kaltluft in den Abfluss mit einbezogen wird, ist die vertikale Mächtigkeit der Kaltluft im oberen Bereich eines Hanges geringer als am Hangfuß.

Aufgrund ihres Bewegungsimpulses bleibt die Kaltluft nicht einfach am Hangfuß „stehen“, wenn sich dort ebenes Gelände anschließt, sondern kann sich aufgrund ihrer Dynamik noch etwas in die Ebene vorschieben. Dabei verliert sie allerdings fortwährend an Impuls, so dass sie nach einer bestimmten Distanz zum stagnieren kommt („liegen bleibt“).

Mehrere solcher hanggebunden Kaltluftabflüsse schließen sich im orographisch gegliedertem Gelände oft zusammen und bilden ein Kaltluftströmungs-System. Aufgrund der Beiträge vieler kaltluftproduzierender Flächen und Hänge können solche Systeme eine z.T. bedeutende vertikale Mächtigkeit erlangen, die es u.U. sogar gestattet, dass einzelne, niedrige Geländestrukturen vollständig überströmt werden. In von Höhenzügen begrenzten Haupttälern können sich so trotz geringer Neigung der Talsohle eindeutig identifizierbare Kaltluftströmungen einstellen. Tritt ein Kaltluftströmungssystem indes in die Ebene hinaus, so verteilt sich die Kaltluft breitflächig, der Impuls nimmt ab und die Reichweite ist begrenzt.

Diese Systeme bleiben relativ stabil, d.h. sie ändern sich zeitlich nur unwesentlich, man spricht auch von „stationären“ Strömungen. Eine Auswertung später in der Nacht bietet folglich ein Bild des in großen Teilen der Nacht maßgeblichen Belüftungssystems.

Aufgrund der geringen Reliefunterschiede im Raum Braunschweig sind lokale Kaltluftabflüsse nicht sonderlich ausgeprägt. Allenfalls am Geitelnder Berg sind spürbare Kaltluftabflüsse möglich. Bei Höhenunterschieden von ca. 50 m sind an den Hängen Kaltluftmächtigkeiten in der Größenordnung 2 bis 3 m zu erwarten. Die Eindringtiefe in besiedelte Bereiche ist bei diesen Kaltluflhöhen sehr gering.

Sowohl die Messungen wie auch größerskalige Modellrechnungen zeigen jedoch, dass bei autochthonen Wetterlagen häufig südliche bis östliche Windrichtungen auftreten. Dies wurde bei den Modellrechnungen als typische Situation für die betrachtete Wetterlage eingestellt.

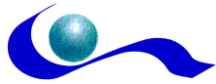
3.5.3 Flurwind

Auch in der Ebene bildet sich unter den im Abschnitt 3.5.2 beschriebenen Bedingungen bodennahe Kaltluft. Wegen des Fehlens einer Geländeneigung wäre sie ohne andere Antriebsmechanismen ortsfest, würde allenfalls ein wenig hin- und her verfrachtet. Solche Zustände werden jedoch nur kurzzeitig beobachtet, oft herrscht auch in der Ebene eine signifikante Kaltluftströmungsrichtung vor.

Ursache für Kaltluftströmungen in der Ebene können 4 Mechanismen sein:

- ein in die Ebene hinein ragendes Kaltluftströmungssystem (s. Abschnitt 3.5.2).
- ein übergeordnetes Regionalwindssystem, das sich ebenfalls bevorzugt bei autochthonen Wetterlagen ausbilden kann.
- das „Mitnehmen durch“ oder das „von oben Durchgreifen“ einer übergeordneten Strömung aufgrund der geringen Schichtdicke der bodennahen Kaltluft.
- der Antrieb durch horizontale Temperaturunterschiede (*Flurwind*).

Zur Ausbildung eines Flurwindes bedarf es einer größeren, zusammenhängenden Zone mit höheren



Temperaturen als im Umland. Dies können größere Siedlungsgebiete, Städte oder auch größere, zusammenhängende Industrieareale sein. Aufgrund geringerer Strömungsgeschwindigkeiten und wegen der Wärmeabgabe aufgeheizter Flächen kommt es zu einer Verlangsamung der nächtlichen Abkühlung. Im Laufe der Nacht bildet sich im Vergleich zum Umland bodennah eine relativ warme Zone aus, die deshalb auch gelegentlich als „Wärmeinsel“ bezeichnet wird.

Diese relativ wärmere Luft hebt sich mit geringer Geschwindigkeit an, was zur Folge hat, dass kühlere Luft aus der Umgebung nachströmt. Dieses Nachströmen wird als Flurwind bezeichnet. Er bildet insbesondere für Großstädte einen wichtigen Belüftungsmechanismus („Wärmeinsel“). Die bodennahe Eindringtiefe der Strömung in einen bebauten Bereich ist allerdings aufgrund der i.a. relativ schwachen Dynamik der Flurwinde und wegen der gebäudeinduzierten Bremswirkung begrenzt. Wenn die bodennahe Kaltluftschicht deutlich mächtiger ist als die Bebauungshöhe, so findet der größte Teil des Belüftungsmechanismus durch Flurwinde eher im Überdachniveau statt.

(Diese Belüftungsfunktion der Flurwinde macht deutlich, weshalb der Begriff „Wärmeinsel“ u.U. irreführend sein kann – es handelt sich dabei nicht zwingend um einen abgeschotteten „Insel“-Bereich, der sich immer weiter und unabhängig von seiner Umgebung aufheizt, sondern der zunächst erforderlich ist, um ein Flurwindssystem anzutreiben, das seinerseits mit seinem Transport kühlerer Luft in die wärmere Zone hinein für eine Belüftung und eine Temperatur-Angleichung sorgt.)

Der Antrieb von Flurwinden ist die (horizontale) Temperatur*differenz*, nicht die absolute Temperatur der Luft. Aus diesem Grund können sich Flurwinde unter den o.g. Bedingungen das gesamte Jahr über in ähnlicher Struktur mit nur leicht variierenden Intensitäten ausbilden.

Flurwinde weisen nur sehr geringe Windgeschwindigkeiten auf. Wenn schwache übergeordnete Winde vorhanden sind, treten Flurwinde kaum noch in Erscheinung. Dies zeigen auch die Windmessungen, die bei Ausbreitungsklasse I (stark stabile Schichtung) kaum zum Stadtkern hin gerichtete Windrichtungen aufweisen.

3.5.4 Strömungssysteme sind dreidimensional

Die Strömungssysteme besitzen oft eine vertikale Mächtigkeit, die ein Vielfaches einer Gebäude- oder Bestandshöhe beträgt. Auf diese Weise können wesentlich Funktionen einer Strömung (Lufttransport, Luftleitbahn) auch im Überdachniveau bzw. oberhalb des Kronenraumes ablaufen.

Je nach Mächtigkeit einer Kaltluft- oder Flurwindströmung findet ein Großteil des Lufttransportes oberhalb der bodennahen Rauigkeitselemente (Bebauung, Bewuchs) statt.

Bei den Auswertungen wurde deshalb auch der Überdachraum berücksichtigt.

4 Modellrechnungen

Mittels Modellrechnungen können abgeleitete Größen, die sich aus den Messungen nicht herleiten lassen, ermittelt werden. Ein weiterer Vorteil der Modelle gegenüber Messungen, die in der Regel nur punktuelle Information liefern, ist die Bereitstellung flächendeckender Informationen.

Im Rahmen der Klimaanalyse wurden thermische Windsysteme (Kaltluftabflüsse, Flurwinde), die sich bei schwachwindigen wolkenarmen Verhältnissen ausbilden, modelliert. Diese Windsysteme führen bei austauscharmen Verhältnissen zu einer Reduktion thermischer wie lufthygienischer Belastungen und sind deshalb erwünscht. Die Relevanz dieser Strömungen ergibt sich aus deren Intensität und deren Häufigkeit des Auftretens. Die Intensitäten der Strömung sowie weitere meteorologische Parameter werden mit dem prognostischen Mesoskalenmodell FITNAH berechnet.

Zur Lokalisierung bioklimatisch belasteter Bereiche wurde ein flächendeckender Bioklima-Index bestimmt. In diese Berechnung fließen ebenfalls FITNAH-Ergebnisse ein.

Zur Lokalisierung lufthygienisch belasteter wurden flächendeckende Ausbreitungsrechnungen durchgeführt. Dabei wurden die Emissionen des Kfz-Verkehrs als wesentliche bodennahe Emittentengruppe berücksichtigt.

Die bodennahe Durchlüftungssituation wird durch Hindernisse (Gebäude, dichte und hohe Vegetation) geprägt. Mit Hilfe eines diagnostischen Modells wurde unter Berücksichtigung der Bebauung und von Waldbeständen ein Durchlüftungspotenzial für die Hauptwindrichtungen und das Jahresmittel berechnet. Diese Information dient u.a. dazu Luftleitbahnen ausfindig zu machen.

4.1 *Das prognostische Simulationsmodell FITNAH*

Das Modell FITNAH wird speziell für die Berechnung lokaler Strömungssysteme eingesetzt. Es kann sowohl die dynamische Strömungsbeeinflussung berechnen (wie z.B. die Kanalisierung von Strömungen durch Geländeformen) als auch thermische Strömungen (Kaltluftabflüsse, Hangaufwinde, Berg-Tal-Wind- und Land-See-Wind-Systeme) simulieren.

Die Modellname FITNAH steht für “**F**low over **I**rregular **T**errain with **N**atural and **A**nthropogenic **H**eat Sources” (siehe Groß, 1991,1993 und Nielinger 1994, 1998,2001).

Die mathematisch formulierten und im Modell numerisch implementierten physikalischen Prozesse ermöglichen es, die Ausbildung von geländebeeinflussten Strömungen sowie die Temperatur- und Verdunstungsabläufe unter Berücksichtigung von Bewuchs und Bebauung realistisch zu berechnen. Das Modell arbeitet mit einem geländefolgenden Koordinatensystem und ist in der Lage, eine ganze Reihe von verschiedenen Landnutzungen mit den jeweils spezifischen Eigenschaften hinsichtlich der Energieumsetzung (z.B. den anthropogenen Wärmestrom, die mittlere Bebauungshöhe usw.) differenziert zu behandeln.

Als so genanntes „nicht-hydrostatisches, prognostisches“ Modell beruht es auf einem voll-dynamischen Strömungskern auf Basis der Gleichungen für alle drei Windkomponenten, sowie auf den Bilanzgleichungen für Temperatur, Feuchte und Turbulenzenergie. Diese (miteinander gekoppelten) Gleichungen werden in kleinen Zeitschritten gelöst, so dass sich die vielfältigen Nicht-Linearen Wechselwirkungen zwischen den unterschiedlichen Topographie-Bereichen, vergleichbar der Natur auch, sukzessive einstellen und der von der Natur erzielte Balancezustand zwischen den unterschiedlichen strömungsbeeinflussenden Effekten realistisch berechnet wird.

Das Modell FITNAH ist vielfach validiert und ist von zahlreichen Fachbehörden als ein adäquates Instrument zur Simulation meteorologischer Phänomene im Bereich der Umweltmeteorologie anerkannt.

4.1.1 Das Rechengebiet von FITNAH

Das Rechengebiet von FITNAH wurde so groß gewählt, dass das gesamte Stadtgebiet von Braunschweig enthalten ist. Es erstreckt sich über 18,0 km in West-Ost- und 21,6 km in Süd-Nord-Richtung (Abbildung 1-1).

Die horizontale Auflösung (Maschenweite) der Simulation beträgt 50 m. Die vertikalen Rechenflächen sind bodennah dicht gestaffelt (0, 5, 15, 21, 28, 36, 45, 55, 66, 78 m usw.). Darüber wurde ihr Abstand von Fläche zu Fläche um etwa 20% vergrößert, insgesamt wurden 30 Rechenflächen bis in eine Höhe von 3.500 m definiert.

Jeder Rechenfläche von 50 m · 50 m wird ein Anteil der Landnutzungen „Wasser“, „Freifläche“, „Bebauung“ und „Bewaldung“ zugeordnet (vergleiche Abbildung 1-2, dargestellt sind die Hauptlandnutzungen, also der Landnutzungstyp, der auf der Fläche prozentual am meisten auftritt.)

Der Landnutzungstyp „Bebauung“ korrespondiert jeweils mit einer mittleren Gebäudehöhe und einem Wert für den anthropogenen Wärmestrom. Dieser wird vertikal abnehmend im Höhenintervall vom Boden bis zur mittleren Bebauungshöhe zur Wirkung auf Bodenenergiebilanz und bodennahe Lufttemperatur angesetzt.

Der Landnutzungstyp „Bewaldung“ wird differenziert nach Laub-, Misch- und Nadelwald und einer mittleren Bestandshöhe.

4.1.2 Detaillierung des Ist-Zustandes

Wie in Abschnitt 3.5.2 beschrieben, wird die Abkühlung der Erdoberfläche (und damit die Bildung bodennaher Kaltluft) durch eine negative Energiebilanz (= Verlust von Energie) verursacht.

In die bodennahe Energiebilanz gehen grundsätzlich folgende Prozesse ein:

- Bodenwärmestrom (Transport von Wärme zur oder von der Erdoberfläche aufgrund höherer bzw. niedrigerer Temperaturen im Erdboden).
- Latenter Wärmestrom (z.B. Wärmeverlust aufgrund Verdunstung von Wasser).
- Fühlbarer Wärmestrom (Wärmeverlust oder -gewinn wegen des Austausches der Oberfläche mit der darüber liegenden Luft).
- Langwellige Ausstrahlung (Wärmeverlust durch Ausstrahlung von Energie aufgrund der Oberflächentemperatur).
- Kurzwellige Einstrahlung (Wärmegewinn durch Einstrahlung tagsüber bei Sonnenschein).
- Langwellige atmosphärische Gegenstrahlung (Wärmegewinn durch langwellige Strahlung von oben, verursacht z.B. durch Wolken und Wasserdampf in der Atmosphäre).

In Waldbeständen kommen langwellige Strahlungsgewinne durch die Bestandselemente hinzu, wobei tagsüber der kurzwellige Strahlungsgewinn an der Erdoberfläche durch Abschattung und nachts der langwellige Strahlungsverlust durch Ausstrahlung gemindert sind.

In bebauten Bereichen kann ein so genannter anthropogener Wärmestrom hinzukommen. Dieser Wärmestrom beschreibt die Energiezufuhr durch vom Menschen und insbesondere seinen Aktivitäten verursachte Energieeinträge (z.B. Gebäudeheizung, Wärmefreisetzung bei industrieller Produktion).

Die Landnutzung ist neben dem Geländemodell die wichtigste Eingangsgröße für die Modellierung. Um die im 50 m-Raster auch kleinräumig stark variierenden Nutzungen und Oberflächeneigenschaften realistisch erfassen zu können, wurde die Landnutzung im Bereich des Stadtgebietes durch aktuel-

le GIS-basierte Realnutzungsdaten der Stadt Braunschweig erfasst. Im weiteren Umfeld wurde auf die Nutzungen des CORINE-Katasters zurückgegriffen.

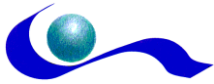
Bei der Detaillierung der Nutzung wurde in Anlehnung an frühere Untersuchungen zum Stadtklima von GEO-NET nach den in Tabelle 4-1 gelisteten 13 Kategorien differenziert (zu beachten ist, dass es sich bei den Eigenschaften um typische mittlere Werte handelt).

Tabelle 4-1: Kategorien zur Detaillierung der Landnutzung im Stadtgebiet.

Kennung	Bezeichnung	Eigenschaften
0	Straßen	Versiegelungsgrad 95%, mittlere Struktur-Höhe 0,0 bis 0,5 m, Anthropogener Wärmestrom 0,5 W/m ²
1	Bebauung Zentrum, Stadtteilzentrum	Versiegelungsgrad 95%, mittlere Struktur-Höhe 25 m, Anthropogener Wärmestrom 20 W/m ²
2	Block- und Blockrandbebauung	Versiegelungsgrad 78%, mittlere Struktur-Höhe 15 m, Anthropogener Wärmestrom 15 W/m ²
3	Industrie- und Gewerbefläche	Versiegelungsgrad 87%, mittlere Struktur-Höhe 12,5 m, Anthropogener Wärmestrom 30 W/m ²
4	Zeilen- und Hochhausbebauung	Versiegelungsgrad 55%, mittlere Struktur-Höhe 20 m, Anthropogener Wärmestrom 15 W/m ²
5	Einzel- und Reihenhausbebauung	Versiegelungsgrad 41%, mittlere Struktur-Höhe 7 m, Anthropogener Wärmestrom 5 W/m ²
6	Asphaltierte Flächen, Parkplätze	Versiegelungsgrad 95%, mittlere Struktur-Höhe 0,0 bis 0,5 m, Anthropogener Wärmestrom 0,5 W/m ²
7	Schienenverkehrsflächen	Versiegelungsgrad 25%, mittlere Struktur-Höhe 0,0 bis 0,5 m, Anthropogener Wärmestrom 0,5 W/m ²
8	Kleingärten, Sportplätze u.ä.	Versiegelungsgrad 10%, Waldanteil 15%, mittlere Bewuchshöhe 10 m, Anthropogener Wärmestrom 0,5 W/m ²
9	Wiesen, landwirtschaftliche Nutzflächen	100% Freifläche
10	Gehölz, Garten, Obstbau	Waldanteil 25%, mittlere Bewuchshöhe 3 m,
11	Wald	Waldanteil 95%, mittlere Bewuchshöhe 12,5 m, Typ Mischwald
12	Gewässer	100% Wasser

4.1.3 Meteorologische Situation und Anfangszustand

Die Durchführung der Strömungssimulation mit 50 m Auflösung für das gesamte Stadtgebiet erlaubte es aus rechenzeitökonomischen Gründen nicht, das Berechnungsgebiet weit über die Stadtgrenzen hinaus auszudehnen. Dies ist aber im Grunde erforderlich, um auch die Effekte der Geländestrukturen zu erfassen, die jenseits der Stadtgrenze liegen, aber u.U. in das Stadtgebiet bzw. dessen Randbereiche hinein wirken.



Hilfsweise wurde deshalb vor der eigentlichen Strömungssimulation mit 50 m Auflösung im Stadtgebiet eine vergleichbare Berechnung in einem deutlich größeren Rechengebiet mit 250 m Auflösung durchgeführt. Das Berechnungsgebiet erstreckte sich über 36 km · 36 km mit dem Stadtgebiet im Zentrum. Mit ihm konnten insbesondere die Höhenzüge südlich und südöstlich des Stadtgebietes und ihr Einfluss auf die Strömung erfasst werden (z.B. das Westende des Elm, die flachen Höhenzüge der Asse, des Oderwaldes oder des Herzbergs bei Gebhardshagen).

Identifizierbare Einflüsse von lokalen Kaltluftabflüssen aus dem Nordharz dürften kaum über Salzgitter hinaus reichen und können im Stadtgebiet von Braunschweig mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. Daher war es nicht erforderlich, das Modellgebiet bis zum Harzrand auszudehnen.

Die Berechnung hat aber auch gezeigt, dass sich in einer solchen Strahlungsnacht großräumig eine schwache, regionale Süd-Südost-Strömung über dem Stadtgebiet von Braunschweig einstellt.

Daher wurde für die hoch auflösende Simulation im Stadtgebiet mit 50 m Maschenweite ein Druckfeld vorgegeben, das schwache Luftdruckgegensätze (Gradienten) aufweist und abgebildet wird durch einen (übergeordneten) geostrophischen Wind aus Süd mit 0,5 m/s. Aufgrund der reibungsbedingten Winddrehung in Bodennähe führt diese Vorgabe zu den zuvor ermittelten schwachen süd-südöstlichen Strömungen über dem Stadtgebiet.

Die Simulation wurde für einen typischen Sommertag durchgeführt (01. August), die Sonnenuntergangs- und -Aufgangszeiten waren 19:30 und 4:30 Uhr (wahre Ortszeit, die Sonne steht dabei um 12:00 Uhr im Zenit).

Die Berechnung wurde um 15:00 Uhr gestartet, damit sich die zu berechnenden meteorologischen Größen noch vor dem Beginn der Abkühlung in Wechselwirkung mit Geländestrukturen und Landnutzung ausbalanciert und in sich konsistent einstellen können (Einschwingphase, meist ca. 1 simulierte Stunde).

Das Modell benötigt während der Simulation keine weiteren Eingaben von außen, alle Größen werden in Balance miteinander konsistent und fortwährend modellintern berechnet. Allerdings muss ein Anfangszustand vorgegeben werden (bezogen auf die Startzeit 15:00 Uhr):

- Zu Beginn ebenes Gelände, Übergang zu den tatsächlichen Geländehöhen innerhalb der ersten 5 Minuten der Simulationszeit (Diastrophie-Phase).
- Temperatur der Erdoberfläche über freiem Feld 25°C, in überwiegend dicht bebauten städtischen Strukturen um bis zu 4 K wärmer (max. 29°C), je nach Versiegelungsgrad auf einer 50 m · 50 m großen Fläche, in Waldbeständen je nach Dichte des Bestandes um bis zu 2 K kälter (minimal 23°C)
- Konstante Boden-Temperatur in 1 m Tiefe 15°C.
- Temperaturgradient mit der Höhe leicht stabil (Standard-Atmosphäre), Höhe der Mischungsschicht zu Beginn 1.100 m über Grund.
- Relative Feuchte in Bodennähe 60%.
- Keine Wolken (Bedeckungsgrad 0/8).

Die Aktualisierung der Berechnung des Schattenwurfes erfolgte bei Sonnenständen über dem Horizont alle 5 Minuten, die Aktualisierung der Berechnung der langwelligen Strahlungsströme (Divergenzen) alle 10 Minuten.

4.1.4 Quantitative Auswertung der Ergebnisse

Die Auswertung der *Bodentemperatur* erfolgte für die Standardmesshöhe in *2 m über Grund*. Zu beachten ist, dass diese Temperatur im Wald innerhalb des Bestandes und in bebauten Bereichen innerhalb der urbanen Strukturen ebenfalls in 2 m über Grund gelten.

Die *Oberflächentemperaturen* beziehen sich auf die Erdoberfläche im Modell. Diese entspricht überall der Geländehöhe (die Effekte von Bebauung und Bewuchs, die oberhalb des Erdbodens bis zur mittleren Höhe der Bebauung bzw. zur Höhe des Bestandes wirken, werden in parametrisierter Form berechnet). Die Oberflächentemperatur ist also z.B. im Wald für den Waldboden gültig, in bebauten Strukturen für das Straßenniveau.

Die *bodennahen Windverhältnisse* stehen stellvertretend für die untersten 10 m des Rechengebietes und wurden in einer Höhe von *5 m über Grund* ausgewiesen. Sie werden in bebautem Gebiet und in Waldbeständen unter Berücksichtigung von deren Hinderniswirkung auf die Strömung berechnet. Da es sich um einen Mittelwert für 50 m • 50 m große Teilflächen handelt und zur Mittelbildung der Versiegelungsgrad bzw. die Bestandsdichte mit zu berücksichtigen sind ist im Bereich dichter Strukturen insbesondere der Mittelwert der Windgeschwindigkeit oft vergleichsweise niedrig.

Der *10-m-Wind* wurde ausgewiesen, weil 10 m über Grund die Standardmesshöhe für Windrichtung und Windgeschwindigkeit ist. Je nach Bebauungs-Typ und Bewuchsform liegt diese Höhe bereits knapp über den Strömungshindernissen, wird aber dennoch von diesen beeinflusst.

Der *Wind im Überdachniveau* wird für eine Höhe von 28 m über Grund ausgewiesen. Diese Höhe wurde gewählt, weil die höchsten Bebauungsstrukturen im Modell bis auf eine mittlere Höhe von 25 m hinauf ragen (vergl. Tabelle 4-1). Bei Kaltluftströmungen, die vertikale Mächtigkeiten von 50 m oder mehr erreichen, erfolgt ein der größte Teil des Lufttransportes im Überdachniveau. Daher ist es wichtig, diese Strömungsverhältnisse zu kennen. In urbanen Zentren und über ausgedehnten Industriegebieten kann diese Strömung aufgrund des Wärmeinsel-Effektes (langsames Aufsteigen wärmerer Luft) selbst im Überdachniveau zum Erliegen kommen.

Die *Volumenströme*, ausgedrückt in m^3/s , wurden als Integral der Strömungsgeschwindigkeit zwischen zwei Höhen z_1 und z_2 , multipliziert mit der horizontalen Maschenweite, berechnet. Die Luftdichte wurde dabei in diesen bodennahen Bereichen in erster Näherung als konstant angenommen. Die Angabe des Volumenstromes bezieht sich auf die einzelne Zelle (50 m x 50 m) und für den Höhenbereich z_1 bis z_2 .

Die Volumenströme wurden differenziert ausgewertet für die Höhenniveaus

- 0 m bis 10 m über Grund (bodennahe Volumenströme innerhalb der Landnutzungsstrukturen)
- 10 m bis 25 (Volumenströme im oberen Teil der Nutzungsstrukturen bis zum Überdachniveau)
- 0 m bis 25 m über Grund (Gesamt-Volumenstrom vom Boden bis ins Überdachniveau)

Sie wurden sowohl als die rechnerisch skalare Größe ausgegeben als auch als vektorielle Information. Während erstere meist klassifiziert und entsprechend der Größe des Wertes eingefärbt werden, können vektorielle Daten als Pfeile dargestellt werden. Die Länge des Pfeiles ist dann ein Maß z.B. für den Volumenstrom und die Pfeilrichtung gibt die Strömungsrichtung an.

Aus Darstellungen (z.B. der Temperatur), die sich auf Mittelwerte über das gesamte Berechnungs-/Stadt-Gebiet beziehen, ist ersichtlich, welche Zonen relativ hohe und welche Zonen relativ niedrige Abweichungen zu den mittleren Verhältnissen aufweisen. Je nach betrachteter Größe lassen sich daraus wertvolle Schlüsse zur Sensibilität bestimmter Zonen gewinnen.

Exemplarisch ist in Abbildung 4-1 der Volumenstrom farbig und die Windrichtung im Dachniveau mittels eines Vektorfeldes dargestellt. Man erkennt an den Pfeilen die großräumige Südostströmung, die Farbgebung ergibt die Zuordnung der Intensität der Strömung. Im GIS können die Informationen im Detail abgefragt werden. Die Grafik soll lediglich einen Überblick vermitteln.

Die berechnete Lufttemperatur in 2 m über Grund für den Termin 21:00 Uhr ist stellvertretend in Abbildung 4-2 dargestellt. Man erkennt die im Vergleich zum Umland wärmeren Siedlungsflächen. Auch die höheren Lagen sind warm. Dies ist auf die sich ausbildende Bodeninversion (Temperaturzunahme mit der Höhe) zurückzuführen.

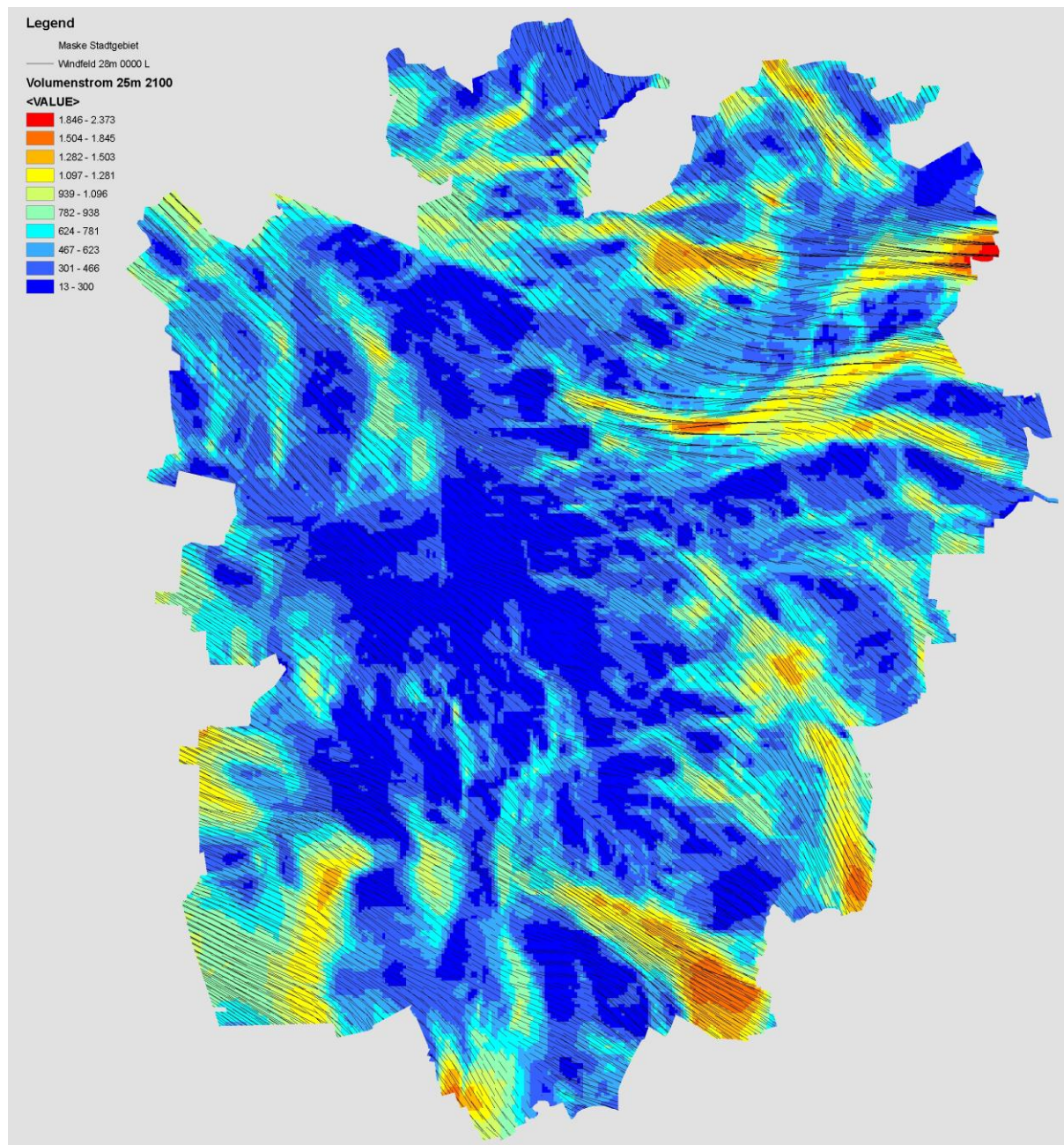


Abbildung 4-1: Berechnete Volumenströme (farbig) und Windrichtungen um 21:00 Uhr im Dachniveau

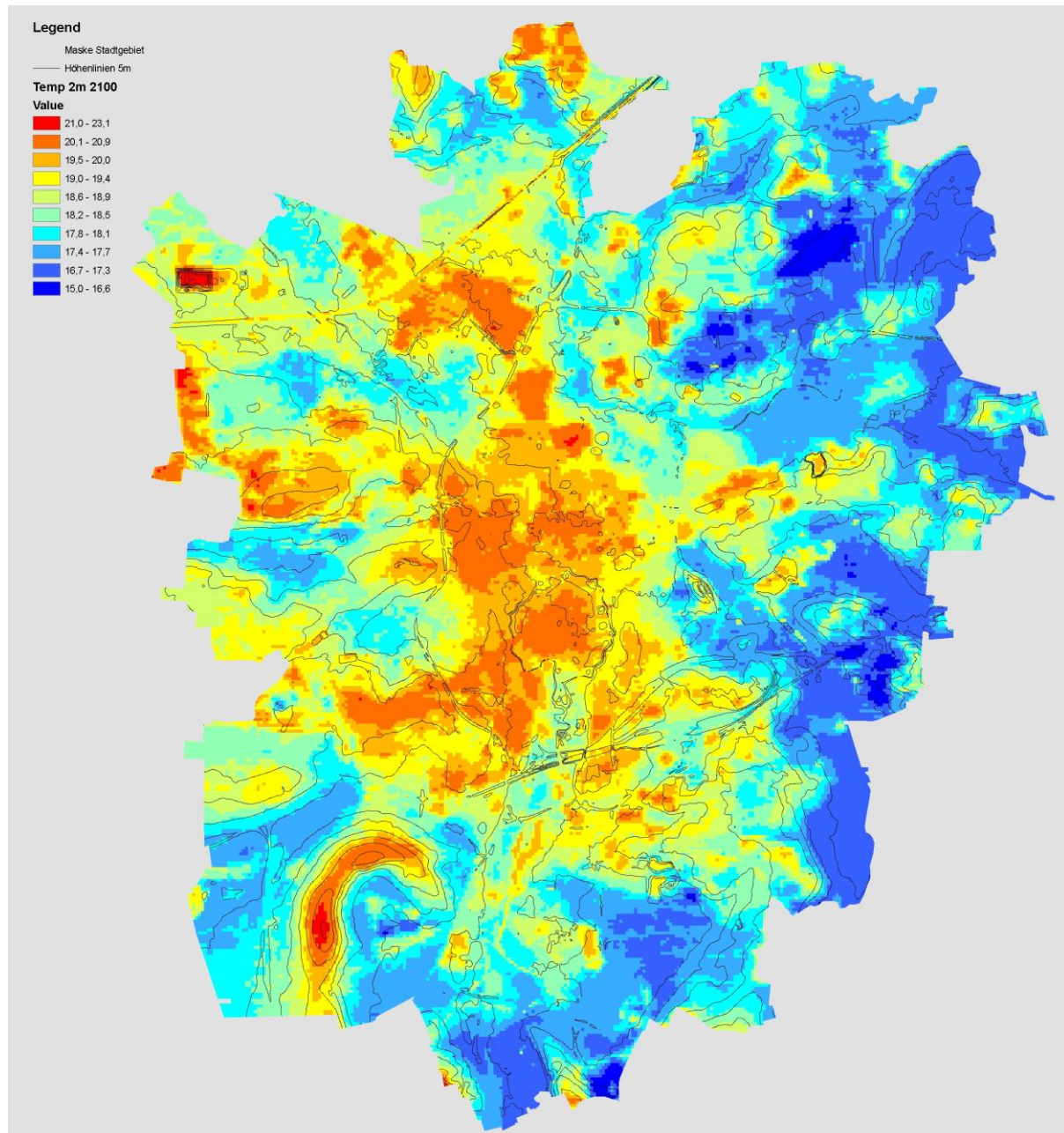


Abbildung 4-2: Berechnete Lufttemperaturen in 2 m über Grund um 21:00 Uhr

4.2 Kartierung der bodennahen Durchlüftungsverhältnisse

Eine gute Durchlüftung bewirkt einen effizienten Abtransport bodennah freigesetzter Schadstoffe (z.B. Emissionen durch den Kfz-Verkehr) oder mindert thermische Belastungen. Abhängig von der Bebauungsstruktur, den Gebäudehöhen und der Vegetation wird die Windgeschwindigkeit im Stadtgebiet mehr oder weniger stark abgebremst. Dies zeigt sich auch bei der Messung im Altewiekring, die mit 0,9 m/s im Jahresmittel deutlich unter den 3,4 m/s der ungestörten Messstelle am Flughafen (vgl. Kapitel 3.1.6).

Hindernisse beeinflussen die Strömung bodennah in komplexer Weise. Es bilden sich Rotoren und

Wirbel (siehe Abbildung 4-3). In Straßenschluchten mit geringem Lückenanteil erfolgt der Luftaustausch durch Wirbel mit horizontaler Achse, die durch die Überdachströmung angetrieben werden. An Ecken stellen sich dagegen meist Wirbel mit vertikaler Achse ein.

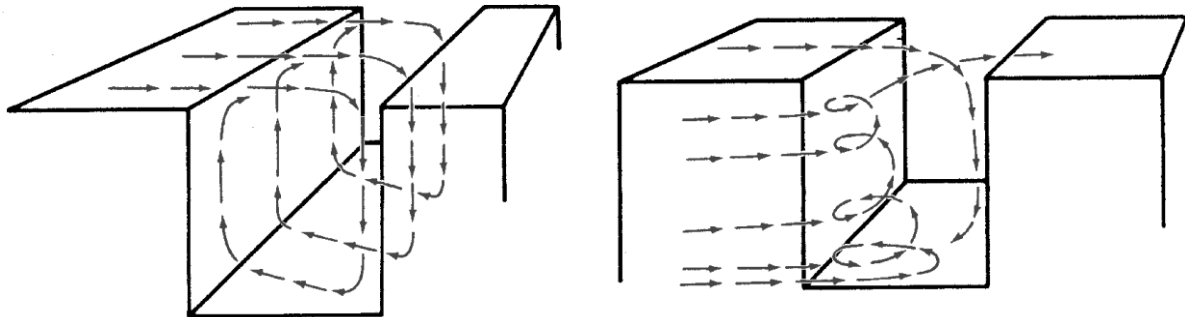


Abbildung 4-3: von der Überdachströmung angetriebener Rotor in Straßenschlucht (links) und durch Horizontalkomponenten angetriebener Eckenwirbel (rechts)

Die resultierende turbulente Strömung weist im Allgemeinen geringere Windgeschwindigkeiten auf als eine ungestörte Strömung. Die Reduktion der Windgeschwindigkeit auf der Leeseite von Hindernissen (Gebäude, Wälder) wird mit Hilfe von Ansätzen berechnet, die von Hosker (1984) im Windkanal ermittelt wurden. Je größer die Ausdehnung des Hindernisses quer zur Windrichtung ist, umso stärker ist die Abnahme der Windgeschwindigkeit in Lee. Daneben spielt die Höhe und „Porosität“³ der Hindernisse eine Rolle.

Die Modellierung umfasst einen 15,0 km · 17,7 km großen Ausschnitt aus dem Gesamtgebiet. Die räumliche Auflösung beträgt 12,5 m. Als Bezugshöhen wurden 1,5 m und 15 m über Grund angesetzt.

Eingangsdaten in die Modellierung sind:

- das digitale Gebäudemodell der Stadt Braunschweig
- die Nutzungskartierung (Wald)

Die Durchlüftungsanalyse wurde für folgende Situationen durchgeführt:

- ein Fall, der einer mittleren nächtlichen Situation mit Kaltluftabflüssen entspricht (Südostströmung)
- und ein Fall, der repräsentativ für die Tagsituation bei autochthonen Wetterlagen ist (Nordwestströmung)
- die mittlere jährliche Situation auf der Basis der am Wetteramt gemessenen Windstatistik

Als Durchlüftungsmaß ist der Anteil der Strömungsgeschwindigkeit im Verhältnis zur ungestörten Strömung (wie sie beispielsweise über einer Wiese auftritt) ausgewiesen. Werte nahe 1 kennzeichnen ein gutes Durchlüftungspotenzial, Werte kleiner als 0,5 findet man in Gebieten, in denen die Strömung durch Hinderniseinflüsse deutlich reduziert ist.

Abbildung 4-4 zeigt exemplarisch in einem Ausschnitt die berechneten bodennahen Belüftungsverhältnisse des Braunschweiger Stadtkerns. Die hellgelben bis weißen Farben kennzeichnen Bereiche, in denen die mittlere Windgeschwindigkeit gegenüber dem Umland nur wenig reduziert ist. Sie beträgt dort mehr als das 0,9-fache der ungestörten Windgeschwindigkeit. In den gelben und roten Gebieten

³ Grad der Winddurchlässigkeit von Hindernissen wie Bäume oder Buschwerk.

ist die Strömungsgeschwindigkeit durch Düsen- und Eckeneffekte leicht erhöht. Solche Zonen findet man im Jahresmittel jedoch kaum. In den blauen Bereichen beträgt die Windgeschwindigkeit weniger als das 0,5-fache der ungestörten Anströmung.

Potenziell schlecht durchlüftet sind dicht bebaute Areale. Gut durchlüftet sind dagegen hindernisarme Bereiche (z.B. Okeraue). Es ist allerdings zu bedenken, dass in die Simulation nur Gebäude und Waldgebiete eingeflossen sind – einzelne Bäume, Hecken usw. aber nicht berücksichtigt wurden.

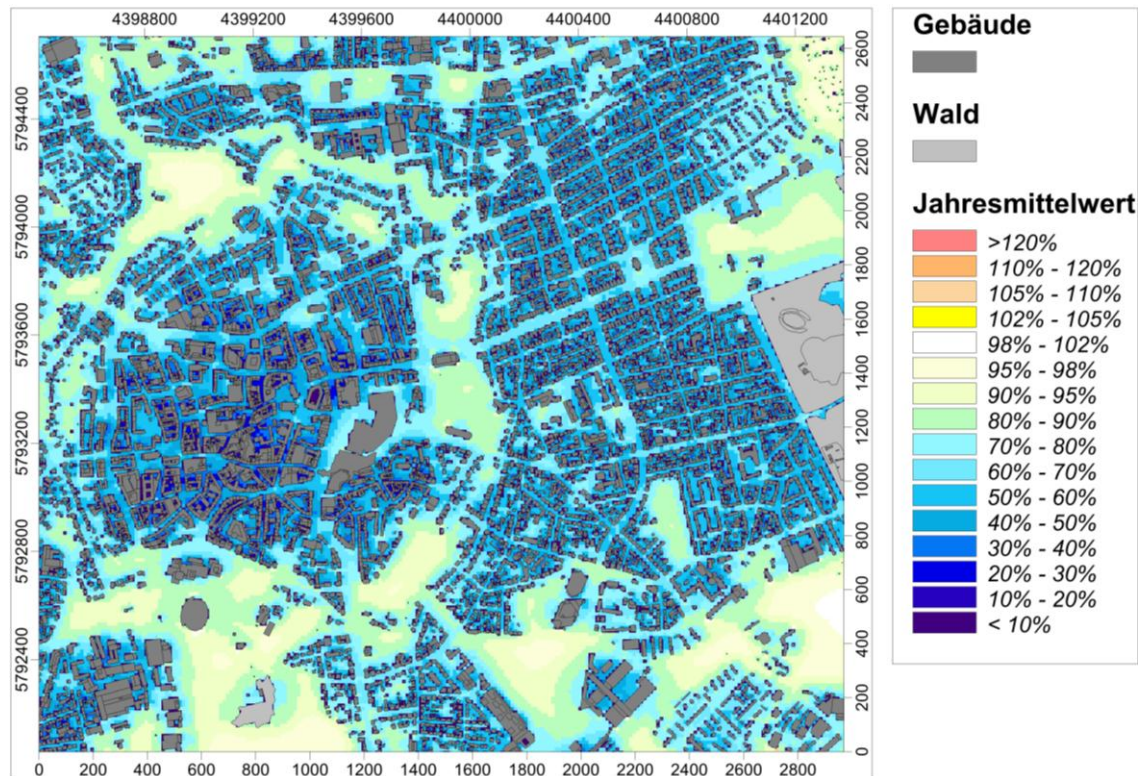


Abbildung 4-4: Durchlüftungspotenzial des Stadtkerns im Jahresmittel

4.2.1 Durchlüftungspotenzial bei Südostströmung

Winde aus östlicher bis südöstlicher Richtung treten vor allem in den Nachtstunden bei autochthonen Wetterlagen auf. Gerade bei diesen Windrichtungen mit vergleichsweise geringen Windgeschwindigkeiten, sind hindernisarme Bereiche, die ein bodennahes Eindringen der Strömung ermöglicht, von Bedeutung. Die berechneten Verhältnisse sind in Abbildung 4-5 dargestellt.

Hohe Geschwindigkeitsreduktionen gibt es in den Waldgebieten, die pauschal auf 20% der ungestörten Strömung gesetzt wurden. Der Stadtkern weist aufgrund der dichten Bebauung bodennah ebenfalls hohe Reduktionsfaktoren, d.h. ein geringes Durchlüftungsmaß auf. Vergleichbare Verhältnisse findet man auch in den Gewerbe-/Industriegebieten.

Größere Freiflächen weisen ein hohes Durchlüftungspotenzial auf.

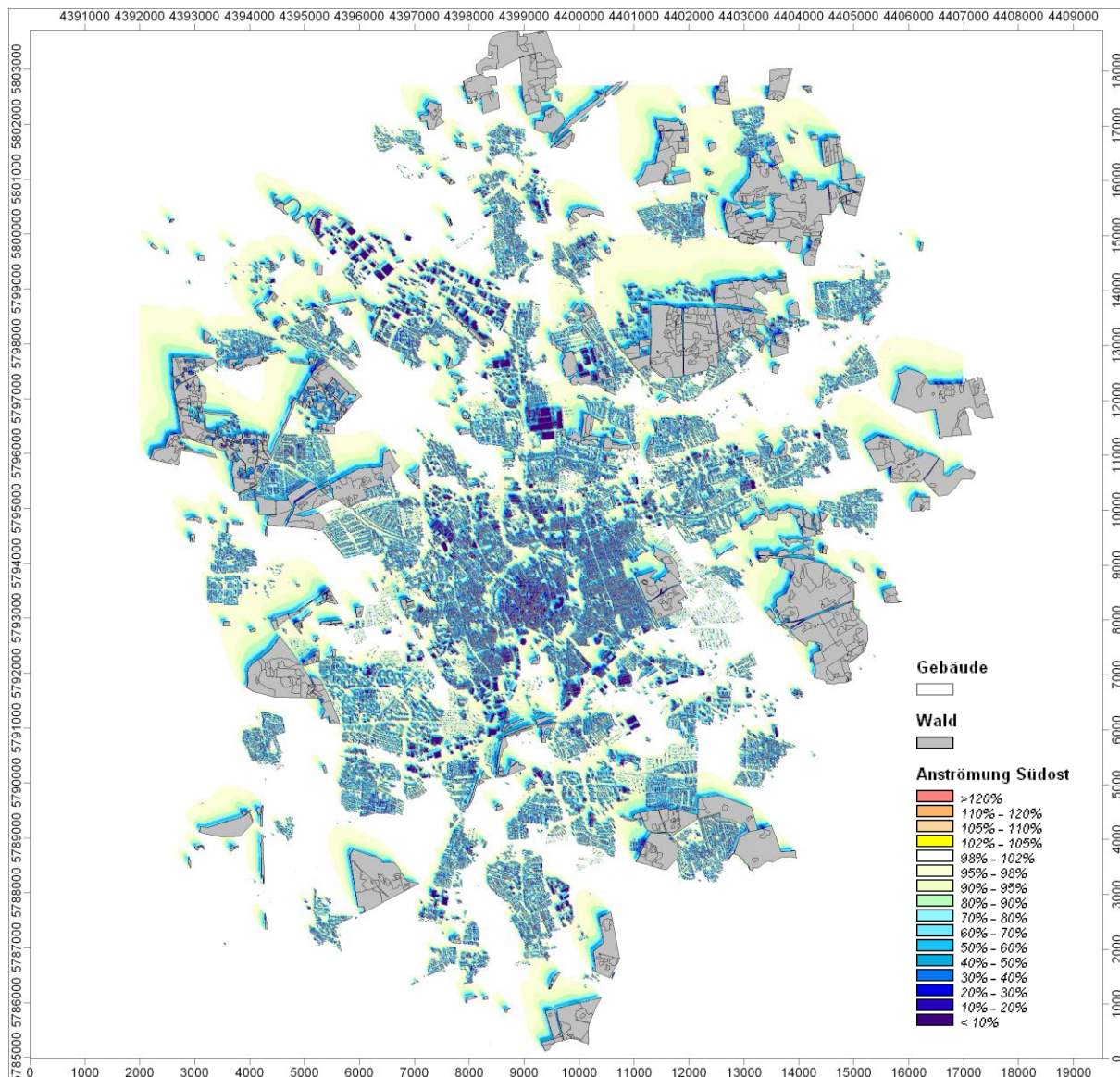


Abbildung 4-5: Durchlüftungspotenzial bei Südostanströmung

4.2.2 Durchlüftungspotenzial bei Westwind

Winde aus dieser Richtung bewirken aufgrund ihrer meist hohen Windgeschwindigkeiten eine gute Durchlüftung, auch in Bereichen mit abschirmender Wirkung der Gebäude.

Auch hier sind die dicht besiedelten Gebiete relativ windschwach.

Im Gegensatz zur Südostanströmung ergeben sich andere Freiräume, die bodennah eine gute Durchlüftung aufweisen (z.B. das Güterbahnhofsareal).

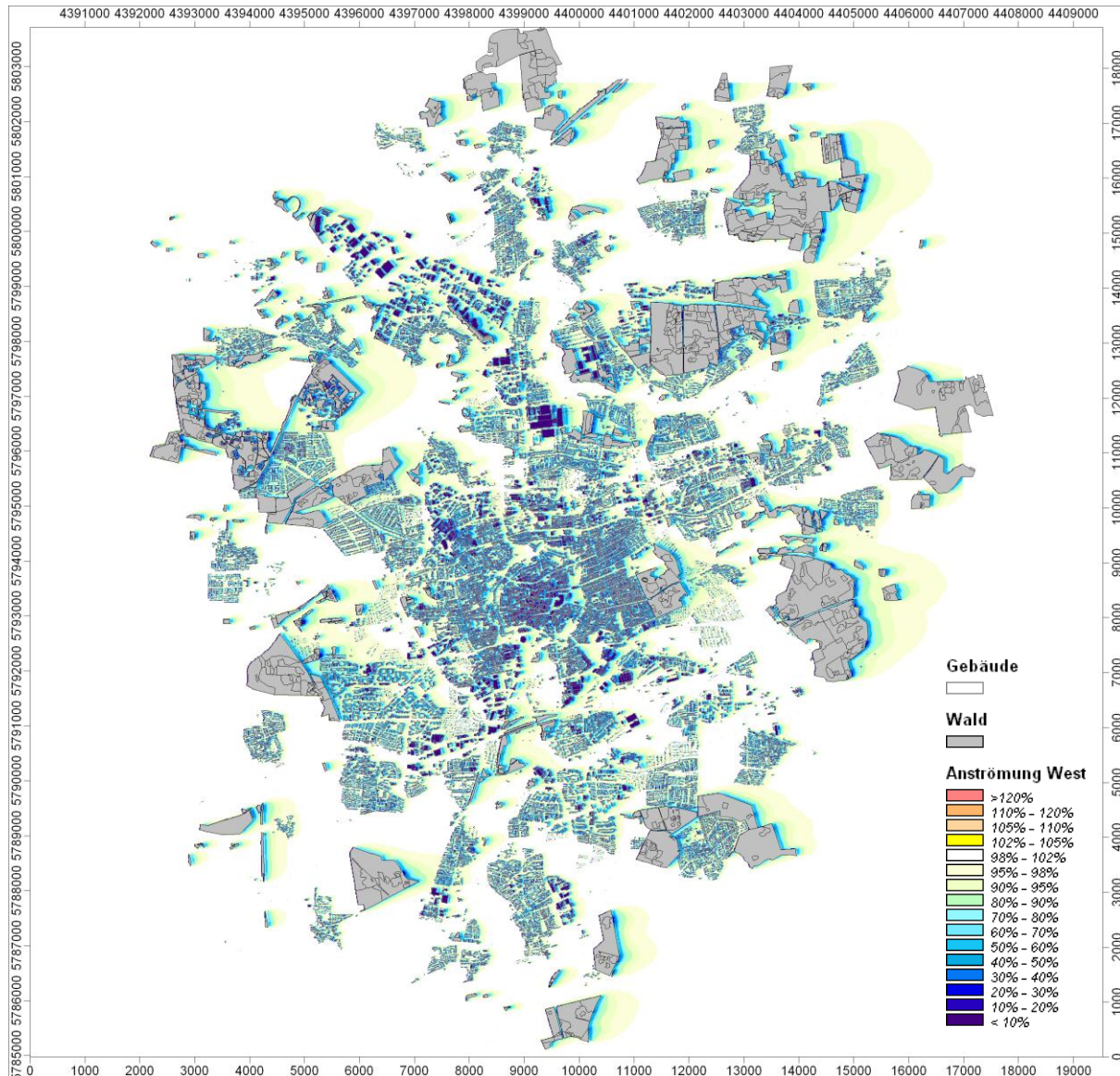


Abbildung 4-6: Durchlüftungspotenzial bei Westanströmung

4.2.3 Durchlüftungspotenzial im Jahresmittel

Mittelt man über alle Windrichtungen und gewichtet das Durchlüftungsmaß entsprechend der Häufigkeit jeder Windrichtung (Bezug Messstelle Flughafen), so erhält man das in Abbildung 4-7 dargestellte Durchlüftungspotenzial.

Hier zeigen sich die innerstädtischen dicht bebauten Areale und Teile der Gewerbe-/Industriegebiete als ungünstig für die bodennahe Durchlüftung. Stadtteile mit aufgelockerter oder überwiegend niedriger Bebauung lassen den Wind deutlich besser eindringen.

Zusammenhängende größere Flächen mit ungestörter Durchlüftung findet man nur noch am Stadtrand oder außerhalb der Stadt.

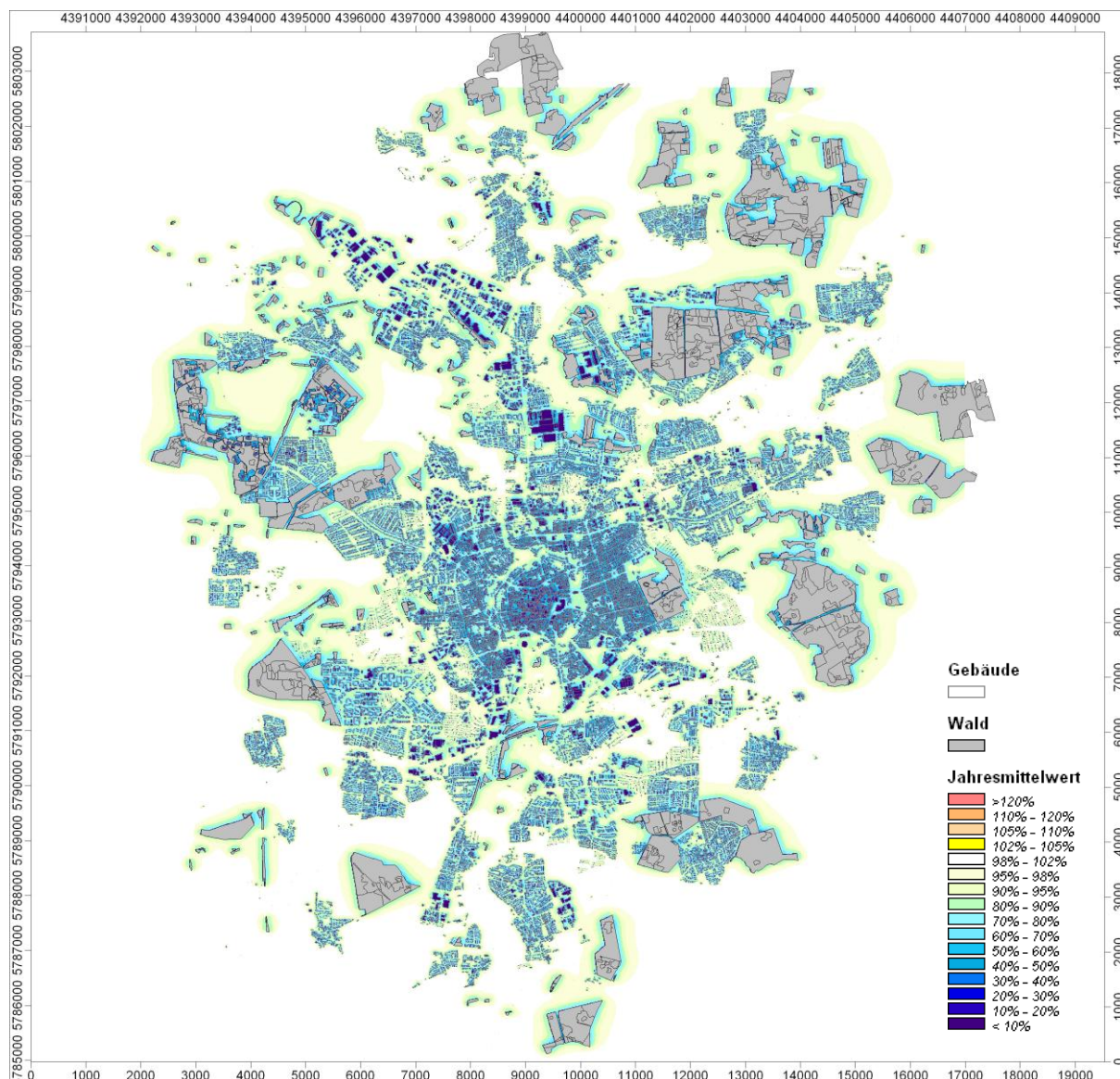


Abbildung 4-7: Durchlüftungspotenzial im Jahresmittel

4.3 Humanbiometeorologische Bewertung der thermischen Komponente des Stadtklimas

Das physiologische Wärmeempfinden des Menschen wird nicht nur von der Lufttemperatur, sondern von den Einstrahlungsbedingungen (tages- und jahreszeitenabhängige Sonneneinstrahlung, Schattwurf, langwellige Wärmestrahlung der Gebäude), der Windgeschwindigkeit, der Luftfeuchte, der Bekleidung und der Tätigkeit beeinflusst. In der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2 werden Berechnungsvorschriften für bioklimatische Indices definiert, die die thermische Situation eines Menschen in seiner Umwelt beschreiben.

In Abbildung 4-8 sind die Energieflüsse skizziert, die eine wesentliche Eingangsgröße darstellen.

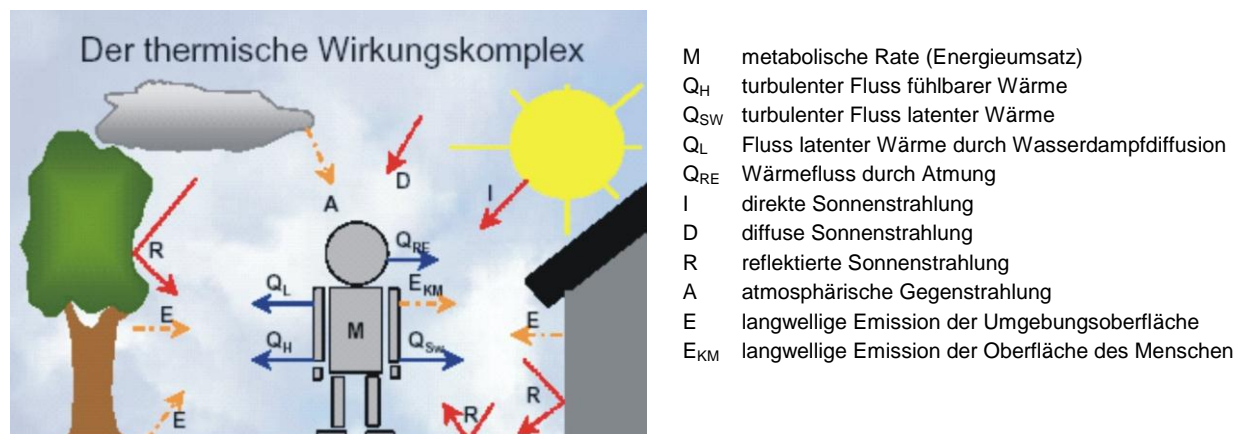


Abbildung 4-8: Der Wärmeaustausch des Menschen mit seiner Umgebung (nach VDI 3787 Blatt 2).

Charakteristisch für das Stadtklima sind Wärmebelastungen bis hin zum Hitzestress. Kältereiz spielt beim Stadtklima vor dem Hintergrund der urbanen Wärmeinsel eine untergeordnete Rolle. Wärmebelastungen treten insbesondere tagsüber in den Nachmittagsstunden auf. Aufgrund des Tagesgangs der Lufttemperatur und dem Fehlen der kurzwelligen Strahlung sind die nächtlichen Wärmebelastungen im Freien deutlich geringer.

Bei Perioden mit anhaltender Hitze (wie z.B. im Sommer 2003) heizen sich die Gebäude tagsüber so sehr auf, dass nachts – trotz Lüftens – die Lufttemperatur in den Wohnräumen oftmals deutlich über der Lufttemperatur außen liegt. Dadurch wird vor allem ein erholsamer Schlaf beeinträchtigt.

Beim Vergleich der beiden bioklimatischen Belastungsfaktoren Kältestress und Wärmebelastung ist zu beachten, dass eine Anpassung an extreme Kälte durch geeignete Kleidung und Verhaltensanpassung besser möglich ist als eine Anpassung an Wärmebelastung. Deswegen liegt bei dieser Untersuchung der Fokus auch auf Situationen, in denen Wärmebelastung auftreten kann.

4.3.1 Ermittlung der PMV-Werte

Zur Beschreibung der thermischen Behaglichkeit kann der PMV-Wert (**P**redicted **M**ean **V**ote) herangezogen werden. Er wird detailliert in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 beschrieben. Neben meteorologischen Faktoren hängt der PMV-Wert noch von den personenbezogenen Größen „Bekleidung“ (steuert den Wärmedurchgangswiderstand der Bekleidung) und „Aktivität“ (steuert die metabolische Rate M und den Energieumsatz infolge mechanischer Leistung) ab.

Zur Bestimmung von PMV werden folgende meteorologischen und thermo-physiologischen Parameter benötigt:

- Lufttemperatur T_a in °C,
- Dampfdruck VP in hPa,
- Windgeschwindigkeit v in m/s,
- Mittlere Strahlungstemperatur T_{mrt} in °C,
- Aktivität des Menschen in W sowie
- Bekleidung des Menschen in clo.

Als Maßstab wird eine männliche Person von 35 Jahren, einem Gewicht von 75 kg und einer Körpergröße von 1,75 m genommen. Bei den Berechnungen wurde von einer Fortbewegungsgeschwindigkeit von 0,3 m/s („Bummeln“) von einem Wärmedurchgangswiderstand von 0,5 Km^2/W (leichte Sommerkleidung) ausgegangen. Für andere personenbezogene Größen und Fortbewegungsgeschwindigkeiten wie z.B. schnelles Laufen oder längeres Sitzen, ergeben sich andere PMV-Werte.

Eine Bewertungsskala ist in Tabelle 4-2 dargestellt. Ein Wert von 0 zeigt behagliche Verhältnisse an, d.h. der Temperaturhaushalt ist ausgeglichen. Werte kleiner 0 kennzeichnen eine Kältebelastung, Werte größer 0 eine Wärmebelastung an. Extreme Belastungen treten bei Werten unter .3 bzw. über +3 auf.

Tabelle 4-2: PMV und thermisches Empfinden

PMV	Thermisches Empfinden	Belastungsstufe	Biologische Wirkung
-3,5	sehr kalt	Extrem	Kältestress
-2,5	kalt	Stark	
-1,5	kühl	Mäßig	keine
-0,5	leicht kühl	Schwach	
0,0	behaglich	Keine	
0,5	leicht warm	Schwach	Wärmebelastung
1,5	warm	Mäßig	
2,5	heiß	Stark	
3,5	sehr heiß	Extrem	

Im Unterschied zur Betrachtung der Oberflächentemperaturen spielt bei den Strahlungsströmen die direkte Sonnenstrahlung eine wesentliche Rolle für das thermische Befinden. Folglich haben auch hier die Unterschiede zwischen besonnten und verschatteten Bereichen sehr viel größeren Einfluss als das unterschiedliche Wärmeverhalten der verschiedenen Oberflächen.

Die lang- und kurzwelligigen Strahlungsströme werden über die mittlere Strahlungstemperatur (T_{mrt}) parametrisiert. Im urbanen Raum wird zur Berechnung von T_{mrt} die Abschirmung von direkter Sonnenstrahlung und diffuser Himmelsstrahlung durch das Relief, die Bebauung und die Vegetation benötigt. Mikroskalige Modelle lösen diese Hindernisstrukturen auf, so dass „sky view factor“ (Anteil des sichtbaren Firmaments) und die verbleibenden Anteile der Strahlungsströme detailliert berechnet werden können. Die in FITNAH verwendete Auflösung von 50 m erlaubt keine hindernisfeine Betrachtung. Die mittlere Strahlungstemperatur kann deshalb nicht detailliert berechnet werden. Die Strahlungstemperatur wurde deshalb flächendeckend einmal für einen verschatteten Bereich und einmal für einen besonnten Bereich berechnet. Die Strahlungstemperatur T_{mrt} wurde mit Hilfe des Programms Rayman (Matzerakis) für einen besonnten und einen verschatteten Bereich in einer Straßenschlucht abgeschätzt. Für die verschattete Situation ergibt sich ein T_{mrt} von 5°C, für die besonnte Situation von 21°C.

4.3.2 Ergebnisse der PMV-Berechnung

Für die Untersuchung wurde eine typische Sommersituation betrachtet, nämlich der 15:00 Uhr Termin am 1. August.

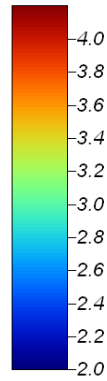
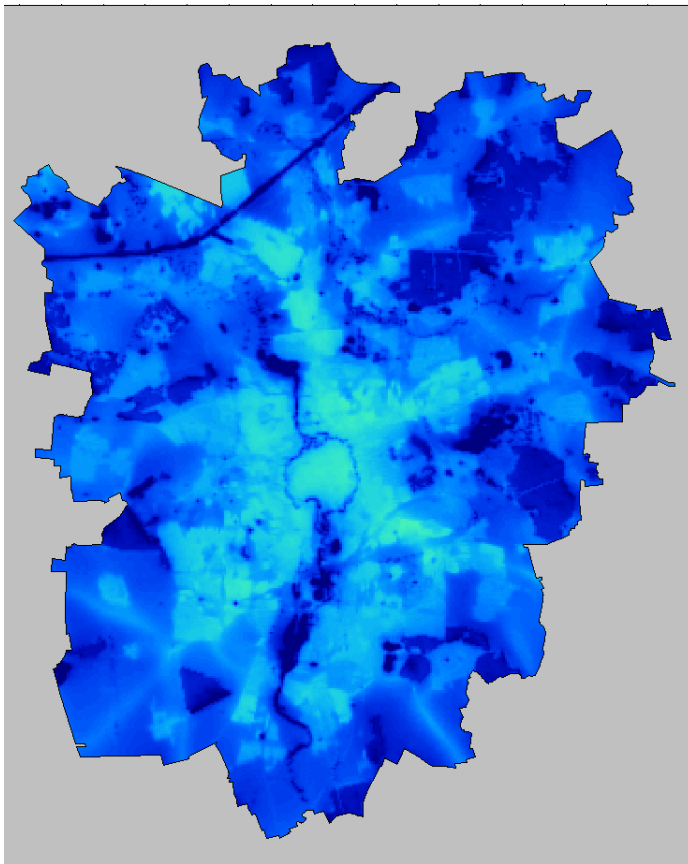
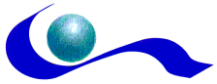


Abbildung 4-9: PMV am 1. August 15:00 Uhr,
Standort im Schatten

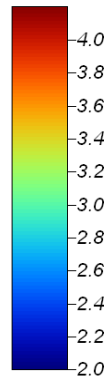
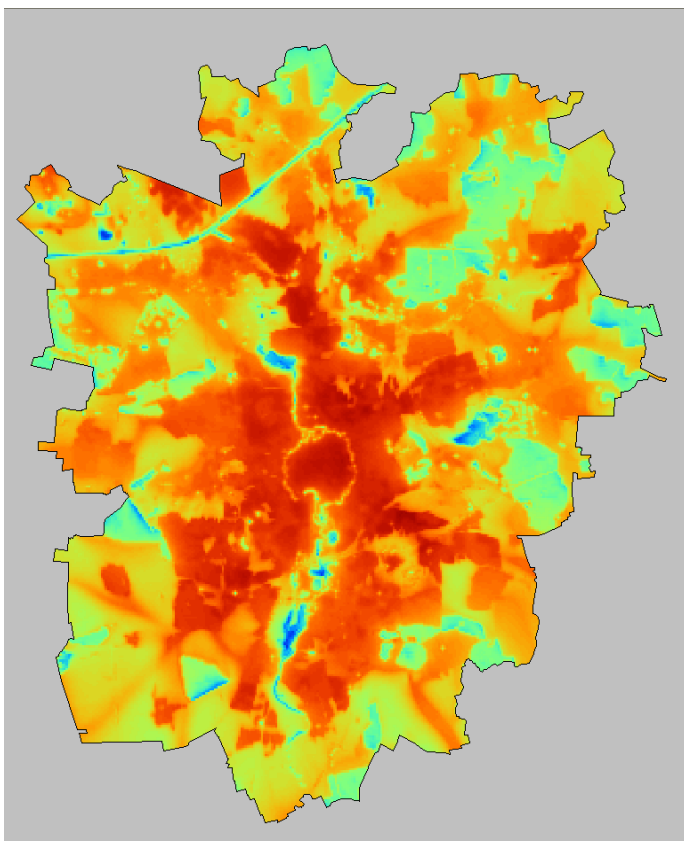


Abbildung 4-10: PMV am 1. August 15:00
Uhr, Standort in der Sonne

In Abbildung 4-9 ist der PMV für einen verschatteten Standort dargestellt, in Abbildung 4-10 für einen besonnten Bereich. Bei der verschatteten Situation ergeben sich PMV-Werte zwischen 2 und 2,8, d.h. ein thermisches Empfinden zwischen warm und heiß. In der Sonne tritt erwartungsgemäß Hitzestress auf, der in den besiedelten Bereichen bei Werten über 3,5 liegt. Nur an den Gewässern findet man noch Zonen mit mäßiger Belastung.

Die lokale Vielfalt lässt sich diesen Karten nicht entnehmen, da die Auflösung nicht ausreicht, um Hindernisse wie Bebauung und bewuchs aufzulösen. Abbildung 4-11 zeigt exemplarisch das Ergebnis einer innerstädtischen PMV-Berechnung. Die räumliche Auflösung betrug 3 m. Rechenzellen, die in Gebäuden liegen, sind schwarz angelegt. Der Kronenraum von Bäumen ist durch Kreise gekennzeichnet. In den verschatteten Bereichen (hellblau) herrschen angenehme thermische Bedingungen. Personen, die sich in besonnten Bereichen (orange bis rot) aufhalten, erfahren dagegen Hitzestress.

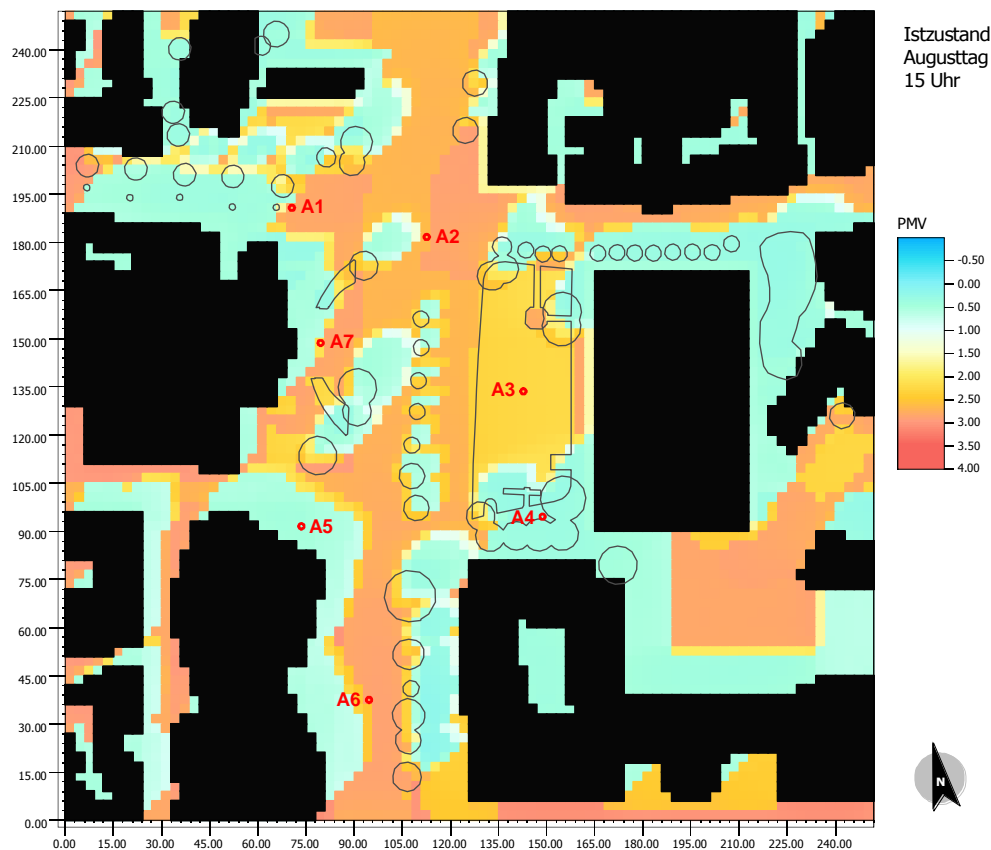


Abbildung 4-11: PMV in einer innerstädtischen Situation an einem Augustnachmittag

Ziel der Stadtplanung muss es sein, eine möglichst große Vielfalt an thermisch unterschiedlichen Bereichen zu schaffen (Stichwort Klimavielfalt), so dass sich Passanten an heißen Tagen im Schatten bewegen oder aufhalten können. An kühlen oder mäßig heißen Tagen aber auch Zonen finden, wo eine Besonnung sowohl beim Aufenthalt als auch in Bewegung möglich ist. Auch Extreme (wie z.B. versiegelte besonnte Plätze oder verschattete Parkanlagen) haben ihre Berechtigung, sofern Menschen dort nicht zum Aufenthalt „gezwungen“ werden. Ein Beispiel für erzwungene Aufenthalte sind Bushaltestellen. In sonnigen Bereichen ist dort eine Überdachung vorzusehen.

5 Lufthygiene

Abbildung 5-1 zeigt das Hauptverkehrswegenetz in Braunschweig. Im Norden verläuft die Autobahn A2, im Süden durch die A39 und im Westen verbindet die A391 die beiden anderen Autobahnen.

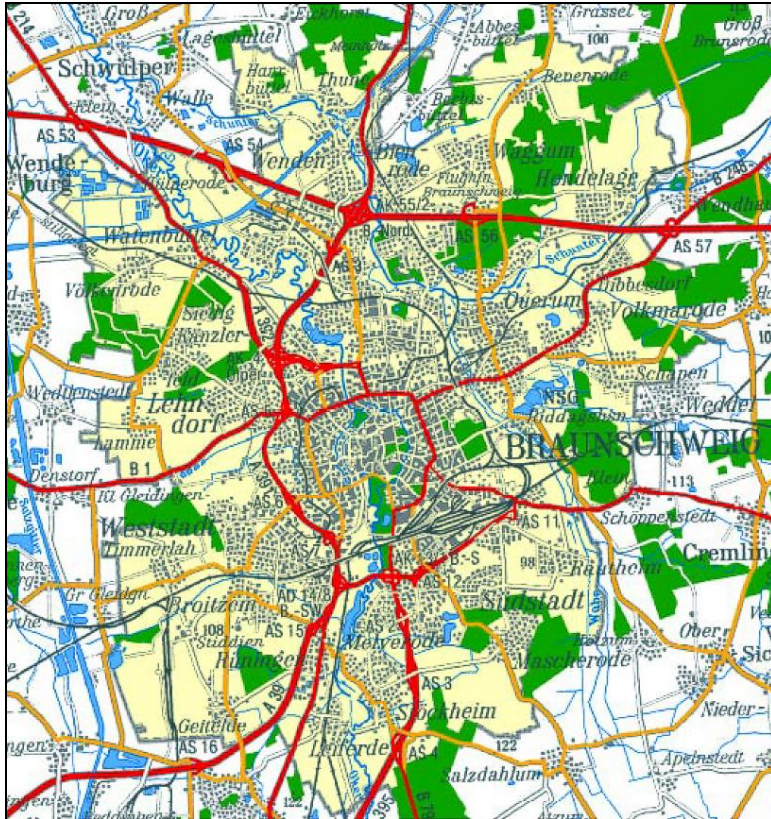


Abbildung 5-1: Hauptverkehrswegenetz in Braunschweig

5.1 Bewertungsgrundlagen

5.1.1 Betrachtete Luftschadstoffe

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung werden folgende Schadstoffe betrachtet:

- NO_2
- PM_{10} (inhalierbarer Feinstaub)
- $\text{PM}_{2,5}$ (lungengängiger Feinstaub)

NO_2 gilt als typische verkehrsbedingte Luftverunreinigung, bei der sowohl die mittlere Belastung als auch Spitzenwerte als toxisch relevant angesehen werden können.

PM_{10} ist als Staub definiert, der einen Abscheider passiert, der Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von $10\ \mu\text{m}$ zu 50 % zurückhält. Es handelt sich somit um Feinstaub. Der aerodynamische Teilchendurchmesser der unmittelbar vom Motor emittierten Partikeln liegt unter $1\ \mu\text{m}$. Abhängig von der Höhe der Belastung kann die Einwirkung von Feinstaub zu einer Irritation der Bronchialschleimhaut führen. Chronische Staubbelastrungen können zu chronischer Bronchitis sowie zu Lungenfunktionsveränderungen führen. Verkehrsbedingter Schwebstaub enthält lufthygienisch relevante Stoffe, z.B. Rußpartikel, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und Schwermetalle. Eingatemeter Staub, im Wesentlichen Schwebstaub, enthält sowohl nicht-lungengängige Anteile (Grobstaub)

als auch lungengängige Anteile (Feinstaub).

PM_{2,5} sind – analog zu PM₁₀ – Partikel, die einen gröÙenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 2,5 µm einen Abscheidegrad von 50% aufweist. PM_{2,5} ist somit eine Teilmenge von PM₁₀. Diese Korngrößen sind alveolengängig, d.h. die Partikel können bis in die Lungenbläschen vordringen.

Die Konzentrationen weiterer Luftverunreinigungen aus dem Verkehrsbereich, wie z.B. Benzol, Blei, Kohlenmonoxid (CO) und Schwefeldioxid (SO₂) liegen heute aufgrund der bereits ergriffenen Luftreinhaltemaßnahmen deutlich unterhalb gesundheitsbezogener Grenz- und Richtwerte. Sie werden daher nicht weiter betrachtet. Für Ruß sind keine Immissionswerte festgelegt. Die Beurteilung geschieht über PM₁₀-Staub, der die Rußfraktion beinhaltet.

5.2 Beurteilungswerte für Luftschadstoffe

Zur Beurteilung der Schadstoffkonzentrationen werden die Immissionswerte der 39. BImSchV herangezogen. Die 39. BImSchV dient der Umsetzung der Richtlinie 2008/50/EG in deutsches Recht. Ziel ist es, schädliche Auswirkungen von Luftschadstoffen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt zu vermeiden oder zu verringern. Diese Verordnung ersetzt die 22. und die 33. BImSchV. Sie ist am 6. August 2010 in Kraft getreten.

In der 39. BImSchV werden folgende Immissionskenngrößen begrenzt:

- Kalenderjahresmittelwerte
- Überschreitungshäufigkeiten von vorgegebenen Konzentrationsschwellen für Stundenmittelwerte
- Überschreitungshäufigkeiten von vorgegebenen Konzentrationsschwellen für Tagesmittelwerte

Tabelle 5-1 enthält eine Zusammenstellung der wichtigsten Immissionsbeurteilungswerte mit entsprechender Definition und Literaturangabe.

Tabelle 5-1: Zusammenstellung der wichtigsten Immissionsbeurteilungswerte.

Schadstoff	Literaturquelle	Konzentrationswert	Statistische Definition	Bedeutung / Verbindlichkeit / Zweck
NO₂	39. BImSchV, EU-Richtlinie	40 µg/m ³	Jahresmittelwert	Grenzwert zum Schutz vor Gesundheitsgefahren
	39. BImSchV, EU-Richtlinie	200 µg/m ³	Schwelle, die von maximal 18 Stundenmittelwerten pro Jahr überschritten werden darf (entspricht 99,8%-Wert)	Grenzwert zum Schutz vor Gesundheitsgefahren
Staub PM₁₀	39. BImSchV, EU-Richtlinie	40 µg/m ³	Jahresmittelwert	Grenzwert zum Schutz vor Gesundheitsgefahren
	39. BImSchV, EU-Richtlinie	50 µg/m ³	Mittelwert über 24 Stunden, der nicht öfter als 35 mal im Jahr überschritten werden darf (entspricht 90,4%-Wert)	Grenzwert zum Schutz vor Gesundheitsgefahren
Feinstaub PM_{2,5}	39. BImSchV	25 µg/m ³	Jahresmittelwert	Zielwert bis 2015, danach Grenzwert

5.3 Ermittlung der Schadstoffemissionen und -immissionen

Die Immissionssituation im Untersuchungsgebiet wird durch die Vorbelastung durch die allgemeine Hintergrundbelastung, den Hausbrand und gewerbliche/industrielle Emissionen und den lokalen Kfz-Verkehr bestimmt.

Abbildung 5-2 zeigt ein Konzentrationsprofil für einen fiktiven Schnitt durch ländliches und städtisches Gebiet. Die Gesamtbelastung (rote Kurve) setzt sich zusammen aus der Zusatzbelastung der lokalen Quellen (orangefarbener Bereich) und der allgemeinen Hintergrundbelastung (grüner Bereich). Beim Schnitt durch vielbefahrene Straßenräume ergeben sich Immissionsspitzen mit relativ steilen Abfällen an den Flanken.

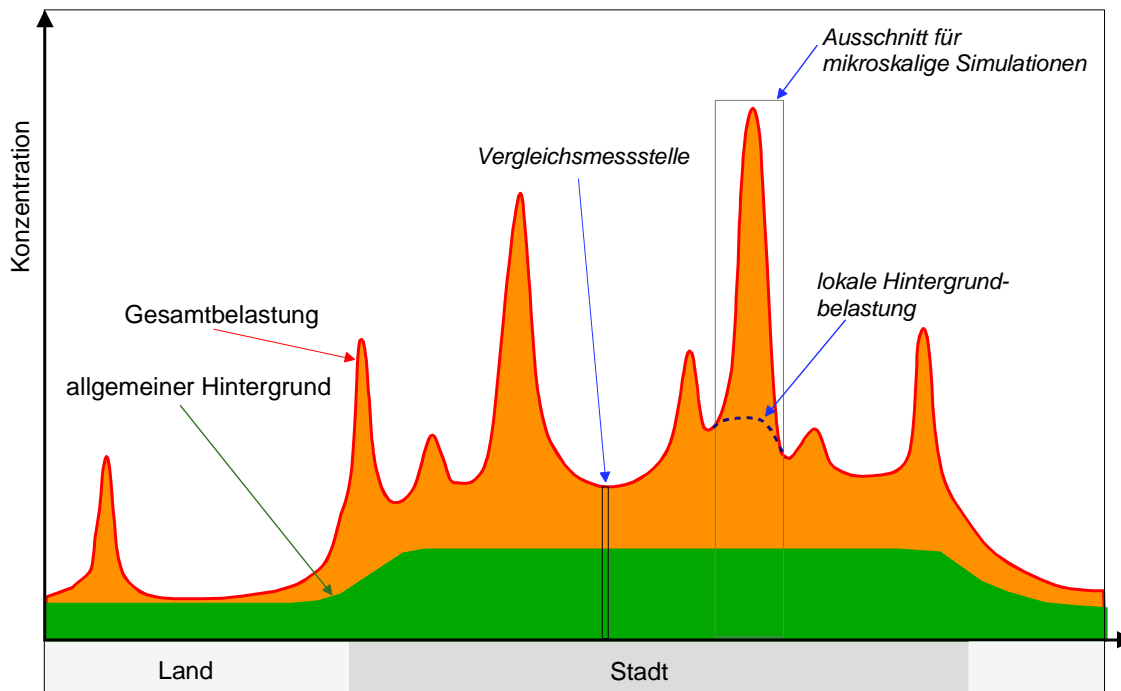


Abbildung 5-2: Konzentrationsverteilung auf einem Schnitt durch ländliches und städtisches Gebiet mit den entsprechenden Spitzen beim Anschnitt von viel befahrenen Straßenzügen.

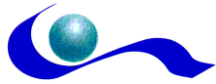
Die Zusatzbelastung durch den Kfz-Verkehr wird zunächst mit dem Gaußmodell GAMOS für das Bezugsjahr 2015 aus dem Straßennetz von Braunschweig berechnet. Eine Kurzbeschreibung des Modells GAMOS ist im Anhang aufgeführt.

Die Vorbelastung im Umland und im städtischen Bereich kann aus Messungen abgeschätzt werden (vgl. Kapitel 5.3.11).

5.3.1 Verkehrsbedingte Emissionen

Im Februar 2010 ist ein neues Handbuch für Emissionsfaktoren des Kfz-Verkehrs (HBEFA Version 3.1) erschienen. Die Emissionsmodellierung erfolgt auf der Basis dieser Daten. Gegenüber dem vorangegangenen Handbuch 2.1 sind im Wesentlichen folgende Punkte zu beachten:

- Die Flottenzusammensetzung der Pkw in Deutschland enthält im neuen HBEFA einen höheren Anteil an Dieselfahrzeugen als im HBEFA 2.1 und tendenziell höhere Anteile an Fahrzeugen mit geringeren Emissionsstandards.



- Die geänderte Flottenzusammensetzung im HBEFA 3.1 gegenüber HBEFA 2.1 führt bei NO_x und Staub zu einer signifikanten Erhöhung der mittleren Emissionsfaktoren der Pkw (in manchen Fällen 1/3 der gesamten Änderung). Dagegen sind bei schweren Nutzfahrzeugen 20% bis 40% geringere NO_x- und Partikelemissionen ausgewiesen.
- Durch die vorgezogene Einführung von Partikelfiltern gehen die PM-Emissionen schon nach 2005 deutlicher zurück, so dass der mittlere Emissionsfaktor der Pkw im neuen HBEFA ab 2010 niedriger ist als im HBEFA 2.1.
- Ab 2015 sind die mittleren Emissionsfaktoren durch die Einführung von Euro VI-Fahrzeugen im neuen HBEFA niedriger als im früheren Handbuch, in dem hierfür keine Messungen hinterlegt waren.

Die Datenbank beinhaltet spezifische Emissionsfaktoren für unterschiedliche Fahrzeugkategorien (Pkw, INF, sNf, Busse und Krafträder) und unterschiedliche Bezugsjahre (1990 bis 2030). Die Emissionen wurden unter nachfolgend beschriebenen Ansätzen ermittelt. Eine kurze Zusammenstellung der Eingangsdaten findet sich im Anhang.

5.3.2 Verkehrsaufkommen

Die Verkehrszahlen sowie die Geodaten der Straßenabschnitte wurden vom Fachbereich Stadtplanung und Umweltschutz zur Verfügung gestellt.

Die Koordinaten der Straßenpolygone liegen im 3er Streifen vor. Es sind 2616 Abschnitte digitalisiert und mit den Verkehrszahlen hinterlegt.

Abbildung 5-3 zeigt das berücksichtigte Verkehrswegenetz. Die Polygone sind entsprechend dem DTV eingefärbt.

In die Emissionsmodellierung fließen folgende Werte des Datensatzes ein:

- DTV – mittleres tägliches Verkehrsaufkommen
- sNf – Anteil schwerer Nutzfahrzeuge (zul. Gesamtgewicht > 3,5 t)
- INF – Anteil leichter Nutzfahrzeuge (zul. Gesamtgewicht zwischen 2,8 t und 3,5 t)
- Bus – Anteil der Reisebusse / Linienbusse
- Krad – Anteil der Krafträder
- nFs – Anzahl der Fahrspuren
- Kat – Straßenkategorie gemäß HBEFA 3.1 (aus Lage, Tempobegrenzung, Straßentyp)
- LN – Längsneigung der Straße

Der Anteil der leichten Nutzfahrzeuge (2,8 t bis 3,5 t) wurde für alle Fahrwege wie angegeben mit 5% angesetzt.

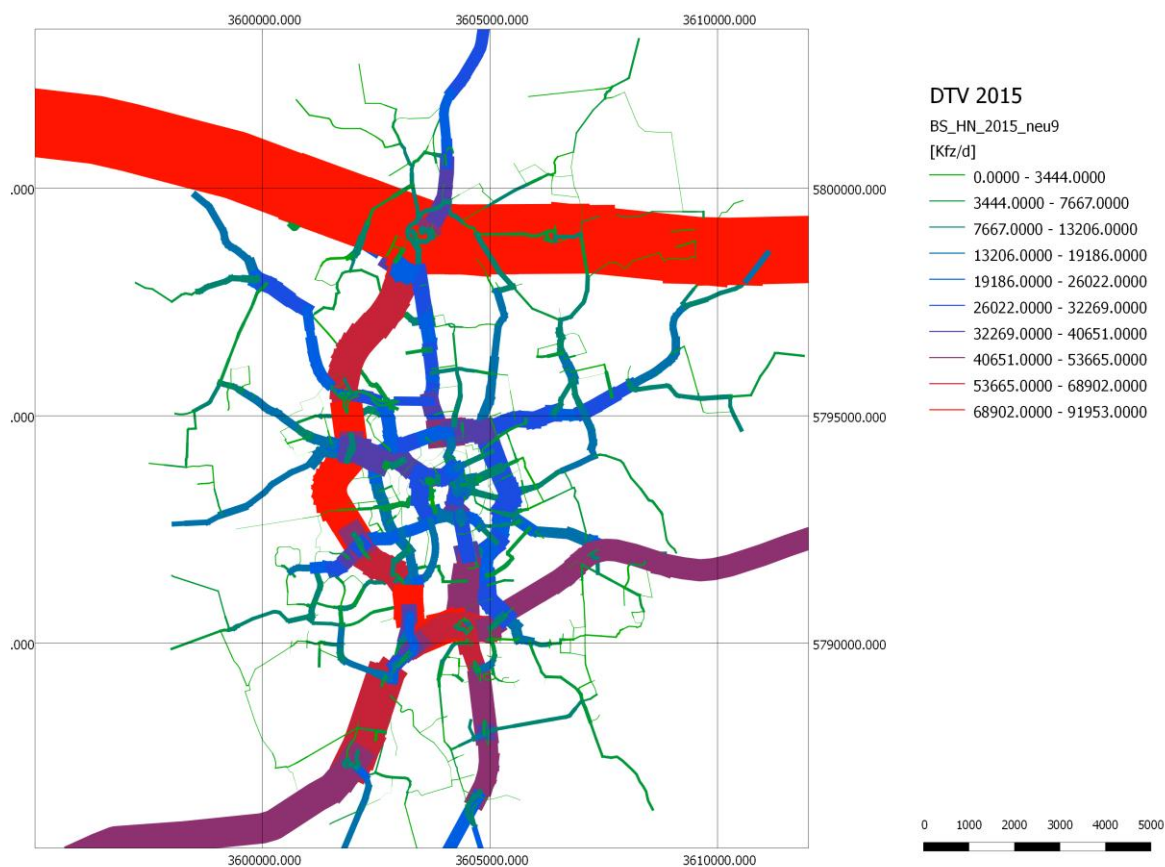


Abbildung 5-3: Prognose DTV für 2015

Da die Emissionsfaktoren für Reise- und Linienbusse im HBEFA 3.1 aufgeschlüsselt sind und sich hinsichtlich der spezifischen Emissionen unterscheiden, in den vorliegenden Verkehrsdaten nur allgemein Busse aufgeführt sind, wurde der Anteil an Linien- und Reisebussen wie in Tabelle 5-2 vorgenommen.

Tabelle 5-2: Standardwerte der Anteile an Reise- und Linienbussen an Bussen

Verkehrssituation	Aufteilung Busse	
	Reisebusse	Linienbusse
Innerorts	10%	90%
Außerorts ohne Autobahnen	80%	20%
Autobahnen	100%	0%

5.3.3 Prognosejahr

Im Handbuch für Emissionsfaktoren sind für unterschiedliche Prognosejahre zwischen 1990 und 2030 Emissionsfaktoren hinterlegt. Der sukzessive Ersatz von Altfahrzeugen durch emissionsärmere Neufahrzeuge führt zu einem Rückgang der spezifischen Emissionen.

Für die Emissionsberechnungen wurde 2015 als Prognosejahr angesetzt.

5.3.4 Fahrzeugflotte

In die Emissionen geht die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte und deren Fahrleistung ein. Die Zusammensetzung der real im Untersuchungsgebiet fahrenden diesel- und benzinbetriebenen Fahrzeuge, aufgeschlüsselt nach Euro-Normen und Fahrleistungen liegt nicht vor. Deshalb wurde die Verteilung gemäß bundesdeutschem Schnitt angesetzt.

5.3.5 Straßentypus

Der Straßentypus wird aus den vorgelegten Daten nach den im Handbuch aufgeführten Mustern aufgestellt.

5.3.6 Verkehrsfluss

Im Handbuch (HBEFA 3.1) sind 4 Verkehrsqualitäten hinterlegt. Diese können wie folgt charakterisiert werden:

a) freier, flüssiger Verkehr

Frei und stetig fließender Verkehr; konstante, eher hohe Geschwindigkeit, Geschwindigkeitsbandbreiten: über 90 km/h auf Autobahnen, 45-60 km/h auf Straßen mit Tempolimit von 50 km/h.

b) dichter Verkehr

Flüssiger Verkehrsfluss bei starkem Verkehrsvolumen, vergleichsweise konstante Geschwindigkeit, Geschwindigkeitsbandbreiten: 70-90 km/h auf Autobahnen, 30-45 km/h auf Straßen mit Tempolimit 50 km/h.

c) gesättigter Verkehr

Unstetiger Verkehrsfluss mit starken Geschwindigkeitsschwankungen bei gesättigtem / gebundenem Verkehrsfluss, erzwungene Zwischenstopps möglich, Geschwindigkeitsbandbreiten: 30-70 km/h auf Autobahnen, 15-30 km/h auf Straßen mit Tempolimit 50 km/h.

d) Stop+Go

Stop+Go, starke Stauerscheinungen bis Verkehrszusammenbruch, Geschwindigkeitsschwankungen bei allgemein niedriger Geschwindigkeit. Geschwindigkeitsbandbreiten: 5-30 km/h auf Autobahnen, 5-15 km/h auf Straßen mit Tempolimit 50 km/h.

Die Verkehrsqualität ändert sich im Lauf eines Tages abhängig vom stündlichen Verkehrsaufkommen und der Kapazität einer Straße. Angesetzt werden Tagesgänge des Verkehrsaufkommens gemäß HBS (2001, Fassung 2009) für Straßen im Kernstadtbereich (Hauptverkehrsstraßen) und Kernstadt-rand (Nebenstraßen).

5.3.7 Kaltstartanteil

Kalte Motoren emittieren erheblich mehr Luftschadstoffe als betriebswarme Motoren. Die Kaltstartanteile hängen vom Straßentypus ab. Die Zuordnung der Kaltstartanteile erfolgt in Anlehnung an die VDI 3782 Blatt 7.

5.3.8 Klimaanlage

In den spezifischen Emissionen ist der steigende Anteil von Klimaanlage berücksichtigt, der insbesondere eine Erhöhung der NO_x-Emissionen bewirkt.

5.3.9 Aufwirbelung und Abrieb bei den Stäuben

Die Staubemissionen bestehen nur zum Teil aus den Motoremissionen. Ein Großteil der Feinstaubemissionen entsteht durch Aufwirbelung und Abrieb (Reifenabrieb, Straßenabrieb, Bremsabrieb). An diesen Emissionen sind alle Fahrzeuge – nicht nur dieselgetriebene – beteiligt. Aufwirbelung und Abrieb hängen vom Fahrmodus ab. Je größer die Störungen im Verkehrsablauf, also je häufiger Brems- und Beschleunigungsvorgänge auftreten, desto größer sind die spezifischen Emissionen. Die spezifischen Emissionen für die Aufwirbelung und den Abrieb werden entsprechend Untersuchungen von Schneider et al. (Oktober 2006) für PM_{10} angesetzt.

Für $PM_{2,5}$ erfolgt die Berechnung nach den im EMEP/EEA-Handbuch für Emissionsfaktoren (2007) veröffentlichten Faktoren.

5.3.10 Simulationsgebiet

Das Simulationsgebiet weist eine Größe von 13 km · 17 km auf

Die Berechnungen erfolgen für Rasterflächen mit einer Maschenweite von 10 m · 10 m und einer Bezugshöhe von 1,5 m über Grund.

In den städtischen Bereichen wird pauschal von einer beidseitigen Randbebauung mit einer mittleren Höhe von 5 m ausgegangen.

5.3.11 Abschätzung der Hintergrundbelastung

Die Vorgehensweise erfordert eine Differenzierung in eine „allgemeine Hintergrundbelastung“ (Ferntransport) und die „lokale Hintergrundbelastung“ (Gewerbe/Industrie, Hausbrand) im Bereich des Untersuchungsgebietes.

$PM_{2,5}$ wurde bislang an keiner der beiden Stationen gemessen.

Immissionsseitig liegt das Verhältnis zwischen $PM_{2,5}$ und PM_{10} im Bereich zwischen 0,6 und 0,8. In der vorliegenden Studie wurde für die Abschätzung der Vorbelastung von einem Wert von 0,75 ausgegangen.

Aus den Immissionsverhältnissen (vgl. Kapitel 3.4.4) der vorstädtischen Station 2010 kann die Hintergrundbelastung für das Untersuchungsgebiet für NO_2 mit $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$, für PM_{10} mit $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und für $PM_{2,5}$ mit $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ angesetzt werden. Für den Prognosehorizont 2015 ist tendenziell mit etwas geringeren Hintergrundbelastungen zu rechnen, konservativ werden jedoch diese Werte angenommen.

Tabelle 5-3: Angesetzte Hintergrundbelastung 2015.

	2015
NO_2	$16 \mu\text{g}/\text{m}^3$
PM_{10}	$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$
$PM_{2,5}$	$15 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Die städtische Vorbelastung wurde als Punkte-Shape im 500m · 500m-Raster zur Verfügung gestellt. Sie enthält berechnete Zusatzbelastungen für PM_{10} und NO_X mit Bezugsjahr 2008. Die Berechnungen berücksichtigten das Nebenstraßennetz (auf der Basis der Emissionen des HBEFA 2.1), Industrie und Hausbrand.

In Abbildung 5-4 ist die städtische Hintergrundbelastung als Punkteplot dargestellt. In den städtischen

Bereichen liegt die Zusatzbelastung bei 2 bis 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, vereinzelt auch bis 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Im industriell geprägten nördlichen Bereich werden auch bis 8,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ausgewiesen. Da die Originaldaten im Gauß-Krüger 3er-Streifen vorlagen, ergibt sich eine leicht nach Osten abfallende Anordnung der Punkte.

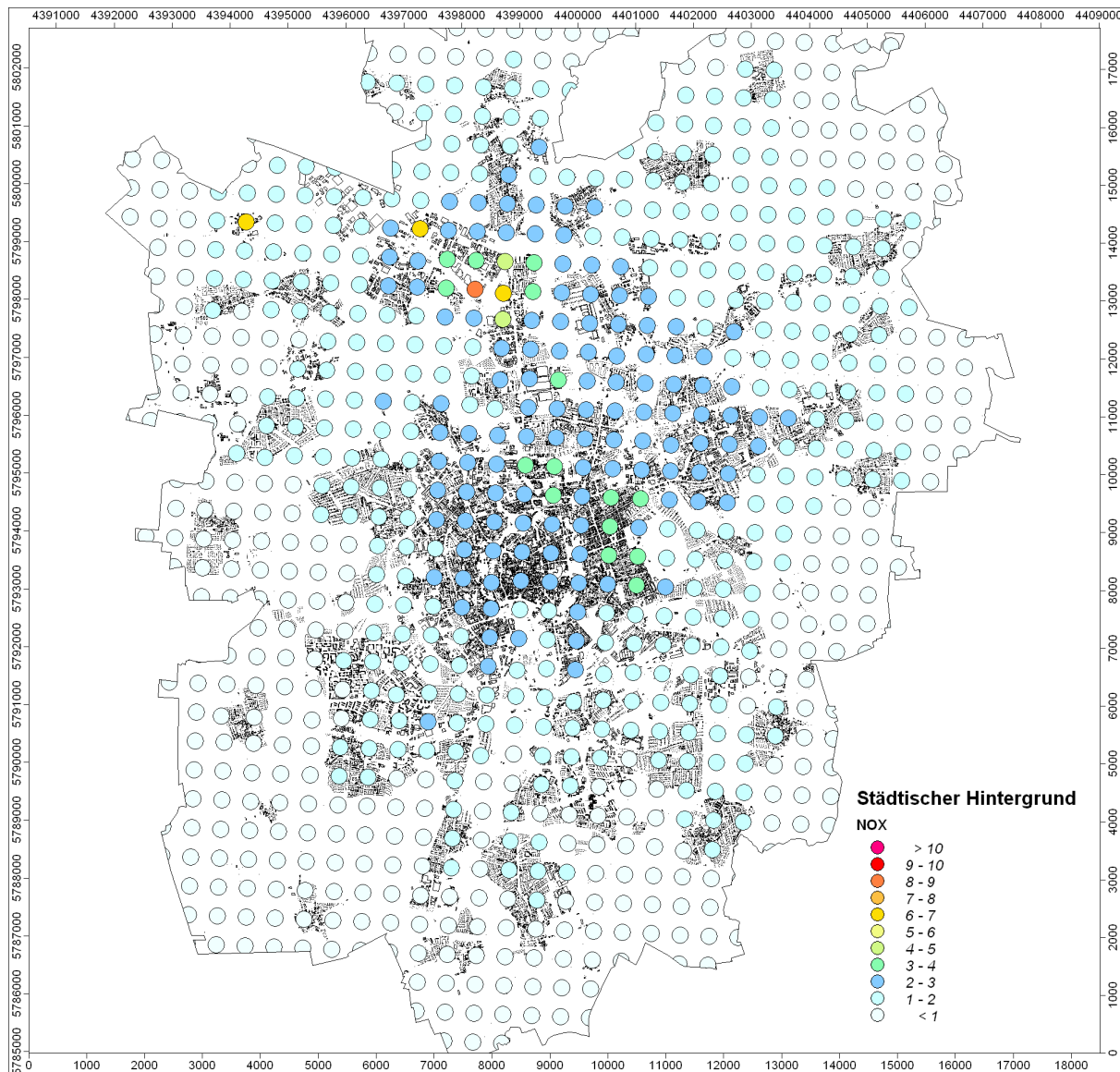


Abbildung 5-4: Städtische Hintergrundbelastung NO_x , Werte in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Abbildung 5-5 zeigt die PM_{10} -Zusatzbelastung. Im städtischen Bereich liegt der Beitrag bei 0,3 bis 0,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. In industriell geprägten Bereichen werden auch bis zu 1,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ausgewiesen.

Für die Überlagerung wurden die Punktwerte auf das verwendete kartesische Gitter interpoliert. Der Beitrag für $\text{PM}_{2,5}$ wurde mit 75% des PM_{10} -Wertes angenommen. Bei NO_x wurde davon ausgegangen, das 60% als NO_2 vorliegen.

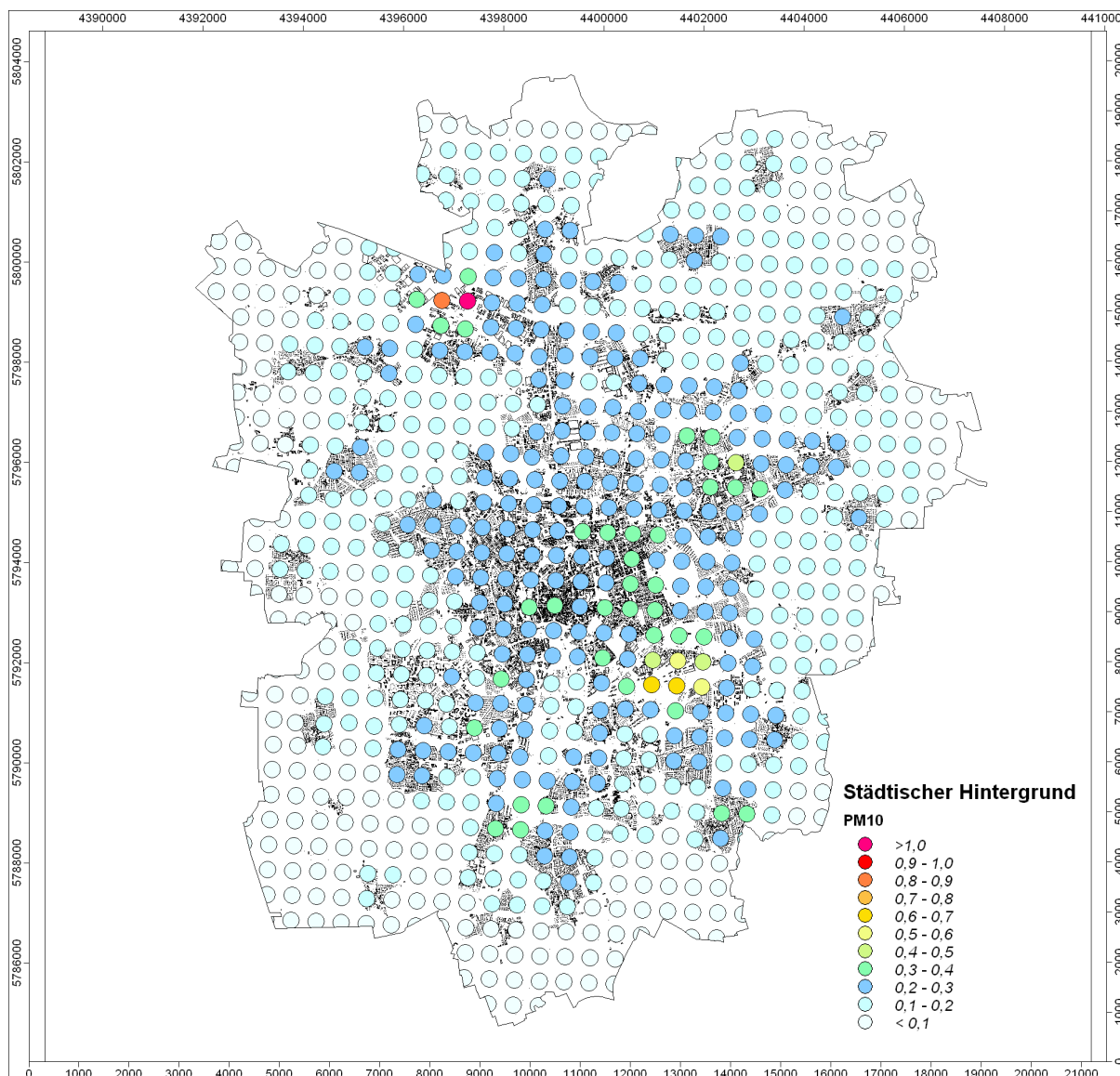


Abbildung 5-5: Städtische Hintergrundbelastung PM_{10} , Werte in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

5.4 Simulationsverfahren

Die Immissionen im Stadtgebiet und der angrenzenden Umgebung werden anhand eines Screenings ermittelt. Hierzu wird das Gauß'sche Vielquellenmodell GAMOS V5.20 (auf der Basis des Gaußmodells der VDI-Richtlinie 3782, Blatt 1) eingesetzt.

Eingangsdaten für das Modell sind:

- die Kenngrößen der Verkehrsbelastung (Verkehrsaufkommen, Nutzfahrzeuganteile, Fahrmodi, Bezugsjahr); daraus errechnen sich die Emissionen für das Bezugsjahr 2015. Hierfür wurde das Handbuch für Emissionsfaktoren HBEFA 3.1 (2010) und die Ansätze zur Berücksichtigung der Aufwirbelung und des Abriebs von PM_{10} (Schneider et al., 2006) und von $PM_{2,5}$ (EMEP, 2009) herangezogen.

- b) die meteorologischen Randbedingungen
- c) die Hintergrundbelastung.

Die Eingangsdaten der 50 am höchsten belasteten Straßen sind im Anhang in Eingangsdaten und spezifische Emissionen sind in Tabelle 12-1 aufgeführt. Die Eingangsdaten aller berücksichtigten Straßen können auf Datenträger zur Verfügung gestellt werden.

Die Lage der Quellen kann Abbildung 5-3 entnommen werden.

5.5 Umwandlung NO \Rightarrow NO₂

Die Stickstoffoxide (NO_x) werden zu über 70 % in Form von NO emittiert. Der Großteil an NO₂ entsteht erst während der Ausbreitung. Im Nahbereich von Straßen wird die NO \Rightarrow NO₂-Umwandlung hauptsächlich vom Ozon-Angebot bestimmt. An sonnenscheinreichen Tagen steht Ozon, das sich unter anderem aus den Kfz-bedingten Schadstoffen NO_x und Kohlenwasserstoffen bildet, als Reaktionspartner für das NO zur Verfügung und führt zu einer erhöhten Umwandlung von NO in NO₂. Dies hat zum einen zur Folge, dass die NO₂-Konzentrationen an Straßen im Sommer ein höheres Niveau als im Winter haben können und zum anderen, dass die Ozon-Konzentrationen in Straßennähe niedriger sind als in größerer Entfernung.

Die modellmäßige Erfassung der NO \Rightarrow NO₂-Umwandlung ist für Einzelfallbetrachtungen mit vertretbarem Aufwand nicht möglich, da die Eingangsparameter, wie Hintergrundbelastung der Kohlenwasserstoffe, Ozon usw., in der Regel nicht vorliegen.

Für die Kenngröße „Jahresmittelwert“ wurde durch Auswertung langjähriger Messreihen jedoch eine statistisch gesicherte Beziehung zwischen NO_x und NO₂ gefunden. Es zeigt sich, dass hohe NO_x-Konzentrationen meist mit kleinen NO₂/NO_x-Verhältnissen verbunden sind. Dieser Ansatz (siehe Bächlin et al., 2006) stellt die Grundlage für die hier berechneten NO₂-Verhältnisse dar.

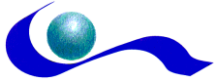
5.6 Luftreinhalteplanung Braunschweig

Das Land Niedersachsen hat einen Luftreinhalte- und Aktionsplan für Braunschweig aufgestellt, der aufgrund einer Änderung der Zuständigkeit im Mai 2007 von der Stadt Braunschweig veröffentlicht wurde. Im Ergebnis zeigte dieser Plan, dass die darin festgelegten Maßnahmen eine erhebliche Reduktion der Luftschadstoffbelastung in Braunschweig bewirken, die Grenzwerte jedoch nicht im gesamten Stadtgebiet eingehalten werden können. Die Stadt Braunschweig hat daher eine Fortschreibung des Luftreinhalteplans erarbeitet und weitere Maßnahmen festgeschrieben.

Insbesondere der Ausbau der Fernwärme soll zur Entlastung der Innenstadt von Immissionen und zur Senkung der Hintergrundbelastung beitragen. Weitere Maßnahmen sind die energetische Sanierung der städtischen Liegenschaften, Reduzierungen des Durchgangsverkehrs, Stärkung des Radverkehrs, die Einführung eines umweltfreundlichen Verkehrsmanagements und die Erneuerung der Fahrzeugflotten der Stadt sowie des öffentlichen Personennahverkehrs.

5.7 Ergebnisse der Ausbreitungsrechnungen

Die Ausbreitungsrechnungen liefern Jahresmittelwerte der Immissionen in 1,5 m über Grund. Sie geben einen Überblick über die großräumige Situation. Abbildung 5-6 und Abbildung 5-7 zeigen die Immissionssituation für NO₂ bzw. PM₁₀ unter Berücksichtigung des neuen Handbuchs für Emissionsfaktoren und der in Kapitel 5.3.11 beschriebenen Hintergrundbelastung. (Die Hintergrundbelastung wurde noch einheitlich entsprechend der Werte der vorstädtischen Messstation angenommen. In der endgültigen



tigen Version werden in den städtischen Gebieten noch Zuschläge für die dort erhöhte Vorbelastung angenommen.)

Das Simulationsgebiet ist 12 km · 16 km groß. Die Berechnungen erfolgten für Rasterflächen mit einer Maschenweite von 10 m · 10 m.

Die höchsten Immissionen findet man im Verlauf der A2 und der A391. Hier sind die hohen Verkehrsbelastungen für die hohen Immissionen verantwortlich. Auch die städtischen Ringstraßen weisen erhöhte Immissionen auf. Hier sind neben den Verkehrsaufkommen auch die schlechteren Austauschbedingungen (häufig Straßenschluchten) verantwortlich. Mit zunehmendem Abstand von den Hauptverkehrsstraßen gehen die Immissionsbelastungen rasch zurück.

NO₂ stellt hinsichtlich der Bewertung die kritischere Komponente dar. Es fehlt in den Abbildungen jedoch noch die städtische Zusatzbelastung durch Gewerbe, Industrie und Hausbrand. Laut Luftreinhalteplan Braunschweig liegen die Beiträge bei NO₂ im Bereich von 10 µg/m³ und bei PM₁₀ bei 2 bis 3 µg/m³.

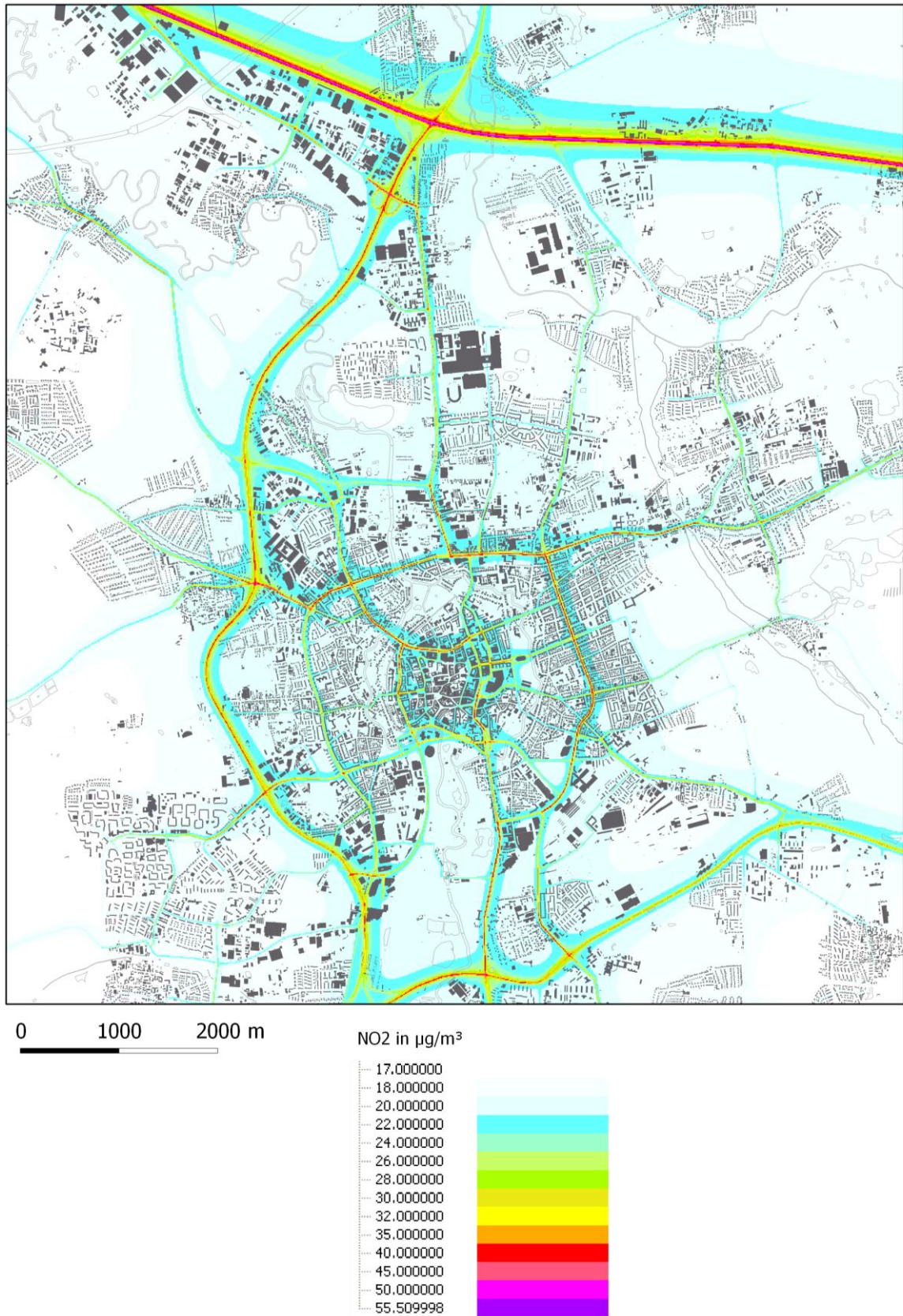


Abbildung 5-6: Jahresmittelwert der NO₂-Konzentration (Bezugsjahr 2015) in 1,5 m über Grund (alt).

Jahresmittelwerte PM10



0 1000 2000 m

PM10 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

- 21.000000
- 22.000000
- 23.000000
- 24.000000
- 25.000000
- 26.000000
- 28.000000
- 30.000000
- 32.000000
- 35.000000
- 40.000000
- 45.000000

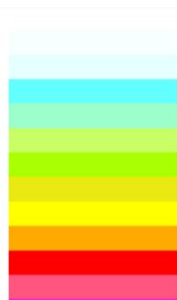


Abbildung 5-7: Jahresmittelwert der PM_{10} -Konzentration (Bezugsjahr 2015) in 1,5 m über Grund (alt).

6 Grundlagen zur thermischen und lufthygienischen Bewertung von Flächen

Aufgabe der Flächennutzungsplanung ist die behördenverbindliche Darstellung von Flächen für mögliche zukünftige Nutzungen. Wie können nun die hier zusammengestellten, recht vielschichtigen Ergebnisse im Bereich Klima und Lufthygiene bei dieser Planung berücksichtigt werden?

Die Verträglichkeit einer Flächenumnutzung ist auch an den Umweltqualitätszielen zu messen. Hierzu gehört u.a. der Schutz der menschlichen Gesundheit. Daraus ergeben sich für den Bereich Klima und Luft folgende Forderungen:

- Erhalt einer guten Luftqualität (Minimierung von Luftverunreinigungen)
- Erhalt für den menschlichen Organismus zuträglicher klimatischer Bedingungen (Minimierung von bioklimatischen Belastungen)
- Erhaltung und Schaffung einer hohen räumlichen Klimavielfalt (Erhöhung der Lebensqualität)

Um die Auswirkungen einer Flächenumnutzung zu bewerten, wird häufig die Methode der ökologischen Risikoanalyse angewandt. Bei dieser Analyse (Richter, C.-J. et al., 1998) sind drei aggregierte Einflussfaktoren zu betrachten, mit denen eine Beeinträchtigung dargestellt werden kann:

1. Intensität und Häufigkeit der Wirkung
2. Empfindlichkeit der betroffenen Schutzgüter gegenüber einer bestimmten Wirkung eines Vorhabens
3. Wert der Schutzgüter (Bedeutung, Funktionserfüllungsgrad u.a.)

Dies soll an einem Beispiel erläutert werden:

Wir weisen ein neues Baugebiet aus. Durch die Gebäude und weitere Versiegelungen sowie durch deren Nutzung (Quell- und Zielverkehr, Heizung, etc.) ändert sich das thermische Milieu im überplanten Gebiet selbst. Jedoch gibt es auch Auswirkungen auf die Umgebung. Die Durchlüftung wird reduziert, die thermische und lufthygienische Belastung nimmt zu.

Die *Intensität* dieser Maßnahme hängt dabei von stadtplanerisch beeinflussbaren Parametern wie Bebauungshöhe, Bebauungsdichte, Versiegelungsgrad, Verkehrsaufkommen, Heizkonzepten usw. ab. Die Häufigkeit mit der Auswirkungen zu erwarten sind, hängt z.B. ab von der Zahl belastender Wetterlagen und/oder von der Häufigkeit von Windrichtung die Effekte in das betroffene Gebiet verfrachten.

Der *Wert* des Schutzgutes ist hoch, da es sich in der Regel bei den betroffenen Flächen um besiedelte Bereiche handelt.

Festzulegen ist jetzt noch die Empfindlichkeit der betroffenen Bereiche auf unerwünschte Auswirkungen. Bei besiedelten Gebieten hängt die *Empfindlichkeit* im Wesentlichen ab von

- der lufthygienischen und thermischen Vorbelastung des betroffenen Gebiets
- der Besiedlungsdichte, d.h. der Zahl der betroffenen Menschen.

Thermisch und lufthygienisch belastete städtische Gebiete mit hoher Einwohnerdichte sind also erheblich empfindlicher einzustufen als dünn besiedelte Vorstadtbereiche.

6.1 Wann liegt eine Belastung vor

Prinzipiell werden in der angewandten Stadtklimatologie thermische und lufthygienische Belastungen unterscheiden, so dass drei Belastungskategorien vorkommen:

- Kältebelastung
- Wärmebelastung
- Lufthygienische Belastung

Für die lufthygienische Belastung gibt es Bewertungsmaßstäbe, z.B. die in der 39. BImSchV festgelegten Immissionsgrenzwerte. Auch die thermische Belastung lässt sich anhand der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2 bewerten.

Diese Bewertungsverfahren, insbesondere die bioklimatische Bewertung, berücksichtigen jedoch nicht den Raumbezug, den jegliche menschliche Aktivität hat. In den folgenden Tabellen werden typische Aktivitäten und deren Raum- und Zeitbezug aufgezeigt. Ein Merkmal ob eine Belastung erheblich ist, ist die Möglichkeit der Belastung auszuweichen. Weiterhin wird auf Maßnahmen eingegangen, die von Seiten der Stadtplanung möglich sind.

6.1.1 Kältebelastung

Betrachten wir zunächst die Kältebelastung, die normalerweise in Städten kein Problem darstellt, da Städte im Mittel wärmer sind als das Umland. Die Auswirkungen einer Kältebelastung auf unsere Tätigkeiten sind in Tabelle 6-1 aufgeführt.

Die meiste Zeit unseres Lebens verbringen wir in Innenräumen. Dies ist z.B. bei der Arbeit oder in der Schule der Fall. Auch die nächtliche Erholungsphase findet in überwiegend in Innenräumen statt. Außerhalb der Behausungen halten wir uns hauptsächlich in der Freizeit auf oder um Wege (von und zur Arbeit, um Besorgungen zu erledigen, usw.) zurückzulegen.

Tabelle 6-1: Kältebelastung und Ausweichmöglichkeit in Abhängigkeit von der Aktivität

Aktivität	Raumbezug	Zeitbezug	Ausweichmöglichkeit	Ziel	Beeinflussende Parameter (Stadtplanung)
Arbeiten, Schule usw.	überwiegend Innenräume	tags	Ja (Heizung)	Heizenergieeinsatz reduzieren	Bauweise Bebauungsdichte, Versiegelungsgrad
Schlafen (körperliche Regeneration)	überwiegend Innenräume	nachts	Ja (Heizung)	–	–
Freizeit, Erholung	Außenbereich + Innenräume	Tag, frühe Nachtstunden	Ja (Kleidung, Innenräume)	(Klimavielfalt)	–
Wege (von und zur Arbeit, Besorgungen,...)	überwiegend Außenbereich	Tag und Nacht	Bedingt	Möglichkeiten in der Sonne zu gehen Zugigkeit vermeiden	Laubwerfende Bäume Hochhausbauten

Einer Kältebelastung kann man in der Regel gut ausweichen. Innenräume werden beheizt, um ein verträgliches Temperaturniveau zu gewährleisten. Beim Aufenthalt im Freien kann durch angepasste Kleidung ebenfalls einer starken Kältebelastung ausgewichen werden.

Da in unseren Breiten Kältebelastungen nicht selten sind, die Emissionen durch den Einsatz von Hei-

zungen möglichst gering sein sollen, ist darauf zu achten, dass die Anforderungen der Wärmeschutzverordnung eingehalten oder übertroffen werden. Durch die Überwärmung der Stadt ist in dieser der Heizaufwand geringer, so dass sich hohe Bebauungsdichte und Versiegelungsgrad positiv auswirken, sofern das Ziel „reduzierter Heizenergieeinsatz“ im Vordergrund steht.

Für Wege, die im Freien zurückgelegt werden müssen, ist es bei Kältebelastung günstig in der Sonne zu gehen. Empfehlenswert sind deshalb Alleen mit laubwerfenden Bäumen, die in der kühlen Jahreszeit ein Gehen in der Sonne ermöglichen, im Sommer jedoch Schatten geben.

6.1.2 Wärmebelastung

Prinzipiell können zwei Arten von Wärmebelastung unterschieden werden:

- Nachmittägliche Wärmebelastung (Risikofaktor für empfindliche Menschen)
- Nächtliche Wärmebelastung während Hitzeperioden (mangelnde Erholung im Schlaf)

Analog zur Kältebelastung sind in Tabelle 6-2 die jeweiligen Aktivitäten und die Möglichkeit der Belastung auszuweichen, zusammengestellt.

Tabelle 6-2: Wärmebelastung und Ausweichmöglichkeit in Abhängigkeit von der Aktivität

Aktivität	Raumbezug	Zeitbezug	Ausweichmöglichkeit	Ziel	Beeinflussbare Parameter (Stadtplanung)
Arbeiten, Schule usw.	überwiegend Innenräume	tags	Bedingt (Kleidung, Klimatisierung)	Ausreichender Luftaustausch, reduzierte Außentemperatur	Bebauungsdichte, Versiegelungsgrad
Schlafen (körperliche Regeneration)	überwiegend Innenräume	nachts	Nein	Ausreichender Luftaustausch	Lokale Windsysteme erhalten Bebauungsdichte
Freizeit, Erholung	Außenbereich + Innenräume	Tag, frühe Nachtstunden	Ja (Kleidung, Ort)	Klimavielfalt	Kurze Wege zw. Freiflächen, Parks, Waldbereichen, Siedlungsbereichen
Wege	überwiegend Außenbereich	Tag und Nacht	Bedingt	Möglichkeit im Schatten zu gehen	Alleen, Arkaden

Einer Wärmebelastung auszuweichen ist schon schwieriger, da durch die Wahl von Kleidung eine Minderung nur grenzt möglich ist. Der Aufenthalt in Innenräumen kann im Bedarfsfall durch Klimatisierung der Räume thermisch angenehm gestaltet werden. Dies ist in Büroräumen teilweise auch der Fall. In Wohnräumen ist dies hierzulande nicht üblich. Hier spielt vor allem die Nacht, in der die körperliche Regeneration im Schlaf stattfindet, eine wichtige Rolle. Einer Wärmebelastung kann nämlich in der Regel nicht ausgewichen werden.

Für Innenräume gibt die VDI-Richtlinie keine Bewertungsmaßstäbe an. Optimale Schlaftemperaturen liegen jedoch zwischen 16 und 18°C. Die folgende Abbildung zeigt einen Vergleich der Innenraum- zur Außentemperatur. Natürlich hängt die Innenraumtemperatur von zahlreichen Parametern ab, so dass die Temperaturverläufe nicht verallgemeinerbar sind.

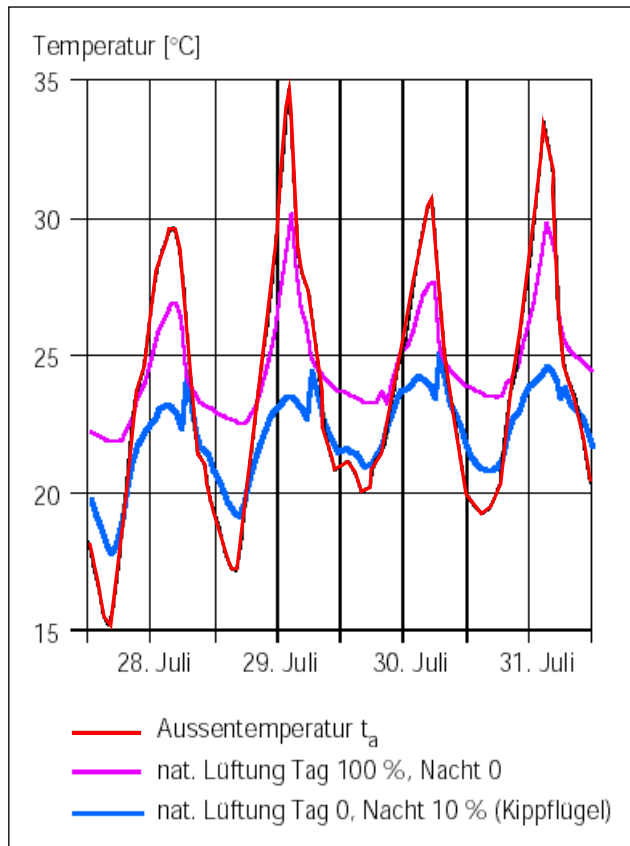


Abbildung 6-1: Temperaturgang bei unterschiedlichem Lüftungsverhalten; rot – Außenluft, lila – Fenster tagsüber geöffnet, nachts geschlossen; blau – Fenster tags geschlossen, nachts gekippt (aus Zimmermann, 1999)

Abbildung 6-1 zeigt, wie sich Lüftung auf die Innentemperaturen auswirkt. Hier stellt die rote Kurve die Außentemperaturen dar, die in der viertägigen Hitzeperiode zwischen 15 und 35°C schwankte. Sind tagsüber die Fenster geöffnet und nachts geschlossen (lila Kurve), wärmt sich die Raumluft tags stark auf und kühlt nachts nur wenig ab. Sind nachts die Fenster gekippt und tagsüber geschlossen (blaue Kurve), so kühlt die Raumluft nachts gut ab, erreicht jedoch nicht die Minimumtemperaturen der Außenluft. Tagsüber bleibt die Raumluft angenehm temperiert. Außerdem ist zu erkennen, dass sich die Raumluft auch bei richtigem Lüftungsverhalten mit zunehmender Dauer einer Hitzeperiode langsam erwärmt.

Folgende Sachverhalte gelten u.a. für Innenraumtemperaturen:

- Innenraumtemperaturen weisen einen ausgeglicheneren Temperaturtagesgang als die Außenluft auf (Speicherwirkung der Wände).
- Mit zunehmender Dauer einer Hitzeperiode erwärmt sich das Gebäude, so dass die Innentemperaturen langsam zunehmen.
- Durch Lüftung in den Nachtstunden kann die Innenraumtemperatur deutlich gesenkt werden.

Die Lüftung ist dann am effizientesten, wenn quergelüftet werden kann (offene Fenster auf gegenüberliegenden Gebäudeseiten). Bei der natürlichen Lüftung ist jedoch entscheidend, dass draußen eine gerichtete Luftbewegung vorhanden ist. Bei *Windstille* findet auch bei geöffneten Fenstern kaum ein Luftaustausch statt.

Ziel muss es folglich sein, den Luftaustausch vor allem nachts zu erhalten, denn dieser sichert eine effiziente Belüftung der Innenräume. Die Durchlüftung von Innenräumen bewirkt einen Abtransport der wärmeren Raumluft. Dadurch kühlen im Lauf der Nacht auch die Wände und Decken etwas ab. Fer-

ner wird ein leichter Luftzug bei Wärmebelastung thermophysiologisch günstig.

Bei unseren Aktivitäten im Außenbereich (Freizeit, Erholung, Wege) ist eine möglichst große Klimavielfalt günstig, da dann die Bereiche aufgesucht werden können, die dem jeweiligen Temperaturbedürfnis am Nächsten kommen.

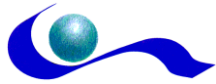
6.1.3 Lufthygienische Belastung

Neben den thermischen Belastungen sind wir bei unseren Aktivitäten meist auch lufthygienischen Belastungen ausgesetzt. Tabelle 6-3 zeigt eine entsprechende Zusammenstellung.

Tabelle 6-3: Lufthygienische Belastung und Ausweichmöglichkeit in Abhängigkeit von der Aktivität

Aktivität	Raumbezug	Zeitbezug	Ausweichmöglichkeit	Ziel	Beeinflussbare Parameter (Stadtplanung)
Arbeiten, Schule usw.	überwiegend Innenräume	tags	Nein	Geringe Immission (hoher Luftaustausch)	Lage zu Emittenten Bebauungsdichte
Schlafen (körperliche Regeneration)	überwiegend Innenräume	nachts	Nein	Geringe Immission (hoher Luftaustausch)	Lage zu Emittenten Lokale Windsysteme erhalten Bebauungsdichte
Freizeit, Erholung	Außenbereich + Innenräume	Tag, frühe Nachtstunden	Ja	Geringe Immission	Sportanlagen, Freizeitanlagen nicht in hoch belasteten Zonen
Wege	überwiegend Außenbereich	Tag und Nacht	Bedingt	Weniger wichtig, da kurze Aufenthaltsdauer	Entflechtung Kfz-Verkehrswege - Fußwege

In natürlich belüfteten Innenräumen hängt die Schadstoffkonzentration von der Lage und Entfernung zu Emittenten ab. Dieser von außen geprägten Belastung kann in der Regel nicht ausgewichen werden. Von Seiten der Stadtplanung ist im Bereich von größeren Emittenten (in der Regel Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen) die Durchlüftung nicht einzuschränken. Neue Wohngebiete sollten nicht in direkter Nachbarschaft zu diesen Schadstoffquellen entstehen.



7 Klimafunktionskarte

Die Klimafunktionskarte zeigt eine flächendeckende, detaillierte Darstellung der thermischen und dynamischen Verhältnisse des klimatischen Ist-Zustandes. Dabei gibt sie in erster Linie die Verhältnisse während autochthoner Wetterlagen, also windschwacher austauscharmer Hochdruckwetterlagen wieder. Diese prägen das städtische Mikroklima. Über die Darstellung der Luftleitbahnen werden jedoch auch die auf alle Wetterlagen bezogenen, langjährigen mittleren Windverhältnisse berücksichtigt.

Die Ableitung von räumlich-funktionalen klimatischen Einheiten basiert dabei auf einer gemeinsamen Betrachtung der vorhandenen Klimafaktoren (z.B. Flächennutzung) und den Ergebnissen von Modellrechnungen (FITNAH, Durchlüftung, Bioklima, Kaltluftproduktion). Die Ergebnisse werden in einer Klimafunktionskarte dargestellt; die formal auf dem Entwurf der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1 (VDI, 1994) basiert.

Da Vorgänge in der unteren Atmosphäre betrachtet werden, sind die Übergänge zwischen den klimarelevanten Flächen („Klimatope“) fließend, d.h. die Abgrenzungen in der Klimafunktionskarte sind nicht als „scharfe“ Grenzen, sondern eher als „Grenzsäume“ zu sehen. Ebenso besitzen die dargestellten Pfeilsymbole „symbolhaften“ Charakter, d.h. aus ihrer Lage und Größe auf der Karte lassen sich keine exakten, quantitativen Angaben (z.B. zu Reichweite oder Mächtigkeit der Strömungen) ableiten.

Um einen Eindruck von den lokalklimatischen Verhältnissen im Untersuchungsgebiet zu bekommen, werden im Folgenden die auf der Klimafunktionskarte dargestellten Einheiten allgemein erläutert und dann räumlich zugeordnet. Die zugehörige Legende ist im Anhang dargestellt.

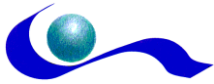
7.1 *Klimatope*

Klimatope beschreiben räumliche Einheiten mit ähnlichen mikroklimatischen Ausprägungen. Klimatisch bedeutsam sind dabei vor allem die aktuelle Flächennutzung, das Relief, die Oberflächenstruktur, die Bodenbeschaffenheit und die Vegetation. Die Ergebnisse der Modellrechnungen liefern zusätzliche Anhaltspunkte für die Zuordnung und Abgrenzung der Klimatope.

Die Bezeichnungen (Gewässerklima, Freilandklima etc.) stammen aus dem o.g. Entwurf der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1. Sie deuten zwar auf die entsprechenden Nutzungen, dürfen aber generell nicht mit diesen gleichgesetzt werden. Zwar finden sich im Klimatop oftmals große Anteile der entsprechenden Nutzung (z.B. bei Wald- oder Wasserflächen), entscheidend ist aber stets die klimatische Qualifizierung (Klimafunktion) des Gebiets. Die Bezeichnung ist daher sekundär. Die Klimafunktionskarte ist also keine „eingefärbte“ Realnutzungskarte.

7.1.1 **Gewässerklima**

Wasserflächen mit ausreichender Größe (> 1 ha) wirken ausgleichend auf den Temperatur- und Feuchtehaushalt ihrer Umgebung. Die erhöhte Verdunstung kann allerdings auch zu vermehrter Nebelbildung führen, wenn sich das Gewässer z.B. in einem Kaltluftsammlgebiet befindet. Wie weit Temperaturerniedrigung bzw. Feuchteerhöhung in ein bebautes Gebiet hinein spürbar sind, hängt von der Ufergestaltung (offen, Damm, Wand), der Bebauungsdichte und der Breite der zum Gewässer mündenden Straßen ab. In Japan durchgeführte Messungen belegen z.B., dass bei 100 m breiten, senkrecht zum Fluss verlaufenden Straßen in einer Entfernung von 50 m zum Ufer eine Temperaturreduktion von etwa 2 K erfolgt. Nach etwa 300 m wurde immerhin noch eine Temperaturabsenkung um 1 K ermittelt. Änderungen der relativen Luftfeuchtigkeit waren bei dicht bebauten Gebieten nur bis maximal 50 m nachweisbar, bei aufgelockerter Bebauung dagegen bis zu einer Entfernung von 150 m (Kuttler 1993).



Ob sich zwischen einem innerstädtischen Wasserkörper und seiner bebauten Umgebung bei strahlungsreichen Wetterlagen eine „Gewässer-/Stadtwindzirkulation“ entwickelt – vergleichbar der gröÙerskaligen „Land-Seewindzirkulation“ – hängt von der Größe und Tiefe des Gewässers ab. Ist das Gewässer groß genug, kann sich tagsüber eine Ausgleichsströmung vom kühleren Wasserkörper zum überwärmten bebauten Gebiet einstellen. Nachts hingegen wird aufgrund des Fehlens eines ausreichend großen Temperaturgradienten zwischen warmem Gewässer und überwärmten Stadtkörper entweder keine oder nur eine sehr schwache Luftzirkulation entstehen (Kuttler 1993)

Aufgrund ihrer glatten Oberfläche begünstigen Wasserflächen das Überströmen von Luftmassen. Befinden sie sich innerhalb einer Luftleitbahn, so erhöhen sie deren Leistungsfähigkeit und verbessern zudem die Qualität der Luftmassen, da Gewässer als Senke für eine Vielzahl in der Luft enthaltener gas- und partikelförmiger Schadstoffe zu betrachten sind. Erklärt wird dieser positive lufthygienische Effekt von Wasser dadurch, dass sich die Ablagerungsgeschwindigkeit von sehr kleinen Teilchen über einer Wasseroberfläche erhöht, weil die Teilchen in der feuchten wassernahen Luft rasch anwachsen (Kuttler 1991).

Beispiele für Gewässerlima (dunkelblau): Ölper See, Südsee, Heidbergsee, Kreuz-, Mittel- und Schapenbruchteich. Dagegen haben kleinere Gewässer wie der Schapenteich oder Raffteich praktisch keine Klimawirkung. Die Wirkung von Oker, Schunter und Wabe bezieht sich hauptsächlich auf ihre Eigenschaft als Durchlüftungsbahn (nicht explizit ausgewiesen sind in diesem Zusammenhang der Mittellandkanal und der Zweigkanal Salzgitter).

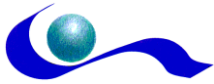
7.1.2 Freilandklima

Versiegelung:	< 10 %
Bebauung:	nur einzelne Gebäude bzw. Straßen
Vegetation:	flächendeckende landwirtschaftliche Nutzung bzw. Brachen mit niedriger oder jahreszeitlich bedingt fehlender Vegetation; nur einzelne Baumpflanzungen

Das Freilandklima zeichnet sich durch stark ausgeprägte Tagesgänge von Strahlung, Lufttemperatur und Feuchte aus. Es herrschen Windoffenheit und eine intensive Kalt- bzw. Frischluftproduktion vor. Dabei entsteht Kaltluft aufgrund der nächtlichen Ausstrahlung, wodurch eine starke Abkühlung der bodennahen Luftschichten erzielt wird. Je nach der Beschaffenheit des Entstehungsgebietes (Neigung, Lage, Bewuchs) bleibt die kühle Luft auf der Fläche liegen oder sie fließt - da sie dichter und damit schwerer ist als warme Luft - der Schwerkraft folgend ab. Diese Bewegung muss man sich wie die eines zähen Breies oder von Honig auf einer geneigten Unterlage vorstellen. Über die für das Abfließen der Kaltluft nötige Neigung gibt es unterschiedliche Angaben in der Fachliteratur. Während Gerth (1986) einen Wert von 2° (3,5 %) angibt, sprechen Häckel (1993) und Barlag (1993) von Werten zwischen 0,5 und 1° (1 bis 2,2 %). Einigkeit besteht jedoch darin, dass neben der Neigung die Rauigkeit des Untergrundes eine wichtige Rolle in Bezug auf die Abflussmöglichkeiten spielt.

Die Bedeutung der Kaltluft in ihrer Wirkung für den Menschen muss differenziert betrachtet werden. Fließende saubere Kaltluftmassen in ein überwärmtes Stadtgebiet ein, so bringen sie Abkühlung und frische Luft, sie sind also thermisch und lufthygienisch als günstig zu beurteilen. Nimmt die Luft auf ihrem Weg in die Stadt Schadstoffe auf, so wirkt sie zwar immer noch kühlend, trägt aber nicht mehr zur Verbesserung der Luftgüte bei. Sammelt sich die kalte Luft in Mulden und Talauen, so ist sie sowohl thermisch als auch lufthygienisch als ungünstig zu bewerten: Es kommt zu erhöhter Frost- und Nebelbildung und durch die stabile Schichtung zur Anreicherung von Luftschadstoffen, sofern Emittenten im Sammelgebiet liegen.

Nahezu die gesamte Peripherie von Braunschweig fällt in die Kategorie „Freilandklima“ (hellblau). Der



Einfluss auf die Siedlungsflächen ist aufgrund des geringen Reliefs groß. Hier entsteht Kaltluft (die Produktion wurde anhand von Modellrechnungen quantifiziert), die über die regionalen und lokalen Luftströmungen effektiv transportiert wird, wie die Durchlüftungsanalyse zeigt. Die Freiflächen haben also zwei, nicht unbedingt korrelierte Eigenschaften: (1) Sie produzieren Kaltluft. (2) Sie transportieren Kaltluft (vgl. 7.2.3).

7.1.3 Waldklima

Versiegelung:	< 10 %
Bebauung:	nur einzelne Gebäude bzw. Straßen
Vegetation:	flächendeckende Bepflanzung mit Bäumen meist einheitlicher Höhe

Die klimatisch-lufthygienischen Eigenschaften des Waldes – insbesondere der typische Tagesgang der Temperatur und die Filterwirkung – sind beim Laubwald nur im Sommerhalbjahr ausgeprägt. Nach dem Laubfall entspricht die Situation tendenziell eher dem Typ „Freiland“. Beim Nadelwald sind die Eigenschaften des Waldes dagegen ganzjährig ausgeprägt. Wegen des dichteren Stammraums ist die bodennahe Luft allerdings wenig mobil.

Die Funktion von Wäldern im Hinblick auf Kaltluftproduktion und -abfluss ist in der Literatur nicht unumstritten (Gerth 1986, Hauf u. Witte 1985, Noack 1986, Parlow 1983). Die Angaben zur Kaltluftproduktivität eines Waldes reichen von $0,6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$ bis weit über $20 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$. Bei Wäldern ist die Hauptenergieumsatzfläche nicht der Erdboden, sondern das Kronendach. Die dort durch nächtliche Ausstrahlung abgekühlten Luftmassen sinken in den Stammraum und werden dort zum Teil wieder erwärmt. Dies ist nach einer älteren Untersuchung von Baumgartner (zit. aus Gerth 1986) der Grund für die im Vergleich zu Freiflächen geringe Kaltluftproduktionsrate von Wäldern. Gossmann dagegen (zit. aus Parlow 1983) sieht eben diesen Kreislauf als Ursache für die kontinuierliche Kaltluftproduktion von Wäldern.

Ungeklärt ist zudem, ob bzw. in welchem Maße die kühlen Luftmassen aus dem Stammraum abfließen können oder ob der Abfluss hauptsächlich oberhalb des Kronendaches stattfindet. So kamen z.B. Hauf und Witte (1985) in ihrer Fallstudie zu dem Ergebnis, dass der Kronenraum für den Kaltluftabfluss ein Strömungshindernis darstellt, während der lichte Stammraum relativ ungehindert durchströmt werden kann. Andere Untersuchungen erbrachten dagegen Hinweise darauf, dass der Kaltluftabfluss vorwiegend oberhalb des Kronendaches erfolgt, weil dort ein stärkeres Geschwindigkeitsmaximum gefunden wurde als im Stammraum (Finke u. Löbel, zit. aus KRdL 1993). Parlow (1983) hat bei Messungen im Gelände festgestellt, dass sich der Kaltluftabfluss an bewaldeten Hängen in erster Linie im Bereich von Hohlformen, also Tälern und Mulden vollzieht und weniger als flächiger Abfluss über den gesamten Hang. Auch wenn die Abflussvorgänge noch nicht vollständig geklärt sind, so hat sich in jüngerer Zeit doch die Ansicht durchgesetzt, dass bewaldete Hänge sehr effektive Kaltluftproduzenten sind, weil sie erstens ein größeres Kaltluftvolumen produzieren als Freiflächen und weil sie zweitens durch die zeitliche Verzögerung des Kaltluftabflusses auch tagsüber noch zu einer Abkühlung der Umgebung beitragen können. Lediglich in Bezug auf die Temperatur sind Freilandflächen die „besseren“ Kaltluftproduzenten, d.h. über Freilandflächen kühlt die Luft stärker ab als über Wäldern. In bestimmten Fällen können Wälder aber auch Strömungshindernisse für Kaltluftabflüsse darstellen, z.B. wenn ein dichter Waldstreifen ein ansonsten unbewaldetes Tal quert.

Im Stadtgebiet gibt es klimarelevante Waldflächen (dunkelgrün) hauptsächlich in der Peripherie. Das Relief spielt in allen Fällen keine Rolle. Beispiele: Geitelder Holz, Timmerlaher Buch, Waldflächen um Kanzlerfeld, Meineholz/Sundern, Querumer Forst, Dibbesdorfer Holz, Schapener Forst, Buchhorst, Mascheroder/Rautheimer Holz.

7.1.4 Parkklima

Versiegelung	< 20 %
Bebauung:	nur einzelne Gebäude bzw. Straßen
Vegetation:	Bepflanzung unterschiedlicher Höhe bei eingestreuten offenen Grünflächen; teilweise kleinere Wasserflächen

Zu diesem Klimatop gehören Flächen mit wenig oder keiner Bebauung und mit geringem bis mäßigem Großgehölzbestand. Hierzu zählen kleinere innerstädtische Grünflächen (Mindestgröße 1 ha), durchgrünte Sportanlagen, Friedhöfe, größere Parkanlagen und Kleingartenanlagen. Je nach Bewuchs sind sowohl die Lufttemperatur und der Strahlungsgang als auch die Windgeschwindigkeit stark gedämpft. In Abhängigkeit von ihrer Ausdehnung und Lage erfüllen diese Flächen sowohl klimatische und lufthygienische, als auch weitere ökologische Funktionen im städtischen Umfeld (siehe *Tabelle 7-1*), die allerdings häufig durch unterschiedliche Nutzungen (Erholungsnutzung, Verkehrswege und -anlagen, Randbebauung) beeinträchtigt sind (KRdL 1993).

Die klimatische Wirksamkeit von Freiflächen ist im Wesentlichen von ihrer Größe, den Reliefbedingungen und der Vegetationsstruktur aber auch von der Dichte und Durchlässigkeit der Randbebauung abhängig. Intensität und Reichweite der kühlenden Wirkung von Grünflächen steigen im Allgemeinen mit zunehmender Größe an. Bei Flächengrößen unter 5 ha sind kaum noch Temperaturdifferenzen zur bebauten Umgebung festzustellen.

Tabelle 7-1: Auswirkungen von Grün- und Kleingartenanlagen

Stadtklimatische Ausgleichsfunktionen	Weitere Funktionen
Erhöhung der Klimavielfalt	Rückhaltung und Versickerung von Regenwasser (durch die unversiegelten Flächen kann Niederschlagswasser versickern und dem Grundwasserkörper zugeführt werden; bei Starkregenereignissen wird dadurch außerdem die Kanalisation entlastet)
Kaltluftproduktion in der Nacht	Lebensraum für Tier- und Pflanzenarten
Schattenspende durch Vegetation tagsüber	Auflockerung des Stadtbildes
Erhöhung der Luftfeuchtigkeit durch die Verdunstungsleistung der Pflanzen	Erholungsfunktion
Temperatenausgleich im Sommer	Entlastung der Erholungsgebiete im Umfeld der Stadt
Bei geringem aerodynamischen Widerstand (also kein dichter Baumbestand) Wirkung als Luftleitbahn	Soziale Funktion (Kommunikation, Nachbarschaft,...)
z.T. Filterfunktion für Stäube (FRANKE 1977) und in geringem Maße sogar für gasförmige Luftbeimengungen (KRdL 1988)	Verringerung von Transportwegen (lokal erzeugte Produkte)

Flächen mit Parkklima (hellgrün) liegen in der Innenstadt und im Übergang zur Peripherie. Einige Bereiche hängen zusammen und bilden Achsen für die Durchlüftung. Beispiele: Achse Südsee – Richmond Park – Bürgerpark, Bereich Am Queckenberg, Bereich am Golfclub, Bereich Hauptfriedhof – Prinz Albert Park – Franzisches Feld.

7.1.5 Siedlungsklima

Versiegelungsgrad:	< 50 %
Bebauungsstruktur:	vorwiegend Einfamilien- bzw. Reihenhäuser
Nutzung:	fast ausschließlich Wohnen

Das Siedlungsklima weist bereits eine deutliche Veränderung der Klimaelemente im Vergleich zum Freiland auf. Die relativ lockere Bebauung mit Einzelhäusern und kleineren Wohnblocks (meist nicht höher als 3 Geschosse), der geringe Versiegelungsgrad (< 50 %) und die gute Durchgrünung wirken jedoch einer stärkeren Überwärmung entgegen und unterstützen die Durchlüftung. Die schwache bis mäßige lufthygienische Belastung stammt in erster Linie vom Autoverkehr und vom Hausbrand. Insgesamt besitzt das Siedlungsklima für den Menschen günstige Eigenschaften.

Siedlungsklima (gelb) findet sich in der peripheren Wohngebieten. Beispiele: Lamme, Kanzlerfeld, Watenbüttel, Völkenrode, Bereich an der Hermann-Blank-Straße, Volkmarode, Rautheim.

7.1.6 Stadtklima

Versiegelungsgrad:	50 - 70 %
Bebauungsstruktur:	gemischte Bauweise (innerstädtische Blockrandbebauung, Reihenhäuser, Punkthochhäuser)
Nutzung:	vorwiegend Wohnen, teilweise Dienstleistungen
Emissionen:	verkehrliche und Hausbrandemissionen

Die Eigenschaften dieses Klimatops liegen zwischen den intensiven innerstädtischen Überwärmungsbereichen (Innenstadtklima) und den nur geringfügig überwärmten, locker bebauten Siedlungsbereichen (Siedlungsklima). Die deutlich geringere nächtliche Abkühlung im Vergleich zum Freilandklima findet ihre Ursachen in dem relativ hohen Versiegelungsgrad (zwischen 50 und 70 %), den eingeschränkten Be- und Entlüftungsmöglichkeiten und der nicht ausreichenden Durchgrünung. Die Bebauung ist meist blockförmig und mehrgeschossig (ca. 2 bis 5 Geschosse), die Bauhöhe variiert zum Teil stärker und es gibt bereits Straßenschluchten.

Die lufthygienische Situation in diesen Gebieten ist räumlich stark variabel. Grundsätzlich haben sich in jüngster Vergangenheit Verschiebungen derart ergeben, dass problematische Hausbrandemissionen in den Hintergrund treten, während verkehrliche Emissionen an Bedeutung gewinnen. Teilweise spielen hier auch räumliche Verlagerungen des Verkehrsaufkommens eine Rolle. Insgesamt müssen dem Klimaraum lufthygienisch und klimatisch mäßig belastende Eigenschaften zugeschrieben werden.

Das Klimatop „Stadtklima“ umrahmt die Innenstadt. Beispiele: Stöckheim, Bereich östlich des Südsees, Broitzem, Weststadt, Lehdorf, Gewerbegebiete nordöstlich der Ölpersees, Bechtsbüttel, Querum.

7.1.7 Innenstadtklima

Versiegelungsgrad:	> 70 %
Bebauungsstruktur:	uneinheitlich strukturierte, aber sehr dichte Bebauung
Nutzung:	Dienstleistungen, teilweise Wohnen
Emissionen:	überwiegend verkehrliche Emissionen

Das Innenstadtklima zeigt die stärksten Veränderungen der Klimaelemente gegenüber dem Freiland: stark erhöhte Temperaturen, sehr geringe nächtliche Abkühlung, geringe relative Feuchte und starke Einschränkung der Durchlüftung bei gleichzeitiger Böigkeit des Windes. Ursachen dafür sind die hochverdichtete Bebauung mit einem Versiegelungsgrad > 70 % und der geringe Grünflächenanteil sowie die zentrale Lage innerhalb des Stadtkörpers. Die Bebauung ist überwiegend höhergeschossig (> 3 Geschosse), zum Teil treten extreme Bauhöhenunterschiede auf und es finden sich zahlreiche Straßenschluchten. Ein weiteres wichtiges Kennzeichen ist die hohe lufthygienische Belastung, wobei

als Hauptemissionsquelle der Autoverkehr zu nennen ist. Das Innenstadtklima ist insgesamt als stark belastend für den Menschen einzustufen.

In den Innenstädten haben sich in den vergangenen Jahrzehnten verschiedene stadtklimatologisch relevante Veränderungen ergeben. Einerseits hat sich die Emissionssituation teilweise verbessert (durch technische Verbesserungen beim Hausbrand und Reduzierung der Emissionen des Individualverkehrs). Andererseits hat sich das thermische Gefüge bzw. die Belüftungssituation teilweise verschlechtert (durch Nachverdichtung in der Stadt und bauliche Erweiterungen am Stadtrand).

Das Innenstadtklima umfasst den gesamten inneren Stadtbereich mit der Altstadt im Zentrum.

7.1.8 Gewerbe- und Industrieklima

Versiegelungsgrad:	überwiegend > 70 %
Bebauungsstruktur:	überwiegend große Gebäude mit größeren Zwischenräumen
Nutzung:	gewerbliche Nutzungen
Emissionen:	verkehrliche und gewerbliche Emissionen

Der Klimatotyp Gewerbe- und Industrieklima gleicht in seiner klimatischen Ausprägung der Stadt- bzw. Innenstadtklimaten. Es handelt sich häufig um Flächen – insbesondere bei industrieller Nutzung – mit erhöhter Schadstoff- und Abwärmelast und ungünstigen bioklimatischen Bedingungen. Die typische industrielle Nutzung mit erheblichen Luftschadstoff- und Wärmeemissionen hat sich aber in vielen Großstädten bis auf wenige Standorte zurückentwickelt. Grundsätzlich unterscheiden sich Gewerbegebiete aber in jedem Fall dadurch von Wohngebieten, dass eine geringere Immissionsempfindlichkeit vorliegt, ein erhöhtes Verkehrsaufkommen vorauszusetzen ist und die Möglichkeit umfassender und rascher Emissionsminderungsmaßnahmen besteht.

Die größten zusammenhängenden Bereiche (rot) liegen im Norden an der A2 (Gewerbegebiete Ernst-Böhme-Straße, Hansestraße, Waller See, Kralenriede Ost, Industriestraße). Im Süden finden sich die Gewerbegebiete Frankfurter Straße, Friedrich-Seele-Straße und Rünigen. Kleinere Flächen liegen in der Peripherie der Innenstadt (Gliesmarode, Sudeten-/Varrentrapstraße).

7.1.9 Sonderflächen

Bei diesen Flächen handelt es sich um Sondernutzungen wie Bahnanlagen, Abwasserbeseitigungsanlagen, Abbau- bzw. Aufschüttungsflächen, die kleinräumig mit speziellen klimatisch-lufthygienischen Auswirkungen verbunden sein können.

Größere Gleisanlagen können freiland-ähnliche Eigenschaften aufweisen, wobei sie insbesondere örtlich bedeutsame Belüpfungsfunktionen übernehmen können. Der Schotterbelag führt zu thermisch und hygisch extremen Verhältnissen (große Tag-/Nachtunterschiede bei der Strahlungs- und Lufttemperatur). Bei freien Streckenabschnitten sind je Lage, Trassenführung und Randbewuchs lokale Belüftungswirkungen für die Umgebung möglich. Bei Streckenabschnitten mit hohem Anteil an Diesel-Triebfahrzeugen sind potentielle Belüftungswirkungen möglicherweise durch Emissionen insbesondere von SO₂ und Ruß beeinträchtigt (auch stärkere Lärmemissionen). Unter Umständen kann es lokal zu überhöhten Schadstoffbelastungen kommen. Bahndämme können als Strömungshindernis wirken.

Sonderflächen sind grau gekennzeichnet. Beispiele: Güterbahnhof, Abfalldeponie/Klärwerk Steinhof.

7.2 Luftleitbahnen

Um die städtische Gesamtsituation darzustellen, wurde – zusätzlich zu den FITNAH-Rechnungen (Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Volumenstrom) – die Durchlüftung mit einer Auflösung von 5 m simuliert. Die Modellrechnungen erfolgten sowohl für die Anströmrichtungen West und Südost als auch gemittelt über alle Windrichtungen (entsprechend der langjährigen Windrichtungsverteilung). Daraus ergeben sich Hinweise auf Durchlüftungsbereiche, die in der Klimafunktionskarte anhängig von ihrer Größe und Bedeutung als regionale bzw. lokale Luftleitbahnen dargestellt sind. Sie ermöglichen den Luftaustausch bei den jeweiligen Wetterlagen. Zu unterscheiden sind:

- **Autochthone Wetterlage** (selten): Schwachwind aus dem Südostsektor (Nacht), Schwachwind aus dem Ostsektor (Tag), Flurwind aus allen Richtungen (Nacht, stadteinwärts)
- **Allochthone Wetterlage** (häufig): Starkwind aus dem Westsektor (Tag und Nacht)

7.2.1 Regionale Luftleitbahnen

Unter den Luftleitbahnen von regionaler Bedeutung sind großräumige Strukturen zu verstehen, die aufgrund ihrer geringen Rauigkeit, ihrer Orientierung relativ zu den Hauptwindrichtungen und geringer Schadstoffbelastung den Austausch belasteter Luftmassen in Siedlungsgebieten gegen weitgehend frische Luft aus der Umgebung begünstigen. Häufig handelt es sich dabei um Flusstäler, welche die Siedlungsgebiete queren.

Auf der Klimafunktionskarte sind 11 regionale Luftleitbahnen durch einfache bzw. Doppelpfeile ausgewiesen (siehe folgende Tabelle).

Die Lage wird auf der folgenden Abbildung 7-1 gezeigt. Der Doppelpfeil symbolisiert die beidseitige Wirkung, wie etwa die Luftleitbahn im Bereich Flugplatz (R1). Sie ist bei westlichen und östlichen Winden aktiv. Ein einfacher Pfeil symbolisiert die Dominanz einer Richtung, d.h. die Klimafunktion bezieht sich hauptsächlich auf diese Richtung. Ein Beispiel ist die Leitbahn R10 entlang der B1 im Westen. Hier dominiert der Westwind. Bei Ostwind liegt der Bereich im Lee der Stadt; die schwache Strömung wird dann völlig abgeblockt. Im Fall der Leitbahn R11 entlang der Oker im Nordwesten zeigt der Pfeil stadtauswärts (schwacher nächtlicher Wind aus dem Südwesten); die Gegenströmung (Nordwind) kommt praktisch nicht vor.

Tabelle 7-2: Regionale Luftleitbahnen auf der Klimafunktionskarte

Nr.	Lage	Regionale Luftleitbahn	Orientierung
R1	NO	Bereich Flugplatz	W-O (Doppelpfeil)
R2	NO	entlang der Schunter	WSW-ONO (Doppelpfeil)
R3	NO	entlang des Sandbachs	WNW-OSO (Doppelpfeil)
R4	O	entlang der Wabe	NNW (einfacher Pfeil)
R5	O	Güterbahnhof	WSW-ONO (Doppelpfeil)
R6	SO	südlich von Rautheim	NW (einfacher Pfeil)
R7	SO	südlich von Mascherode	WNW (einfacher Pfeil)
R8	S	Okeräue	N (einfacher Pfeil)
R9	SW	südlich von Broitzem	ONO (einfacher Pfeil)
R10	W	südlich von Lehdorf (B1)	ONO (einfacher Pfeil)
R11	NW	entlang der Oker (inkl. Abzweig)	NW (einfacher Pfeil)



Abbildung 7-1: Lage der regionalen Luftleitbahnen (R1–R11) sowie der lokalen Luftleitbahnen (L1–L5).

7.2.2 Lokale Luftleitbahnen

Hier handelt es sich um kleinräumige Strukturen, die den Luftaustausch innerhalb der Stadt begünstigen. Voraussetzungen sind geringe Bodenrauigkeit, ausreichende Länge und Breite sowie ein möglichst geradliniger Verlauf der Strömungsbahnen. Als Faustregel für die Breite der Bahn wird im Hand-

buch „Stadtklima und Luftreinhaltung“ (KRdL 1988) eine Mindestbreite von der 10fachen Höhe der Randbebauung genannt, andere Quellen fordern eine Mindestbreite von 50 m und eine Mindestlänge in einer Richtung von 1000 m (Mayer, Beckröge u. Matzarakis, 1994). Wichtige Merkmale sind außerdem ihre Ausrichtung der Leitbahn durch vorhandene Strukturen und die Orientierung in Bezug auf die belüftungsrelevanten Windrichtungen. Als Beispiele wären Grünflächen mit niedrigem Bewuchs, Wasserflächen, mehrgleisige Bahnanlagen und größere Straßen zu nennen. Die Kanalisierung der Luftströmungen ist in starkem Maße von den jeweiligen Strömungsrichtungen der Wetterlagen abhängig. Während einer windschwachen Hochdruckwetterlage (autochthone Wetterlage) dienen die Luftleitbahnen als potentielle Einströmschneisen für Kaltluftabflüsse oder Flurwinde. Die Luftgüte wird dabei zunächst nicht betrachtet, d.h. die transportierten Luftmassen können sowohl belastet (z.B. durch Straßen) als auch unbelastet sein (z.B. wenn sie über Grünanlagen führen).

Auf der Klimafunktionskarte sind 5 lokale Luftleitbahnen ausgewiesen (siehe folgende Tabelle). Die Lage ist auf der obigen Abbildung gezeigt. Die lokalen Luftleitbahnen sind durch einfache Pfeile gekennzeichnet; eine beidseitige Wirkung (Doppelpfeil) kommt nicht vor. Sie wird z.B. bei der Leitbahn L1 die Westanströmung durch die große Rauigkeit stark unterdrückt. Umgekehrt ist die schwache Ostströmung im Lee der Stadt bei L5 (Weststadt) nicht mehr wirksam.

Tabelle 7-3: Lokale Luftleitbahnen auf der Klimafunktionskarte

Nr.	Lage	Lokale Luftleitbahn	Orientierung
L1	NO	Südrand von Querum	WSW
L2	O	Güterbahnhof (Abzweig Nordost)	NO
L3	S	A39	NNO
L4	SW	Bahnlinie nördlich von Broitzem	O
L5	SW	Schneise in der Weststadt	O

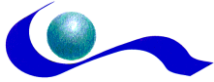
7.2.3 Flächen mit Durchlüftungsfunktion (nicht dargestellt)

Im Gegensatz zu den Luftleitbahnen, welche die Luft kanalisieren, handelt es sich hier um breitere, flächenhafte Strukturen. Sie sind charakterisiert durch geringe Rauigkeit, grobe Ausrichtung nach der Windrichtung (Haupt- bzw. Nebenmaximum) und Bezug zu einem Wirkungsraum (Stadt). Da dies auf viele Freiflächen in der Peripherie zutrifft („Freilandklima“), ist diese Klimafunktion auf der Karte nicht explizit dargestellt (die vielen erforderlichen Pfeile gingen zu Lasten der Übersicht). So liefern z.B. die Freiflächen im Südwesten bei Starkwind aus dem Westsektor einen breiten Zustrom kühler Luft in Richtung Stadt. Eine Luftleitbahn entsteht erst durch Kanalisierung (regionale Leitbahn R9, lokale Leitbahnen L4 und L5). Die Thematik wird ausführlich im Abschnitt 8.1 erläutert.

7.2.4 Kaltluftabflüsse (nicht dargestellt)

Freilandflächen bilden während wolkenarmer und windschwacher Nachtstunden Kaltluft. In ebenem Gelände bleibt die Kaltluft vor Ort liegen und kühlt stärker ab als bewegte Kaltluft. In geneigtem Gelände setzt sich die Kaltluft entsprechend den Geländegradienten in Bewegung.

Bei ausreichendem Relief kommt es zur Ausbildung von Hang- bzw. Bergwinden mit talabwärts gerichteter Strömung in der Nacht. Klimarelevante Kaltluftabflüsse konnten anhand der Modellrechnungen im Stadtgebiet nicht festgestellt werden. Es gibt keine Bereiche mit der erforderlichen Hangneigung. Dies betrifft insbesondere den in der früheren Untersuchung (GEO-NET, 2006) dargestellten Bereich am Geitelder Berg.



7.2.5 Strömungshindernisse (nicht dargestellt)

Kompakte Bebauung, dichte Gehölzbestände oder Dämme führen zur Unterbrechung oder Verzögerung von Luftströmungen und zum Luftstau. In erster Linie betrifft dies Schwachwindsituationen, bei denen der Horizontalaustausch eingeschränkt und durch Barrierewirkung zusätzlich mehr oder weniger unterbunden wird. Auch thermische Überhitzung (z. B. von Straßen oder Bahnanlagen) kann zu einem Barriere-Effekt führen (Gesamthochschule Kassel 1991). Hier sei noch auf die Ambivalenz bestimmter Strukturen hingewiesen: So kann eine breite geradlinige Straße oder eine Bahnlinie die Funktion einer Luftleitbahn erfüllen und gleichzeitig eine thermische und/oder dynamische Barriere für Kaltluftströme darstellen. Effektive Strömungshindernisse, welche die regionalen bzw. lokalen Luftleitbahnen stören, wurden im Stadtgebiet nicht gefunden.

8 Planungshinweiskarte

Auf der Basis der Klimafunktionskarte wurde unter Einbeziehung der vorliegenden lufthygienischen Messdaten bzw. Berechnungen die Planungshinweiskarte erstellt. Im Gegensatz zur weitgehend wertfreien Darstellung auf der Klimafunktionskarte werden hier die Freiflächen hinsichtlich ihrer klimatisch-lufthygienischen Ausgleichsfunktion und die Siedlungsflächen hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit gegenüber einer Siedlungsverdichtung oder -erweiterung in mehrere Klassen eingeteilt. Die Luftleitbahnen werden differenziert in weitgehend unbelastete und schadstoffbelastete Bahnen sowie hinsichtlich ihrer primären Wirkungsrichtung. Dargestellt sind außerdem die lufthygienisch belasteten Bereiche entlang der Hauptverkehrsstraßen sowie die Gewerbe- und Industriegebiete. Vergleiche hierzu die Legende im Anhang. Die Planungshinweiskarte ist also das Resultat einer Bewertung der Klimafunktionen hinsichtlich ihrer klimatisch-lufthygienischen Wirkung. Dies ist die Basis für allgemeine Planungsempfehlungen bzw. Erhaltungs- und Entwicklungsziele auf der Ebene der Flächennutzungsplanung (siehe Kapitel 9).

8.1 Freiflächen

Die Einstufung der Freiflächen (inkl. Wald) hinsichtlich ihrer klimatisch-lufthygienischer Ausgleichsfunktion beruht auf (a) ihrer Kaltluftproduktivität und (b) ihrem Bezug zum Siedlungsraum. Die folgende Bewertungsmatrix zeigt die Vorgehensweise bei der Einteilung der Freiflächen. Es resultieren vier Kategorien der klimatisch-lufthygienischer Ausgleichsfunktion (sehr hoch, hoch, mittel, gering).

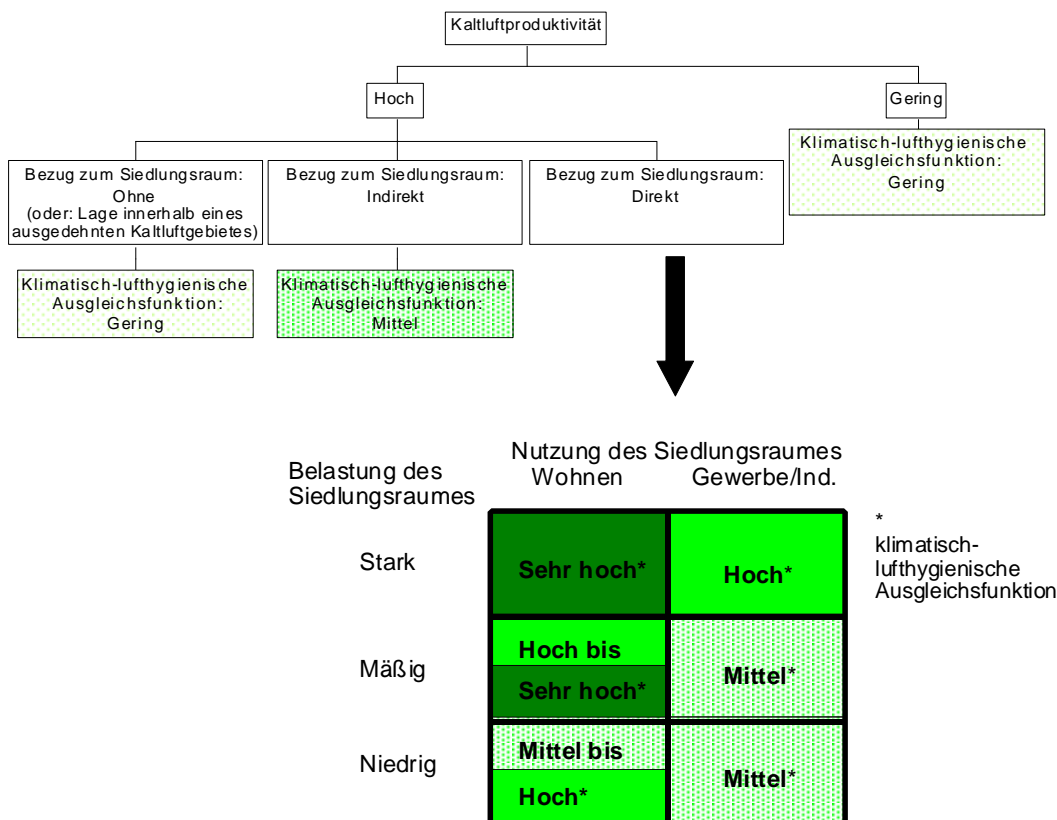
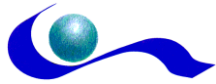


Abbildung 8-1: Bewertungsmatrix Freiflächen

Unter „Belastung des Siedlungsraumes“ ist die Synthese aus thermischer Belastung (Überwärmung) und lufthygienischer Belastung (Immission) zu verstehen. Das gezeigte Schema (ebenso wie jenes zur



Klassifizierung der Siedlungsflächen) bildet nur einen Anhaltspunkt für die Klassifizierung der Flächen. Weitere Aspekte fließen mit ein, die sich aus der räumlichen Gesamtschau aller vorhandenen Datenebenen ergeben und die sich in einem solchen Schema nicht darstellen lassen. So spielt es z.B. eine Rolle, ob die Ausgleichsfunktion einer Freifläche nur lokal für die unmittelbar angrenzenden Siedlungsteile wirksam wird oder aber zur Belüftung ganzer Stadtteile beiträgt.

Kaltluftentstehungsgebiete und Waldbestände mit direktem Bezug zum Siedlungsraum (meist unterstützt durch Luftleitbahnen) fallen in die Kategorie sehr hoch bis hoch, wobei die Bedeutung mit zunehmender Belastung des Wirkungsraumes ansteigt. Anders ausgedrückt: Freiflächen, die als Kalt- bzw. Frischluftlieferanten für mäßig bis stark belastete Siedlungsgebiete mit überwiegender Wohnnutzung dienen, erhalten eine höhere Bewertungsstufe als Flächen, die in Wechselwirkung mit Gewerbe- oder Industriegebieten oder niedrig belasteten Wohngebieten stehen. Zusammenhängende größere Waldflächen wurden generell in die Klassen hoch oder sehr hoch eingestuft, um ihrer besonderen klimatischen Gunstfunktion und ihrer Bedeutung als Naherholungsgebiete für den Menschen Rechnung zu tragen.

8.1.1 Freiflächen mit sehr hoher klimatisch-lufthygienischer Ausgleichsfunktion

Die Planungshinweiskarte zeigt einen hohen Anteil von Freiflächen mit sehr hoher klimatisch-lufthygienischer Ausgleichsfunktion (dunkelgrün). Die meisten Freiflächen (inkl. der Waldflächen) der Peripherie gehören dazu. Ferner fallen die meisten innerstädtischen Freiflächen in diese wichtigste Kategorie.

Es gibt allerdings keinen einheitlichen Grund für diese Qualifizierung. Je nach Lage, Größe, Orientierung und Anbindung an die belasteten Siedlungsflächen (Ausgleichsfunktion) müssen man differenziert werden. Um dies zu veranschaulichen, wurden die als „sehr hoch“ bewerteten Freiflächen grob in die 8 Bereiche gegliedert (vgl. Abbildung 8-2). Eine eindeutige Abgrenzung der einzelnen Bereiche kann nicht getroffen werden, die Darstellung dient hauptsächlich der Orientierung.

Die Bezeichnung der Bereiche spiegelt die Lage relativ zum Stadtzentrum wieder. Ausnahme ist der Bereich „Z“ – das Zentrum der Stadt mit den vielen kleinräumigen Freiflächen, die für die lokale Kühlung der Luft und Reduktion der Luftbelastung wichtig sind.

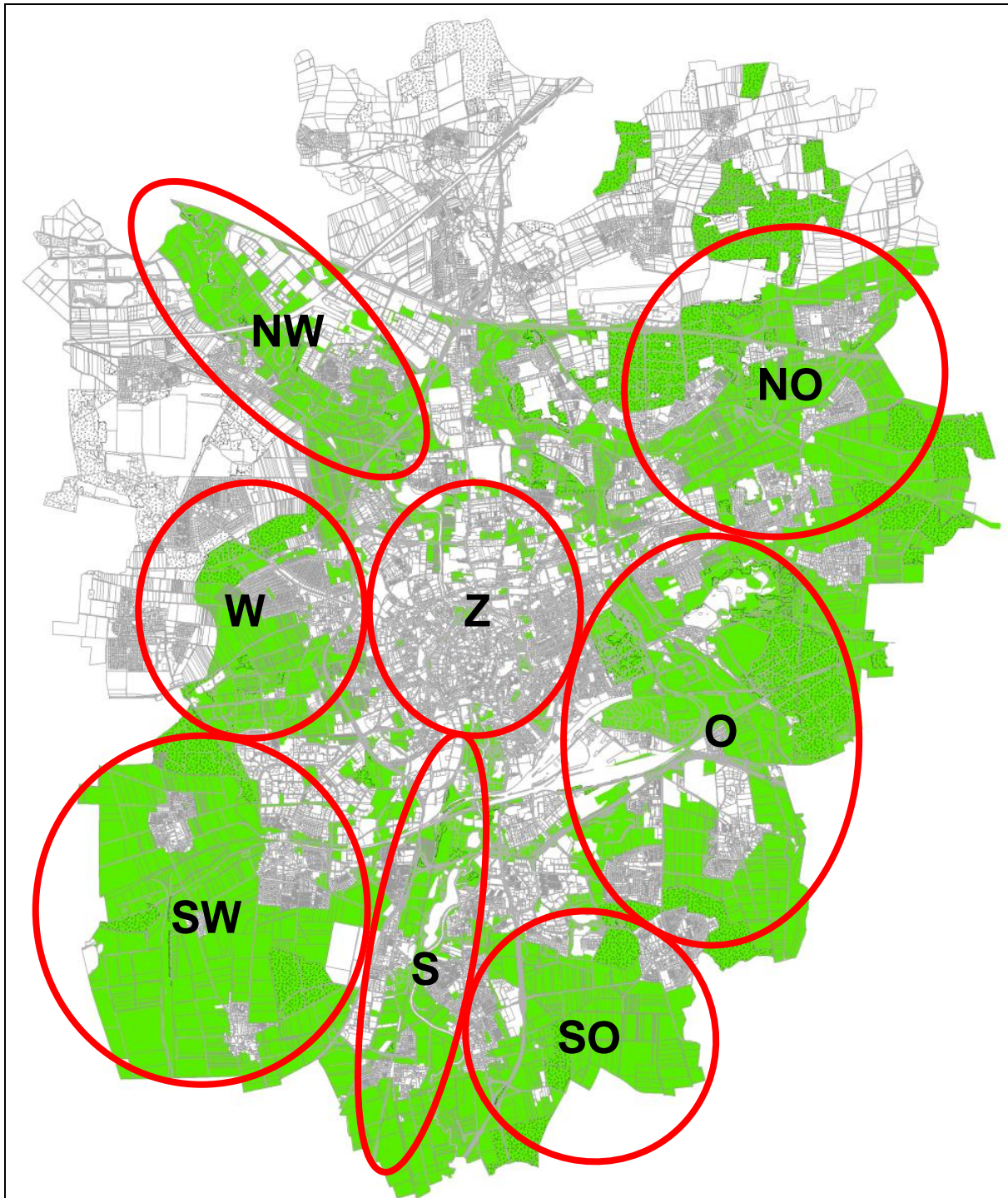


Abbildung 8-2: Schema der Bereiche mit Freiflächen (inkl. Wald), die auf der Planungshinweiskarte eine sehr hohe klimatisch-lufthygienische Ausgleichsfunktion aufweisen (Erläuterung im Text).

Explizit werden 6 Faktoren für sehr hohe Ausgleichsfunktion in Bezug auf die besonders belasteten Siedlungsgebiete (Innenstadt, Südstadt, Weststadt etc.) unterschieden:

- flächenhafte Wirksamkeit bei Belastungssituationen (Schwachwind aus dem Ost- bzw. Südostsektor)
- flächenhafte Wirksamkeit bei „normalen“ Situationen (Hauptwindrichtungen West und Ost)
- regionale Durchlüftungsfunktion (vgl. Abschnitt 8-3)
- Nähe zu den besonders belasteten Siedlungsgebieten
- Auswirkung auf besonders belasteten Siedlungsgebiete durch Verlust von Teilen der Fläche (Bebauung); die Umkehrung ist die lokale „Ausgleichbarkeit“ (eine große Freifläche kann den Verlust von Teilflächen eher verkraften als kleinräumige Freiflächen)
- Lufthygiene (Filterwirkung durch Wald oder höheren Bewuchs)

Zusätzlich werden die Faktoren jeweils drei Stufen der Bedeutung (hoch, mittel, gering) unterschieden (siehe folgende Tabelle).

Tabelle 8-1: Faktoren, welche die Ausgleichsfunktion von Freiflächen bestimmen

Faktor	hohe Bedeutung	mittlere Bedeutung	geringe Bedeutung
Wirksamkeit (belastet)	Fläche ist bedeutendes Einzugsgebiet bei Schwachwind	Fläche ist Einzugsgebiet bei Schwachwind	Fläche ist kein Einzugsgebiet bei Schwachwind
Wirksamkeit (normal)	Fläche ist bedeutendes Einzugsgebiet bei Starkwind	Fläche ist Einzugsgebiet bei Starkwind	Fläche ist kein Einzugsgebiet bei Starkwind
Durchlüftungsfunktion	Fläche enthält bedeutende regionale Luftleitbahn(en)	Fläche enthält regionale Luftleitbahn(en)	Fläche enthält keine regionale Luftleitbahn
Nähe	Fläche liegt nahe an besonders belasteten Siedlungsgebieten	Fläche liegt in mittlerer Distanz nahe an besonders belasteten Siedlungsgebieten	Fläche liegt in größerer Distanz zu besonders belasteten Siedlungsgebieten
Verlust	Verlust von Teilflächen nicht ausgleichbar (Fläche zu klein)	Verlust von Teilflächen eingeschränkt ausgleichbar	Verlust von Teilflächen ausgleichbar (Fläche groß genug)
Lufthygiene	Fläche mit großem Waldanteil	Fläche mit mäßigem Waldanteil	Fläche ohne Wald

Die folgende Tabelle 8-2 zeigt das Ergebnis für die dargestellten Einzelbereiche. Es zeigt sich, dass es unterschiedliche Gründe für die – in der „Summe“ resultierende – sehr hohe Ausgleichsfunktion gibt. Diese Differenzierung ist vor allem für die Bewertung lokaler Planungsvorhaben wichtig.

Tabelle 8-2: Bewertung der Freiflächenbereiche mit sehr hoher Ausgleichsfunktion

Faktor	NO	O	SO	S	SW	W	NW	Z
Wirksamkeit (belastet)	mittel	hoch	hoch	mittel	gering	gering	gering	gering
Wirksamkeit (normal)	gering	gering	gering	gering	hoch	mittel	gering	gering
Durchlüftungsfunktion	mittel	gering	mittel	hoch	gering	gering	mittel	gering
Nähe	mittel	hoch	gering	mittel	mittel	hoch	mittel	hoch
Verlust	mittel	mittel	mittel	hoch	gering	mittel	mittel	hoch
Lufthygiene	mittel	hoch	gering	gering	gering	mittel	gering	mittel

In der folgenden Tabelle 8-3 sind diejenigen Bereiche aufgeführt, die bei einzelnen Faktoren eine „hohe Bedeutung“ aufweisen.

Tabelle 8-3: Bereiche mit hoher Bedeutung (vgl. vorherige Tabelle)

Bereich	Beschreibung
O	Hier gelangen östliche Schwachwinde zur nahen Innenstadt, außerdem wirkt ein hoher Waldanteil als Luftfilter.
SO	Hier gelangen südöstliche Schwachwinde Richtung Südstadt.
S (Okeraue)	Hier existiert eine bedeutende regionale Luftleitbahn bei südlichen Schwachwinden, die bis nahe an die Innenstadt reichen. Der Verlust von Teilen ist wegen der geringen Breite nicht ausgleichbar.
SW	Hier gelangen südwestliche Starkwinde Richtung West- und Innenstadt.
W	Hier gelangen westliche Starkwinde zur nahen Innenstadt.
Z (Zentrum)	Ein teilweiser Verlust wäre aufgrund der wenigen, lokal begrenzten Flächen ein schwerer Eingriff.

Die Bebauung von Teilen einer Freifläche kann unterschiedliche Faktoren tangieren. Dabei spielen zwei Aspekte eine Rolle:

- Versiegelung → Verlust kaltluftproduzierender Fläche; Wärmespeicherung
- Gebäudestruktur → Verlust oder Behinderung einer Luftleitbahn, Schaffung von Strömungshindernissen mit Lee-Effekten (Zonen mit reduziertem Luftaustausch durch erhöhte Turbulenz)

Der Umfang dieser negativen Wirkung hängt von der Art und Größe des Eingriffs ab und ist in den genannten Freiflächenbereichen unterschiedlich zu bewerten. Ein pauschales Urteil kann nicht gegeben werden. Jede Planung ist im Einzelfall zu prüfen. So kann der Verlust von kaltluftproduzierender Fläche vertretbar sein, wenn eine große (interne) Ausgleichbarkeit gegeben ist, d.h., wenn das Freiflächenareal groß ist (wie z.B. im Bereich „SW“). Dann ist aber darauf zu achten, dass keine Luftleitbahn behindert wird. Dieser Effekt kann z.B. durch Höhe und Stellung der Gebäude (Schaffung von Schneisen) reduziert werden. Einzelne Bereiche, wie etwa die innerstädtischen Freiflächen oder die Okeraue

im Süden sollten generell nicht Gegenstand von Bebauungsplanung sein. Sie sind wesentlich für die Klimavielfalt verantwortlich.

8.1.2 Freiflächen mit hoher klimatisch-lufthygienischer Ausgleichsfunktion

Beispiele für diese Kategorie (grün) sind Freiflächen in der West/Nordwest-Peripherie (zwischen Mittellandkanal und B1) sowie in der Nordost-Peripherie zwischen Bienrode und Bevenrode. Bei ersteren gibt es bei westlicher Strömung (Starkwind) eine Belüftungswirkung in Richtung der nördlichen Siedlungsbereiche.

Im Nordosten ist nur eine schwache Belüftungswirkung bei östlicher Anströmung (Schwachwind) in Richtung der nördlichen Siedlungsbereiche auszumachen. Auch hier fehlen Luftleitbahnen. Insgesamt ist die Bedeutung dieser Flächen geringer als bei den oben diskutierten dunkelgrünen Flächen.

8.1.3 Freiflächen mit mittlerer und geringer klimatisch-lufthygienischer Ausgleichsfunktion

In die Kategorie mit mittlerer Bedeutung fallen Kaltluftentstehungsgebiete und Luftleitbahnen mit direktem Bezug zu niedrig belasteten Wohngebieten und niedrig oder mäßig belasteten Gewerbegebieten oder mit nur indirektem Bezug zum Siedlungsraum. Die Unterscheidung zwischen direktem und indirektem Bezug zum Siedlungsraum stützt sich zum einen darauf, ob die kühlen Luftmassen nachts in Richtung der Siedlung abfließen können und zum anderen auf die vorherrschende Windrichtung bei belastenden Wetterlagen, und zwar differenziert nach Tag- und Nachtsituation. Die Kategorie „mittel“ finden sind in der Nord-Peripherie bei Harxbüttel.

Flächen ohne nennenswerte Kaltluftproduktion sowie Flächen ohne Siedlungsbezug werden in die vierte Kategorie (geringe Bedeutung) eingestuft. Diese Kategorie kommt im Untersuchungsgebiet nicht vor und fehlt folglich in der Legende.

8.2 Siedlungsflächen

Die Siedlungsflächen werden hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit gegenüber einer Nutzungsintensivierung (Bebauungsverdichtung, Flächenversiegelung) bzw. Siedlungserweiterung in drei Bewertungsklassen eingeteilt. Wichtig bei der Klassifizierung der Siedlungsflächen ist u.a. der Einfluss des Gebietes auf benachbarte Siedlungsbereiche oder Freiräume.

Die folgende Bewertungsmatrix verdeutlicht die Einteilung der Siedlungsflächen in drei Kategorien. Dabei ist unter „Belastung des Siedlungsraumes“ die Synthese aus thermischer Belastung (Überwärmung) und lufthygienischer Belastung (Immission) gemeint. Die schraffierten Kategorien bei den Siedlungsflächen sind nicht als „Übergangsstufen“ zu sehen, sondern sie wurden eingeführt, um den eigentlichen Widerspruch zwischen geringer Belastung des Siedlungsraumes und dennoch Einstufung in mittlere bis hohe Empfindlichkeit gegenüber einer Nutzungsintensivierung nachvollziehbar zu machen.

Belastung des Siedlungsraumes	Einfluss auf benachbarte Siedlungsbereiche			* Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung
	Stark	Gering	Kein	
Stark	Hoch*	Hoch*	Hoch*	
Mäßig	Hoch*	Mittel*	Gering bis Mittel*	
Niedrig	Hoch*	Gering bis Mittel*	Gering*	

Abbildung 8-3: Bewertungsmatrix „Siedlungsflächen“

Stark verdichtete und belastete Innenstadtbereiche fallen grundsätzlich in die Klasse mit hoher Empfindlichkeit gegenüber einer weiteren Nutzungsintensivierung. In dieselbe Klasse gehören aber auch locker bebaute Siedlungen mit günstigen bioklimatischen Verhältnissen, die einen starken Einfluss auf angrenzende stärker verdichtete Siedlungen haben. Zur besseren Unterscheidung wurden die letzteren auf der Bewertungskarte mit einer Schraffur dargestellt (gelb-braun bzw. orange-braun in der Bewertungsmatrix). In den genannten Gebieten muss jede Planung hinsichtlich ihrer klimatisch-lufthygienischen Auswirkungen sehr sorgfältig geprüft werden.

Auch in den Gebieten mit mittlerer Empfindlichkeit sollte eine geplante Nutzungsänderung nicht ohne kritische Betrachtung realisiert werden. Es handelt sich hierbei um niedrig oder mäßig belastete Siedlungsbereiche mit geringem oder keinem Einfluss auf angrenzende Siedlungs- oder Freiräume (z.B. Wohngebiete am Unterhang oder im Bereich eines Kaltluftabflusses mit Bezug zu niedrig belasteten Siedlungen).

Relativ unbedenklich sind Nutzungsintensivierungen in Gebieten, die in die dritte Kategorie mit geringer Empfindlichkeit eingestuft wurden. Wichtigstes Kriterium für die Einstufung in diese Klasse ist die Tatsache, dass eine Nutzungsänderung in diesen Gebieten keinen Einfluss auf benachbarte Siedlungs- oder Freiräume hat und zugleich zu keiner nennenswerten Belastung im betrachteten Gebiet selbst führt. Locker bebaute, gut durchgrünte Siedlungsgebiete mit günstigen klimatisch-lufthygienischen Eigenschaften oder auch mäßig belastete Gewerbegebiete fallen in diese Kategorie.

8.3 Belüftungsfunktion und sonstige klimarelevante Flächen

Die in der Klimafunktionskarte dargestellten regionalen und lokalen Luftleitbahnen werden hier in ihrer Belüftungsfunktion bewertet. Dabei spielen folgende Faktoren eine Rolle:

- Wirkung bei Schwachwind (aus O bzw. SO) in Richtung der Stadt
- Wirkung bei Starkwind (aus W oder SW) in Richtung Stadt (Frischlufthversorgung) und aus der Stadt heraus (Schadstoffverdünnung)
- Ausweisung als unbelastete oder belastete Luftleitbahn (gibt es Schadstoffeinträge in die Luftleitbahn durch Verkehr oder Gewerbe/Industrie?)

Die ersten beiden Punkte führen zu einer Umgestaltung: Einige Doppelpfeile der Klimafunktionskarte werden zu einfachen Pfeilen. Abhängig von der Lage dominiert meist eine Richtung, d.h. die Belüftungsfunktion bezieht sich hauptsächlich auf diese Richtung. Die Einschätzung als belastete

te/unbelastete Luftleitbahn ist überwiegend qualitativ und stützt sich auf die bekannten Informationen zur lufthygienischen Situation im Untersuchungsgebiet (vgl. den nächsten Abschnitt „Vorbelastungen und Konflikte“). Die auf der Klimafunktionskarte dargestellten 11 regionalen Luftleitbahnen sind auf der Planungshinweiskarte sämtlich als unbelastet dargestellt. Die folgende Tabelle zeigt das Ergebnis der Bewertung.

Tabelle 8-4: Regionale Luftleitbahnen auf der Planungshinweiskarte

Nr.	Lage	Regionale Luftleitbahn	Belüftungsfunktion
R1	NO	Bereich Flugplatz	Schwachwind aus O (Tag, stadteinwärts)
R2	NO	entlang der Schunter	Schwachwind aus O (Tag, stadteinwärts)
R3	NO	entlang des Sandbachs	Schwachwind aus O (Tag, stadteinwärts)
R4	O	entlang der Wabe	Schwachwind aus SO (Nacht, stadteinwärts)
R5	O	Güterbahnhof	Schwachwind aus O (Tag, stadteinwärts), Starkwind aus W (Tag/Nacht, stadtauswärts)
R6	SO	südlich von Rautheim	Schwachwind aus SO (Nacht, stadteinwärts)
R7	SO	südlich von Mascherode	Schwachwind aus SO (Nacht, stadteinwärts)
R8	S	Okeraue	Schwachwind aus S (Nacht, stadteinwärts)
R9	SW	südlich von Broitzem	Starkwind aus W (Tag/Nacht, stadteinwärts)
R10	W	südlich von Lehndorf (B1)	Starkwind aus W (Tag/Nacht, stadteinwärts)
R11	NW	entlang der Oker (inkl. Abzweig)	Schwachwind aus SO (Nacht, stadtauswärts)

Beispiele: Die Luftleitbahn im Bereich Flugplatz führt bei Schwachwind nachts kühle Luft aus dem Osten heran und bewirkt so eine Entlastung der Gewerbe- und Industriegebiete im Norden. Bei allchthoner Wetterlage ist die Strömung stadtauswärts gerichtet (Tag und Nacht), was hier von untergeordneter Bedeutung ist. Die Luftleitbahn im Bereich Güterbahnhof ist dagegen in beide Richtungen wirksam. Entscheidend ist hierbei, dass sie weit ins (belastete) südliche Stadtgebiet hineinreicht. Bei Schwachwind führt sie nachts Frischluft von Osten in dieses Gebiet hinein. Bei Starkwind führt die Leitbahn belastete Luft nach Osten ab (Tag und Nacht). Im Bereich der Oker im Nordwesten gibt es nur eine stadtauswärts gerichtete Strömung (Nordwinde kommen in Braunschweig praktisch nicht vor). Sie führt bei Schwachwind belastete Luft ins Umland ab. Die Luftleitbahn längs der Okeraue im Süden wirkt ebenfalls bei Schwachwind, allerdings nun stadteinwärts. Sie ist besonders bedeutsam, weil sie fast bis zur Innenstadt reicht.

Die folgende Tabelle zeigt die Bewertung der 5 lokalen Luftleitbahnen. In zwei Fällen ist eine Belastung gegeben (L3, L4); vgl. den nächsten Abschnitt „Vorbelastung und Konflikte“.

Tabelle 8-5: Lokale Luftleitbahnen auf der Planungshinweiskarte

Nr.	Lage	Lokale Luftleitbahn	Belüftungsfunktion / Belastung
L1	NO	Südrand von Querum	Schwachwind aus O (Tag, stadteinwärts)
L2	O	Güterbahnhof (Abzweig Nordost)	Starkwind aus SW (Tag/Nacht, stadtauswärts)
L3	S	A39	Starkwind aus SSW (Tag/Nacht, stadteinwärts); nördlicher Abschnitt belastet
L4	SW	Bahnlinie nördlich von Broitzem	Starkwind aus W (Tag/Nacht, stadteinwärts); östlicher Abschnitt belastet
L5	SW	Schneise in der Weststadt	Starkwind aus W (Tag/Nacht, stadteinwärts)

Neben den Luftleitbahnen sind auf der Planungshinweiskarte auch Wasserflächen (> 1 ha) und Sonderflächen eingetragen. Wasserflächen wirken thermisch ausgleichend und fördern den Luftaustausch. Sonderflächen können mit kleinräumigen klimatisch-lufthygienischen Auswirkungen verbunden sein (vgl. Abschnitt 7.1.1).

8.4 Vorbelastungen und Konflikte

Unter den Vorbelastungen sind die durch die verschiedenen Quellgruppen (Verkehr, Hausbrand, Gewerbe- und Industrie) hervorgerufenen lufthygienischen Belastungen zu verstehen. Durch die Überlagerung dieser Informationen mit den klimatischen Gegebenheiten werden Konflikte aufgezeigt, z.B. in Form belasteter Luftleitbahnen.

Lufthygienisch belastete Straßenabschnitte: Dies betrifft Abschnitte von Hauptverkehrsstraßen bei denen die für 2015 berechneten Immissionswerte einzelner Luftschadstoffe (NO₂, PM₁₀ und PM_{2.5}) in der Nähe des jeweiligen Grenzwerts liegen. Dies trifft in Braunschweig nur für NO₂ zu. Die rot markierten Straßenabschnitte zeigen prognostizierte Immissionswerte oberhalb 30 µg/m³ (der NO₂-Grenzwert liegt bei 40 µg/m³).

Lokale Luftleitbahn (schadstoffbelastet): Die Ausweisung als schadstoffbelastete Luftleitbahnen ist eine überwiegend qualitative Einschätzung und stützt sich auf die bekannten Informationen zur lufthygienischen Situation im Untersuchungsgebiet. Trotz ihrer Schadstoffbelastung können die Luftleitbahnen noch zu einer Verbesserung der lufthygienischen Situation führen, weil sie für eine bessere Durchlüftung und damit für einen rascheren Abtransport von Schadstoffen sorgen. Die einzigen schadstoffbelasteten lokalen Luftleitbahnen finden sich entlang der Bahnlinie im Westen (L4), im Bereich des Gewerbegebiets Friedrich-Seele-Straße, sowie entlang der A39 im Süden der Stadt (L3).

Gewerbe- und Industriegebiete (> 5 ha): Gewerbe- und Industriegebiete beeinflussen das Stadtklima stark. Luftschadstoffe, Abwärme und ihre Wirkung als massive Strömungshindernisse führen zu einer bioklimatischen Belastung. Im Vergleich zu Wohngebieten besteht allerdings eine geringere Immissionsempfindlichkeit. Außerdem besteht die Möglichkeit umfassender und rascher Emissionsminderungsmaßnahmen. Eine Intensivierung der Nutzung (Verdichtung) ist grundsätzlich problematisch und muss im Einzelfall geprüft werden.

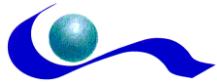


Tabelle 8-6: Gewerbe- und Industriegebiete mit ungünstiger klimatisch-lufthygienischer Wirkung

Bereich	Wirkung
Rünigen	Einfluss auf das Strömungsfeld in den Freiflächenbereichen „SW“ und „W“; Belastung der lokalen und regionalen Luftleitbahnen L3 bzw. R9 (im Zusammenwirken mit der A39).
Friedrich-Seele-Straße / Frankfurter Straße / Büchnerstraße	Einfluss auf das Strömungsfeld in den Freiflächenbereichen „SW“ und „W“; Belastung der lokalen Luftleitbahnen L4 und L5.
Gliesmarode	Einfluss auf das Strömungsfeld im Freiflächenbereiche „NO“; Belastung der lokalen Luftleitbahn L1.

9 Allgemeine Planungsempfehlungen und Entwicklungsziele

Auf der Basis der Planungshinweiskarte werden für die verschiedenen Kategorien von Frei- und Siedlungsflächen, für die Luftleitbahnen und Kaltluftabflüsse sowie für die dargestellten Vorbelastungen und Konflikte allgemeine Planungsempfehlungen und Erhaltungs- bzw. Entwicklungsziele angegeben, die in Tabelle 9-1 zusammengestellt sind.

Tabelle 9-1: Planungsempfehlungen und Erhaltungs- bzw. Entwicklungsziele für die auf der Planungshinweiskarte dargestellten Kategorien von Frei- und Siedlungsflächen, Kaltluftabflüssen, Luftleitbahnen, Vorbelastungen und Konfliktsituationen

	Planungsempfehlung / Entwicklungsziel
Freiflächen	
sehr hohe klimatisch-lufthygienische Ausgleichsfunktion	im Außenbereich: großräumiger Erhalt, Bebauung und Versiegelung nur in Ausnahmefällen und unter Beachtung klimatisch-lufthygienischer Vorgaben im Innenbereich: Erhalt und Ausbau, Entsiegelung vorsehen, abwechslungsreiche Pflanzstrukturen anstreben, Vernetzung einzelner Grünflächen
hohe klimatisch-lufthygienische Ausgleichsfunktion	im Außenbereich: großräumiger Erhalt, Bebauung und Versiegelung nur in geringem Umfang und unter Erhalt des Siedlungsbezuges im Innenbereich: Erhalt, keine weitere Versiegelung, abwechslungsreiche Pflanzstrukturen anstreben, Vernetzung einzelner Grünflächen
mittlere klimatisch-lufthygienische Ausgleichsfunktion	maßvolle Bebauung möglich, klimatische Gegebenheiten berücksichtigen (Luftleitbahnen, Hauptwindrichtungen)
geringe klimatisch-lufthygienische Ausgleichsfunktion	Kommt im Untersuchungsgebiet nicht vor
Siedlungsflächen	
hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung und Siedlungserweiterung	bei lockerer Bebauung: günstige Siedlungsstrukturen erhalten, möglichst keine Siedlungsverdichtung zulassen, vorhandene Luftleitbahnen erhalten bzw. ausbauen bei verdichteter Bebauung: keine weitere Versiegelung zulassen, Reduktion der Emissionen, Erhöhung des Vegetationsanteils, Blockinnenhofentkernung und -begrünung, Dach- und Fassadenbegrünung
mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung und Siedlungserweiterung	maßvolle Nachverdichtung möglich, Neuversiegelung durch Dach- und Fassadenbegrünung sowie Begrünung von Straßenräumen und Blockinnenhöfen ausgleichen, Reduktion vorhandener bzw. weitest gehende Vermeidung zusätzlicher Emissionen
geringe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung und Siedlungserweiterung	Siedlungsverdichtung und -erweiterung möglich, bei Neuplanungen geringen Flächenverbrauch, energieoptimierte Bauweise und umweltfreundliche Infrastruktur (Energieversorgung, Verkehrsanbindung) anstreben

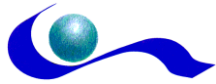
Belüftungsfunktion	
Regionale Luftleitbahn	Erhalt, keine Bebauung und Versiegelung, Schadstoffeinträge vermeiden, keine flächigen Aufforstungen, niedrige lineare Gehölzstrukturen oder kleine Baumgruppen sind vertretbar
Lokale Luftleitbahn	Erhalt, Ausbau durch Rücknahme bzw. Auflockerung der Randbebauung anstreben, keine flächigen Aufforstungen, niedrige lineare Gehölzstrukturen oder kleine Baumgruppen sind vertretbar
Sonstige klimarelevante Flächen	
Wasserflächen > 1 ha	Erhalt, in der Übergangszone zum Gewässer Bebauung vermeiden bzw. auflockern
Sonderflächen (Mülldeponien, Gesteins-/Erddalden, Abbaufächen)	Begrünung mit Bäumen und Sträuchern, bei Halden: keine abgehobenen Quellen (Schornsteine) in der unmittelbaren Umgebung der Halde zulassen
Vorbelastungen und Konflikte	
Lufthygienisch belasteter Straßenabschnitt	Reduktion von Emissionen durch Verkehrsverminderung, Geschwindigkeitsbeschränkung und Verkehrslenkung (Ampelschaltung, Parkleitsysteme)
Schadstoffbelastete lokale Luftleitbahn	Schadstoffeinträge in Luftleitbahn vermindern (Emissionsreduzierung, Immissionsschutzmaßnahmen), Entsiegelungsmaßnahmen vorsehen, Randbereiche begrünen
Gewerbe- und Industriegebiete > 5 ha	weitere Versiegelung kritisch prüfen, Schadstoffeinträge in Luftleitbahn vermindern (Emissionsreduzierung, Immissionsschutzmaßnahmen), Dach- und Fassadenbegrünung

Entsprechend der Maßstabebene und der Fragestellung, nämlich zunächst Hinweise für die Flächennutzungsplanung zu erarbeiten, handelt es sich dabei um relativ allgemein gehaltene Empfehlungen. Erst wenn Art und Umfang von Planungsvorhaben bekannt sind, können diese allgemeinen Empfehlungen unter Berücksichtigung der jeweils individuellen Bedingungen konkretisiert werden.

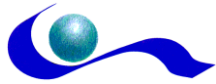
Immer wiederkehrende Forderungen im Rahmen der Schaffung bzw. Erhaltung günstiger klimatischer und lufthygienischer Bedingungen sind die Bereiche Emissionsvermeidung und Verbesserung der Grünausstattung. In Tabelle 9-2 sind entsprechende Maßnahmen und Umsetzungsinstrumente aufgelistet (getrennt für Bestand und Neuplanungen).

Tabelle 9-2: Maßnahmen und Umsetzungsinstrumente für die Handlungsfelder Emission/Immission und Vegetation (Quelle: BKR 1995, verändert)

Handlungsfeld Emission/Immission			
Planung und Baugenehmigung (§ 34 BauGB)		im Bestand	
Maßnahme	Umsetzungsinstrument	Maßnahme	Umsetzungsinstrument
<ul style="list-style-type: none"> - Energieeinsparung durch Bereitstellung umweltverträglicher Energieträger, wie regenerative Energien, Kraft-Wärme-Kopplung, Fern- und Nahwärmenetze - Einschränkungen bei der Kfz-Nutzung und Förderung von Alternativen - Ausschluss emittierender Betriebe in empfindlichen Gebieten - räumliche Zuordnung von Emittenten und empfindlichen Nutzungen 	<ul style="list-style-type: none"> - § 9(1) Nr. 23 BauGB: Verbrennungsverbot für emissionsstarke Brennstoffe (Holz, Kohle, Erdöl) - kostendeckende Vergütung regenerativer Energien - finanzielle Förderung von Stickoxid- und CO₂-armen Heizungsanlagen - Anschluss- und Benutzungszwang z.B. für Gas oder Fernwärme durch Ortssatzung - Stellplatzablösesatzung - Einrichten von Tempo-30-Zonen oder Wohnstraßen - auto-unabhängige Siedlungen - komfortable ÖPNV-Anbindung - Verlagerung des Güterverkehrs auf Schiene und Wasserweg - §§ 5 und 9 BauGB - § 4 und 10 BImSchG - Länderverordnung nach § 49 BImSchG 	<ul style="list-style-type: none"> - Energieeinsparung durch Sanierung von Gebäuden, Erneuerung von Heizungsanlagen, Abwärmenutzung und Ersatz konventioneller Energiebereitstellung durch Kraft-Wärme-Kopplung oder Fernwärme - Einschränkung des Kfz-Verkehrs - Berücksichtigung bei Verkehrsplanungen - Tempolimit, Einrichtung von Tempo-30-Zonen - Förderung umweltverträglicher Alternativen zum Kfz-Verkehr - Reduktion gewerblich-industrieller Emissionen 	<ul style="list-style-type: none"> - Überprüfung der Einhaltung bauordnungsrechtlicher Nebenbestimmungen - finanzielle Förderung von Umbaumaßnahmen - Beratung, Öffentlichkeitsarbeit - Stellplatzablösesatzung, Stellplatzrichtlinie - Verkehrsbeschränkungen nach § 40 BImSchG - § 6 Abs. 1 StVG i.V.m. § 42 Abs. 4a StVO bzw. § 45 Abs. 1 StVO - Förderprogramme für den ÖPNV sowie für Radwegebau - § 17 BImSchG (nachträgliche Anordnung) - § 24 BImSchG (Anordnung im Einzelfall)



Handlungsfeld Vegetation			
Planung und Baugenehmigung (§ 34 BauGB)		im Bestand	
Maßnahme	Umsetzungsinstrument	Maßnahme	Umsetzungsinstrument
- Dach- und Fassadenbegrünung	- Eingriffsregelung - § 9 (1) Nr. 25 BauGB - Gestaltungssatzung	- Dach- und Fassadenbegrünung - Hofbegrünung im Zusammenhang mit Entsiegelungsmaßnahmen	- Förderprogramme mit finanziellen Anreizen - Entwässerungssatzung mit gespaltenem Gebührenmaßstab - Innenhofbegrünungsprogramm - Öffentlichkeitsarbeit
- Bepflanzung nicht bebauter Grundstücksflächen	- § 9 (1) Nr. 25 BauGB - Pflanzgebote nach § 178 BauGB		- Vorgartensatzung (gültig für Teile des Stadtgebiets) - Baumschutzsatzung - Überprüfung der Einhaltung bauordnungsrechtlicher Nebenbestimmungen
- Sicherung von Grünflächenanteilen im B-Plan	- § 9 (1) Nr. 10, 15, 18, 20, 24 BauGB - § 5 (2) Nr. 9, 10 BauGB	- Sicherung bestehender Vegetationsbestände	
- Sicherung und Gestaltung von Freiflächen	- Landschaftsplan, Flächennutzungsplan - Stadtökologische Verträge gemäß § 6 des Maßnahmen-gesetzes zum BauGB - Privatrechtliche Bindungen im Rahmen von Kauf- und Pachtverträgen	- Begrünung von Straßenraum, Stellplätzen, öffentlichen Plätzen und Gebäuden	- Landschaftsplan, Flächennutzungsplan - Wohnumfeldverbesserungsprogramme - Begrünungsmaßnahmen bei Radwegebau, Straßenumgestaltung



10 Fazit

Für die Stadt Braunschweig wird die Stadtklimaanalyse aktualisiert und fortgeschrieben. Klimagutachten liegen für die Jahre 1992 und 2005 vor. Die Fortschreibung soll den Stadtplanern im Vorfeld von Planungen, bei konkreten Bebauungsplanvorhaben und in der Flächennutzungsplanung, Anhaltspunkte zu möglichen Konflikten geben. Hierzu wurden auf der Basis von Modellrechnungen eine Klimafunktionskarte und eine Planungskarte erstellt. Weiterhin wurden alle flächendeckenden Informationen in einem ArcGIS-Projekt zusammengefasst.

10.1 *Belastungssituation*

In Braunschweig gibt es **lufthygienische Belastungen**. Hauptverantwortlich sind die bodennahen Emissionen des Kfz-Verkehrs. Die höchsten Konzentrationen treten deshalb im Nahbereich der Hauptverkehrsstraßen auf. An einzelnen Streckenabschnitten ist sowohl derzeit als auch zukünftig mit Überschreitung des Grenzwertes der 39. BImSchV für den Jahresmittelwert der Stickstoffdioxidbelastung zu rechnen. Bei Feinstaub (PM₁₀) werden die Jahresmittelwerte eingehalten. Punktuell können aber an mehr als 35 Tagen Überschreitungen der 50 µg/m³-Schwelle durch den Tagesmittelwert auftreten.

Wärmebelastungen treten hauptsächlich in den Sommermonaten während anhaltender Hitzeperioden auf. Sensible Bereiche sind schlecht durchlüftete Siedlungsgebiete. Hier können in den Nachtstunden so hohe Lufttemperaturen auftreten, dass ein erholsamer Schlaf nicht möglich ist.

10.2 *Entlastende Momente – Lufthygiene*

Zur Reduktion der Schadstoffemissionen gibt es einen Luftreinhalteplan für Braunschweig. Die Maßnahmen sind bislang jedoch noch stark auf die Minderung des Feinstaubes ausgerichtet. Zur Minderung der NO₂-Problematik müssen darüber hinausgehende Maßnahmen getroffen werden.

Von stadtplanerischer Seite steht bei den Luftschadstoffen der Erhalt einer ausreichenden Durchlüftung im Vordergrund. Diese würde, zumindest an den Hauptverkehrsstraßen, eine lockere Straßenrandbebauung bedeuten. Da geschlossene Randbebauung aber eine gute Abschirmung der rückwärtigen Bereiche (sowohl beim Schall als auch bei den Luftschadstoffen) bewirkt, kommt diesem Aspekt meist die größere Bedeutung zu, mit der Konsequenz, dass in den Straßenschluchten und der angrenzenden Bebauung hohe Schadstoffkonzentrationen auftreten.

Lokal sind Luftleitbahnen von Bedeutung, da sie bodennah unbelastetere Luft aus der Peripherie in städtische Bereiche führen. Da die Kfz-bedingten Emissionen im Wesentlichen tagsüber auftreten, sind die nächtlichen Strömungsverhältnisse weniger wichtig.

10.3 *Entlastende Momente – Wärmebelastung*

Wärmebelastung tritt bei windschwachen und wolkenarmen Hochdruckwetterlagen (so ge-

nannte autochthone Wetterlagen) auf.

Zur Reduktion der Belastungen in den Tagstunden stehen der Erhalt einer ausreichenden Durchlüftung und eine möglichst große Klimavielfalt im Vordergrund.

In den Nachtstunden ist dagegen die abendliche und nächtliche Abkühlung durch lokale Windsysteme (Kaltluftabflüsse, Flurwinde) das wesentliche entlastende Moment. Häufig treten bei diesen Wetterlagen südliche bis östliche, meist schwache Winde auf. Insbesondere bei Planungen im Süden und Osten von Braunschweig sind mögliche negative Auswirkungen genau zu betrachten. Dies wären beispielsweise dichte hohe Bebauung, Riegelbebauung quer zu den nächtlichen Strömungen oder die Ansiedlung von emittierenden Betrieben.

10.4 Bewertung

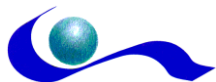
Eine objektive Bewertung von Auswirkungen einer Planung auf das lokale Klima gestaltet sich schwierig, da es keine Bewertungsmaßstäbe gibt. Die Auswirkungen hängen zudem von der konkreten Planung ab, so dass eine Bewertung einzelner Vorhaben stets eine Prüfung des Einzelfalls bedeutet.

Um die lokalklimatische Bedeutung der Flächen in Braunschweig einschätzen zu können, wurde eine Planungskarte erarbeitet. Anhand dieser Karte und den in Kapitel 8.1 dargestellten Prüfpunkten ist eine erste Bewertung einer überplanten Fläche möglich.

Sollte die Prüfung „hohe“ Auswirkungen ergeben, sind weitergehende Untersuchungen (Vergleich des Ist-Zustands mit dem Planfall durch geeignete Modellrechnungen) erforderlich.

10.5 Klimafunktions- und Planungskarte

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in zwei großformatigen Karten dargestellt: die Klimafunktions- und Planungshinweiskarte. Die **Klimafunktionskarte** zeigt flächendeckend und detailliert die thermischen und dynamischen Verhältnisse im Ist-Zustandes. Die wichtigsten Elemente sind die Klimatope und Luftleitbahnen. Erstere werden in 9 Kategorien unterschieden. Wie bei Großstädten stets sichtbar, werden die Klimatope „Stadtklima“ und „Innenstadtklima“ von den Klimatopen „Freilandklima“ und „Waldklima“ umschlossen. Die in der Peripherie erzeugte Kalt- und Frischluft gelangt über regionale und lokale Luftleitbahnen in die Stadt. Unterstützt wird das System durch innerstädtische Freiflächen („Parkklima“). Besondere Bedeutung hat die Okeraue im Süden, deren Wirkung bis an das Stadtzentrum reicht. Die Klimafunktionen sind bei Starkwind (Westsektor) und Schwachwind (Südost- bzw. Ostsektor) unterschiedlich. Im ersten Fall werden Luftmassen flächenhaft über die ausgedehnten Freiflächen im West- und Südwesten in die Stadt transportiert. Im zweiten Fall gelangen Luftmassen über einzelne Luftleitbahnen, wie die Okeraue oder die Bereiche von Schutter und Wabe, bis an die Siedlungsgebiete. Vereinzelt wird auch belastete Luft aus der Stadt herausgeführt, wie etwa über den Güterbahnhof oder die Oker-Flächen im Nordwesten.



Auf der **Planungshinweiskarte** werden die Freiflächen hinsichtlich ihrer klimatisch-lufthygienischen Ausgleichsfunktion und die Siedlungsflächen hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit gegenüber einer Siedlungsverdichtung oder -erweiterung in mehrere Klassen eingeteilt. Die Luftleitbahnen werden differenziert in weitgehend unbelastete und schadstoffbelastete Bahnen sowie hinsichtlich ihrer primären Wirkungsrichtung. Die Karte stellt damit eine Bewertung des Ist-Zustands dar und ermöglicht damit qualitative Aussagen im Hinblick auf die Flächennutzungs- und Stadtplanung. Hier zeigt sich die Bedeutung der peripheren Freiflächen und Luftleitbahnen für die Stadt. Dabei werden die Faktoren benannt, die zur Qualifizierung der Freiflächen mit „sehr hoher klimatisch-lufthygienischer Ausgleichsfunktion“ führen. Die Planungshinweise sind davon abhängig, welche Faktoren dominieren: die flächenhafte Wirksamkeit bei Belastungs- oder Normalsituationen, die Durchlüftungsfunktion, die Nähe zu den besonders belasteten Siedlungsgebieten, die Auswirkung auf die besonders belasteten Siedlungsgebieten durch Verlust von Teilen der Fläche (Bebauung) oder die Lufthygiene. Daraus ergibt sich ein differenziertes Bild. Inwieweit Planungsvorhaben klimatisch-lufthygienisch vertretbar bzw. welche Maßnahmen bei Konfliktsituationen erforderlich sind, muss im Einzelfall geprüft werden. Das Gutachten gibt hierzu diverse Hinweise.

Generell zeigt sich das Braunschweiger Stadtklima – im positiven Sinne – aktiv. Es gibt eine funktionsfähige Mischung zwischen kalt-/frischluftproduzierenden Flächen und Luftleitbahnen. Die wichtigsten stadtklimatischen Aspekte sind dabei die „Durchlüftung“ und die „Lufthygiene“. Dagegen ist der Aspekt „Wärmeinsel“, d.h. die innerstädtische Überwärmung, für Braunschweig aufgrund der geografischen und topografischen Lage sekundär. Es gilt also primär die Durchlüftung zu fördern und die Emissionen zu reduzieren. Besonders die innerstädtischen Freiflächen, die Okeraue und die Waldflächen dürfen nicht angetastet werden. Die peripheren Freiflächen sind weitgehend zu erhalten, obgleich hier (insbesondere im Südwesten) eine gewisse Freiheit zur Bebauung besteht, solange die bestehenden Luftleitbahnen nicht tangiert werden. Eingriffe sind hier aufgrund der Größe des Bereichs ausgleichbar. Generell ist aber zu beachten, dass keine „Summeneffekte“ entstehen, d.h. wenn einer Bebauung in einem Gebiet weitere folgen. Werden diese Hinweise berücksichtigt, kann Braunschweig in Zeiten der fortschreitenden Klimawandel bestehen. Andere Städte haben da deutlich größere Probleme.

Freiburg, 21. Mai 2012

Dr. Wolfgang Steinicke
Dipl.-Physiker

Dr. Rainer Röckle
Dipl.-Meteorologe

11 Literatur

22. BImSchV: Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft – 22. BImSchV), vom 11.09.2002 zuletzt geändert am 04.06.2007; BGBl 2007 Teil I Nr. 25 vom 12.06.2007

33. BImSchV: Dreiunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 33. BImSchV) - Verordnung zur Verminderung von Sommersmog, Versauerung und Nährstoffeinträgen. In der Fassung vom 13. Juli 2004.

39. BImSchV: Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 2. August 2010 (BGBl. I S. 3830)

Barlag, A.-B., 1993: Planungsrelevante Klimaanalyse einer Industriestadt in Tallage – dargestellt am Beispiel von Stolberg (Rheinland), Essener Ökologische Schriften, Band 1. Essen

Bächlin W., R. Bössinger, A. Brandt, T. Schulz, 2006: Überprüfung des NO-NO₂-Umwandlungsmodells für die Anwendung bei Immissionsprognosen für bodennahe Stickoxidfreisetzung. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 66 (2006) Nr. 4.

BKR – Büro für Kommunal- und Regionalplanung, 1995: Planungshandbuch Stadtklima zur Klimaanalyse der Landeshauptstadt Düsseldorf. Kommunalverband Ruhrgebiet-Essen

EMEP/EEA, 2009: Air pollutant emission inventory guidebook – 2009. Technical report No 9/2009. <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009/#>

Franke, E. (Hrsg.), 1977: Stadtklima – Ergebnisse und Aspekte für die Stadtplanung. Eine Sammlung von Vorträgen eines Seminars der Württ. Verwaltungs- und Wirtschaftsakademie. Stuttgart

GEO-NET, 2006: Modellierung meteorologischer und lufthygienischer Felder im Stadtgebiet Braunschweig. Gutachten im Auftrag der Stadt Braunschweig

GEO-NET, 2007: Klima- und immissionsökologische Funktionen im Stadtgebiet Braunschweig. Gutachten im Auftrag der Stadt Braunschweig

Gerth, W.-P., 1986: Klimatische Wechselwirkungen in der Raumplanung bei Nutzungsänderungen. Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 171, Offenbach am Main

Gesamthochschule Kassel, AG Luft, 1991: Klimagutachten für den Zweckverband Raum Kassel, Teil 2. Kassel

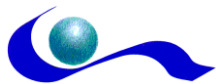
Groß, G., 1991: Anwendungsmöglichkeiten mesoskaliger Simulationsmodelle, dargestellt am Beispiel Darmstadt. Teil I: Wind- und Temperaturfelder. Meteorol. Rundschau 43, 97-112.

Groß, G., 1993: Numerical Simulations of Canopy Flow. Springer Verlag, Heidelberg, Springer Series in Physical Environment 12, 167 pp.

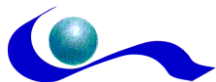
Häckel, H., 1993: Meteorologie, 3. Aufl., Stuttgart

Hauf, T., Witte, N., 1985: Fallstudie eines nächtlichen Windsystems. Meteorologische Rundschau 38

HBS: Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen, Ausgabe 2001/Fassung 2009, herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), 2009



- Höppe, P., 1984:** Die Energiebilanz des Menschen. Wiss. Mitt. Meteor. Inst. Univ. München Nr. 49.
- Höppe, P., 1993:** Heat balance modelling. *Experientia* 49, 741-746.
- Höppe, P., 1997:** Die Physiologisch Äquivalente Temperatur PET – nicht immer, aber immer öfter. *Annal. Meteorol.* Nr. 33, 108-112.
- Höppe, P., 1999:** The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *Int. J. Biometeorol.* 43, 71-75.
- Höppe, P., 2000:** A universal index for the assessment of the thermal environment – the physiological equivalent temperature PET. In: *Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millenium* (ed. by R.J. de Dear, J.D. Kalma, T.R. Oke and A. Auliciems): Selected Papers from the Conference ICB-ICUC'99, Sydney. WCASP-50, WMO/TD No. 1026, 261-265.
- Höppe, P.; Mayer, H., 1987:** Planungsrelevante Bewertung der thermischen Komponente des Stadtklimas. *Landschaft + Stadt* 19, 22-30.
- Hosker, R.P., 1984:** Flow and diffusion near obstacles. In *Atmospheric Science and Power Production*, SOE/TIC-27601, ISBN 0-87079-126-5.
- Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN (Hrsg.; 1988):** Stadtklima und Luftreinhaltung. Ein wissenschaftliches Handbuch für die Praxis in der Umweltplanung. Berlin u.a.
- Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN (Hrsg.; 1993):** Lufthygiene und Klima. Ein Handbuch zur Stadt- und Regionalplanung. Düsseldorf
- Kommunalverband Ruhrgebiet, 1995:** Klimaanalyse für die Landeshauptstadt Düsseldorf.- Essen
- Kuttler, W., 1991:** Zum klimatischen Potential urbaner Gewässer. - In: Schuhmacher, H. und Thiesmeier, B. (Hrsg.): *Urbane Gewässer*.- Essen
- Kuttler, W., 1993:** Klimatische Bedeutung innerstädtischer Grün- und Wasserflächen. - In: SUKOPP, H. und Wittig, R. (Hrsg.): *Stadtökologie*, S. 144-148, Stuttgart u.a.
- Matzarakis, A., 2001:** Die thermische Komponente des Stadtklimas. *Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg* Nr. 6.
- Matzarakis, A.; Mayer, H., 2000:** Atmospheric conditions and human thermal comfort in urban areas. *Proc. 11th Sem. Environmental Protection "Environment and Health"*, Thessaloniki, 155-165.
- Matzarakis, A.; Mayer, H., 2003:** Zukunftsperspektiven in der Umweltmeteorologie. *Promet* 29.
- Matzarakis, A.; Mayer, H.; Iziomon, M., 1999:** Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *Int. J. Biometeorol.* 43, 76-84.
- Matzarakis, A.; Rutz, F.; Mayer, H., 2000:** Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures. In: *Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millenium* (ed. by R.J. de Dear, J.D. Kalma, T.R. Oke and A. Auliciems): Selected Papers from the Conference ICB-ICUC'99, Sydney. WCASP-50, WMO/TD No. 1026, 273-278.
- Matzarakis, A.; Mayer, H:** Dependence of the thermal urban climate on morphological variables. http://www.mif.uni-freiburg.de/matzarakis/papers/Fest50_matzarakisUrbanParameters.pdf
- Mayer H., Beckröge W. u. Matzarakis A. 1994:** Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen. - In: *UVP-report 5/94*, S. 265-268
- Mayer, H.; Höppe, P., 1987:** Thermal comfort of man in different urban environments. *Theor. Appl. Climatol.* 38, 43-49.
- Mayer, H., Kalberlah, F., Ahrens, D., Reuter, U., 2002:** Analyse von Indizes zur Bewertung der Luft. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 62 (2002), Nr. 4, S. 177 – 183.
- Meyers kleines Lexikon Meteorologie.** Meyers Lexikonverlag 1987.



Mosimann, Th., Trute, P., Frey, Th., 1992: Analyse der klimaökologischen Funktionszusammenhänge in der Stadt Braunschweig mit Empfehlungen für die zukünftige Stadtentwicklung. Gutachten für die Stadt Braunschweig, Stadtplanungsamt

Mühr, A., 2011: www.klimadiagramme.de

Noack, E.-M. u.a., 1986: Quantifizierung der Einflüsse von Bebauung und Bewuchs auf das Klima in der urbanen Biosphäre. Forschungsberichte des BMFT. München

Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz: Jahresberichte des Lufthygienischen Überwachungssystems Niedersachsen, 2005 – 2010.
http://www.umwelt.niedersachsen.de/live/live.php?navigation_id=2655&article_id=9127&psmand=10

Nielinger, J., 1994: Instationäre Ausbreitung von Luftbeimengungen in komplexem Gelände - Numerische Simulationen. Diplomarbeit am Institut für Meteorologie und Klimatologie, Universität Hannover, 139 S.

Nielinger, J., 1998: Kopplung numerischer Simulationsmodelle zur Regionalisierung von Ergebnissen globaler Klimaszenarienrechnungen. Dissertation Fachbereich Physik, Universität Hannover. Berichte des Institutes für Meteorologie und Klimatologie Band 57.

Nielinger, J.; Kost, W.-J., 2001: Simulation of realistic location-related wind distributions with the mesoscale model FITNAH. Meteorol. Zeitschr. 10, No. 4, 235-238.

Parlow, E., 1983: Geländeklimatologische Untersuchungen im Bereich der Staufferer Bucht unter besonderer Berücksichtigung lokaler Ausgleichsströmungen. Freiburger Geographische Hefte Bd. 20

RAINS: Klimont, Z.; Cofala, J.; Bertok, I.; Amann, M.; Heyes, C.; and F. Gyarmas: Modellierung von Feinstaubemissionen in Europa Entwicklung eines Technologie- und Kosten-Moduls für Staubemissionen im Rahmen des Integrated Assessment Modelling zur Unterstützung europäischer Luftreinhaltestrategien. Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschungsbericht 299 43 249

Reuter, U., Baumüller, J., Hoffmann, U., 1991: Luft und Klima als Planungsfaktor im Umweltschutz. Expert-Verlag, Band 328

Richter, C.-J.; Röckle, R.; Gaede, M., 1998: Das Schutzgut Klima in der Umweltverträglichkeitsprüfung. VDI-Schriftenreihe Band 28, 1998, S. 4 - 14

Richter, C.-J., Röckle, R., 1995: Methode zur Ermittlung von Kfz-bedingten Schadstoffkonzentrationen in bebauten Gebieten. UVP-Report 5, 1995, S 233-235

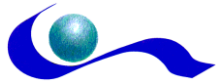
Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Rates vom 21.05.2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa, Amtsblatt der EU vom 11.06.2008, L 152/1-44.

Röckle, R.: Einsatz mikroskaliger Strömungsmodelle bei Planungsfragen. Annalen der Meteorologie, 28, 1992, S. 43 - 45

Röckle, R., Richter, C.-J., 1998: Ermittlung des Strömungs- und Konzentrationsfeldes im Nahfeld typischer Gebäudekonfigurationen - Modellrechnungen. Projekt Europäisches Forschungszentrum, Nr. 92/007/02, Karlsruhe

Romberg, E., Bösing, R.; Lohmeyer, A.; Ruhnke, R.; Röth, E.-P., 1996: NO-NO₂-Umwandlungsmodell für die Anwendung bei Immissionsprognosen für Kfz-Abgase. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 6/1996, 215 – 218

Schädler, G., Bächlin, W., Lohmeyer, A., van Wees, Tr., 1996: Vergleich und Bewertung derzeit verfügbarer mikroskaliger Strömungs- und Ausbreitungsmodelle. Projekt Europäisches Forschungs-



zentrum für Maßnahmen der Luftreinhaltung, Forschungsbericht FZKA-PEF 138, Oktober 1996

Schneider, C.; Niederau, A.; Schulz, T., Brandt, A., 2006: Ermittlung der durch Aufwirbelung und Abrieb im Straßenverkehr verursachten PM10-Emissionen. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 10-2006, Seiten 436-439

Stadt Braunschweig, 2011: Braunschweig in der Statistik.

http://www.braunschweig.de/politik_verwaltung/statistik/jahrbuch/jahrbuch/01_01h.pdf

Steinicke & Streifeneder, 1996: Klima- und Lufthygienische Untersuchung der Stadt Kaiserslautern unter besonderer Berücksichtigung aktueller Planungen. Abschlussbericht. - Freiburg (unveröff.)

Steinicke & Streifeneder, 2002: Klimauntersuchung Nachbarschaftsverband Heidelberg-Mannheim, unveröffentlichter Bericht. - Freiburg

Umweltbundesamt, INFRAS, 2004: HBEFA – Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. Version 2.1. Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Umweltbundesamt, INFRAS, 2010: HBEFA - Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. Version 3.1. Im Auftrag des Umweltbundesamtes

VDI-Richtlinie 3782 Blatt 7: Umweltmeteorologie – Kfz-Emissionsbestimmung – Luftbeimengungen. VDI Düsseldorf, November 2003, Beuth Verlag, Berlin

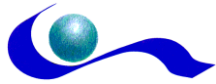
VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1: Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Düsseldorf, 1997.

VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2: Umweltmeteorologie – Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung – Teil 1: Klima. Beuth Verlag Düsseldorf, 10. 2008

VDI 3787 Blatt 5: Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft, Beuth Verlag Düsseldorf.

Wirtschaftsministerium des Landes Baden Württemberg: Städtebauliche Klimafibel Online. Hinweise für die Bauleitplanung. <http://www.staedtebauliche-klimafibel.de>

Zimmermann, M, 1999: Handbuch der passiven Raumkühlung. ISBN 3-905594-06-4, EMPA ZEN, im Auftrag des Bundesamtes für Energie, 3003 Bern, Juni 1999



12 Anhang

12.1 *Kurzbeschreibung GAMOS*

Für die Berechnungen wurde das Modell GAMOS (Röckle et. al., 1996) verwendet, das auf dem Gauß'schen Diffusionsansatz beruht und größtenteils dem Modell zur Berechnung von Luftreinhalteplänen (VDI-Richtlinie 3782, Blatt 1) entspricht. Das Modell berechnet folgende jahresbezogenen Kenngrößen: Jahresmittelwerte von NO_2 , PM_{10} und $\text{PM}_{2,5}$. Es erlaubt über statistische Zusammenhänge die Abschätzung der Überschreitungshäufigkeiten bei NO_2 und PM_{10} .

Eingangsgrößen für das Ausbreitungsmodell sind u.a.

- die Kfz-bedingten Emissionen, abgeleitet vom Verkehrsaufkommen, den Fahrmodi und den jeweiligen spezifischen Emissionen aus dem Handbuch HBEFA 3.1
- eine Kategorisierung der Straßenrandbebauung
- die Schadstoff-Hintergrundbelastung
- die meteorologischen Verhältnisse

12.2 Lage der Messstellen



Abbildung 12-1: Immissionsmessstation in Braunschweig/Broitzem.

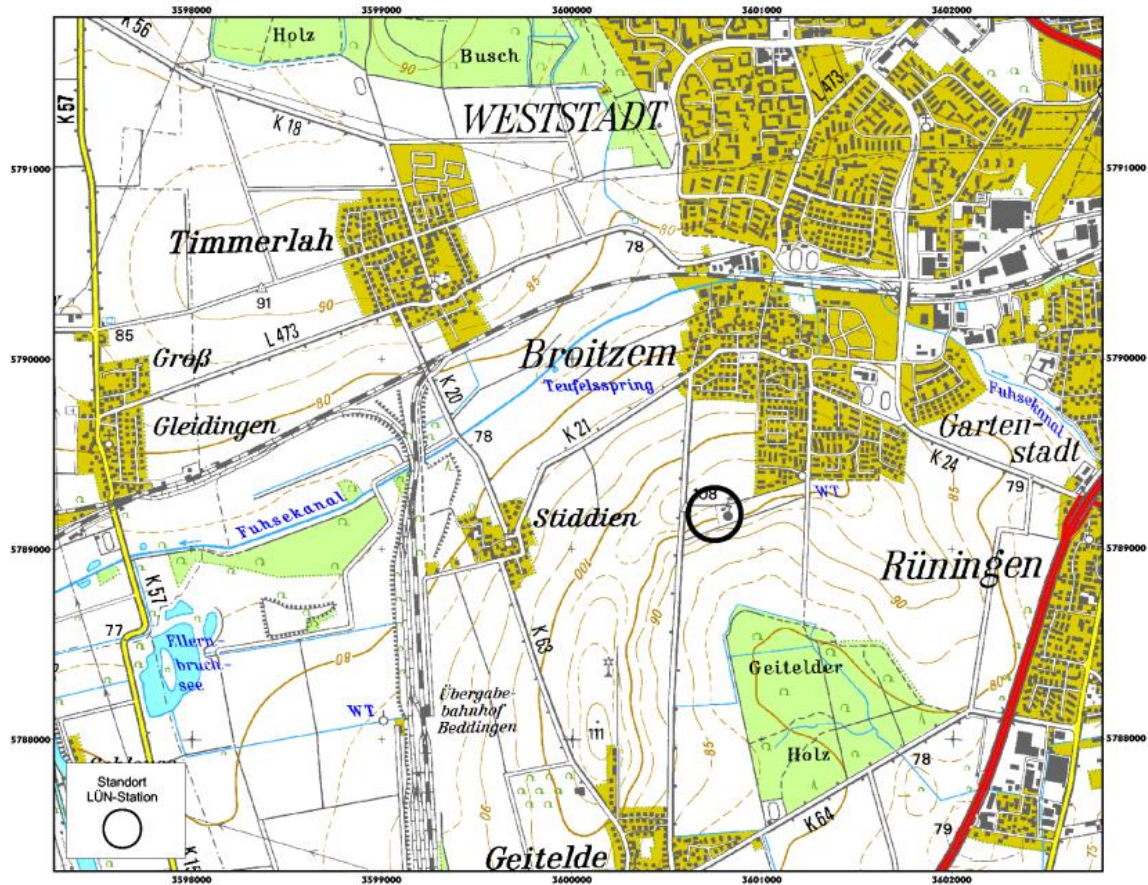


Abbildung 12-2: Lage der Immissionsmessstation Braunschweig/Broitzem.



Abbildung 12-3: Immissionsmessstation in Braunschweig Altewiekring 24

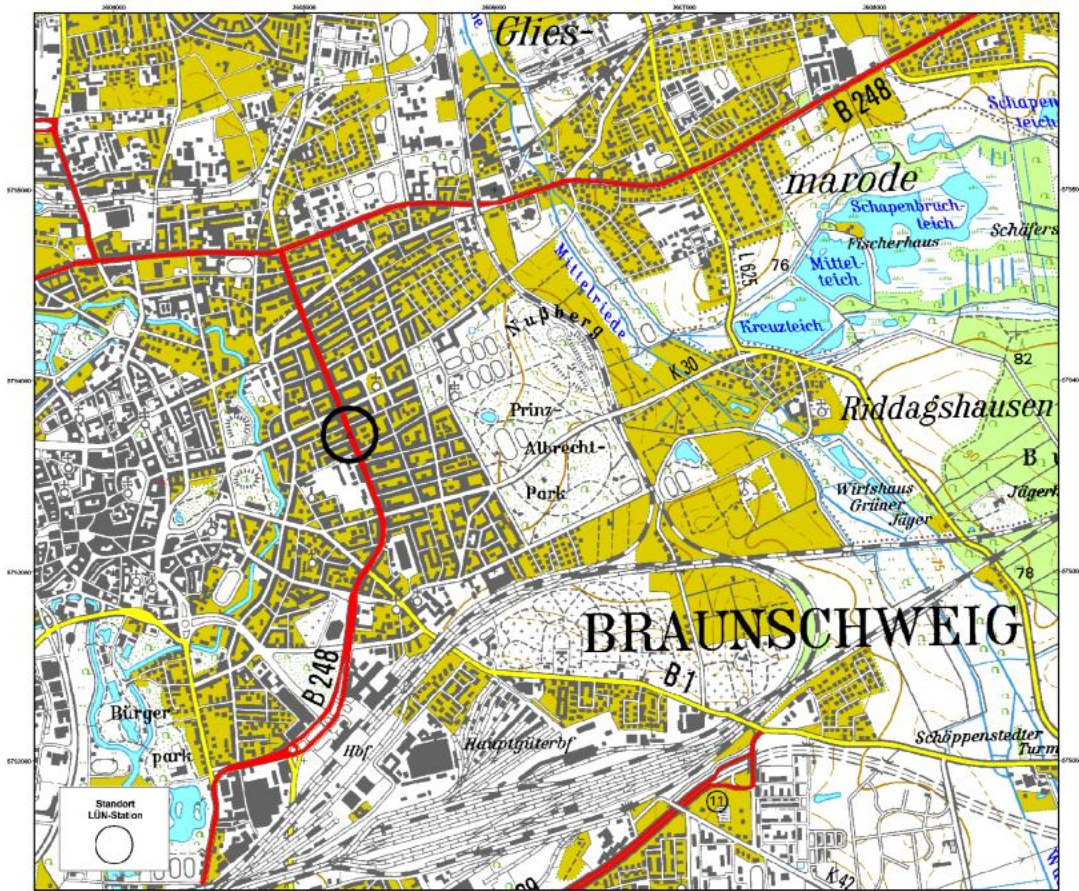


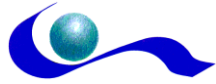
Abbildung 12-4: Lage der Immissionsmessstation Braunschweig Altewiekring 24.

12.3 Eingangsdaten und spezifische Emissionen

Tabelle 12-1: Verkehrsaufkommen und Zusatzbelastungen der 50 höchst belasteten Straßen im Stadtgebiet. Emissionen bestimmt mit HBEFA 3.1.

Straße	DTV	LNf (%)	SNf (%)	RBUS (%)	LBUS (%)	KRAD (%)	Typ	NO _x µg/(ms)	PM ₁₀ µg/(ms)
0015:Ernst-Böhme-Straße	91808	5	27.7	0	0	0.5	Land/AB/120	747.1	76.3
0016:Ernst-Böhme-Straße	91808	5	27.7	0	0	0.5	Land/AB/120	747.1	76.3
0017:A2	91808	5	27.7	0	0	0.5	Land/AB/120	747.1	76.3
0022:L625	91953	5	27.2	0.1	0	0.5	Land/AB/120	744.9	75.8
0023:A2	91953	5	27.2	0.1	0	0.5	Land/AB/120	744.9	75.8
0020:A2	91953	5	27.2	0	0	0.5	Land/AB/120	741.0	75.6
0021:L625	91953	5	27.2	0	0	0.5	Land/AB/120	741.0	75.6
0015:A2	89927	5	27.2	0	0	0.5	Land/AB/120	725.3	73.9
0024:L293	86403	5	28.8	0	0	0.5	Land/AB/120	716.2	73.7
0025:L293	86403	5	28.8	0	0	0.5	Land/AB/120	716.2	73.7
0026:A2	86403	5	28.8	0	0	0.5	Land/AB/120	716.2	73.7
0026:A2	86403	5	28.8	0	0	0.5	Land/AB/120	716.2	73.7
0018:A2	78858	5	30.3	0	0	0.5	Land/AB/120	656.6	69.0
0019:A2	78581	5	30.3	0	0	0.5	Land/AB/120	653.9	68.7
1489:K64	66918	5	12	0	0	0.5	Land/AB/120	392.6	35.4
1490:K64	66918	5	12	0	0	0.5	Land/AB/120	392.6	35.4
1491:A39	66918	5	12	0	0	0.5	Land/AB/120	392.6	35.4
0386:A391	74556	5	9.5	0	0	0.5	Agglo/AB-City/110	361.2	36.0
0404:A391	71858	5	10.4	0	0	0.5	Agglo/AB-City/100	340.0	35.5
0405:A391	71858	5	10.4	0	0	0.5	Agglo/AB-City/100	340.0	35.5
0406:A391	71858	5	10.4	0	0	0.5	Agglo/AB-City/100	340.0	35.5
0407:A391	71858	5	10.4	0	0	0.5	Agglo/AB-City/100	340.0	35.5
0408:A391	71858	5	10.4	0	0	0.5	Agglo/AB-City/100	340.0	35.5
0409:A391	71858	5	10.4	0	0	0.5	Agglo/AB-City/100	340.0	35.5
0410:A391	71858	5	10.4	0	0	0.5	Agglo/AB-City/100	340.0	35.5

Straße	DTV	LNF (%)	SNF (%)	RBUS (%)	LBUS (%)	KRAD (%)	Typ	NO _x µg/(ms)	PM ₁₀ µg/(ms)
0411:A391	71858	5	10.4	0	0	0.5	Agglo/AB-City/100	340.0	35.5
0412:A391	71858	5	10.4	0	0	0.5	Agglo/AB-City/100	340.0	35.5
0892:A39	80167	5	8.5	0	0	0.5	Agglo/AB-Nat./80	339.4	35.6
0893:A39	80167	5	8.5	0	0	0.5	Agglo/AB-Nat./80	339.4	35.6
0894:A39	80167	5	8.5	0	0	0.5	Agglo/AB-Nat./80	339.4	35.6
0400:A391	71653	5	10.2	0	0	0.5	Agglo/AB-City/100	334.6	35.1
0387:A391	74556	5	9.5	0	0	0.5	Agglo/AB-City/100	330.4	35.5
0388:A391	74556	5	9.5	0	0	0.5	Agglo/AB-City/100	330.4	35.5
3001:AB Kreuz Sued-West	72599	5	9.1	0	0	0.5	Agglo/AB-City/80	319.2	33.8
3006:AB Kreuz Sued-West	72599	5	9.1	0	0	0.5	Agglo/AB-City/80	319.2	33.8
0389:A391	68902	5	10.3	0	0	0.5	Agglo/AB-City/100	318.9	33.9
0390:A391	68902	5	10.3	0	0	0.5	Agglo/AB-City/100	318.9	33.9
0391:A391	68902	5	10.3	0	0	0.5	Agglo/AB-City/100	318.9	33.9
0392:A391	68902	5	10.3	0	0	0.5	Agglo/AB-City/100	318.9	33.9
0393:A391	68902	5	10.3	0	0	0.5	Agglo/AB-City/100	318.9	33.9
0394:A391	68902	5	10.3	0	0	0.5	Agglo/AB-City/100	318.9	33.9
0395:Celler Heerstraße	68902	5	10.3	0	0	0.5	Agglo/AB-City/100	318.9	33.9
0396:A391	68902	5	10.3	0	0	0.5	Agglo/AB-City/100	318.9	33.9
2069:A391	68902	5	10.3	0	0	0.5	Agglo/AB-City/100	318.9	33.9
2070:A391	68902	5	10.3	0	0	0.5	Agglo/AB-City/100	318.9	33.9
1493:A39	50509	5	14.5	0	0	0.5	Land/AB/120	315.6	29.2
1493:A39	50509	5	14.5	0	0	0.5	Land/AB/120	315.6	29.2
1487:A39	60363	5	12.1	0.4	0	0.5	Land/AB/100	310.3	31.7
1488:A39	60363	5	12.1	0.4	0	0.5	Land/AB/100	310.3	31.7
1492:A39	49349	5	14.5	0	0	0.5	Land/AB/120	309.0	28.5



Steinicke & Streifeneder

iMA

Richter & Röckle

12.4 Karten

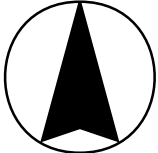
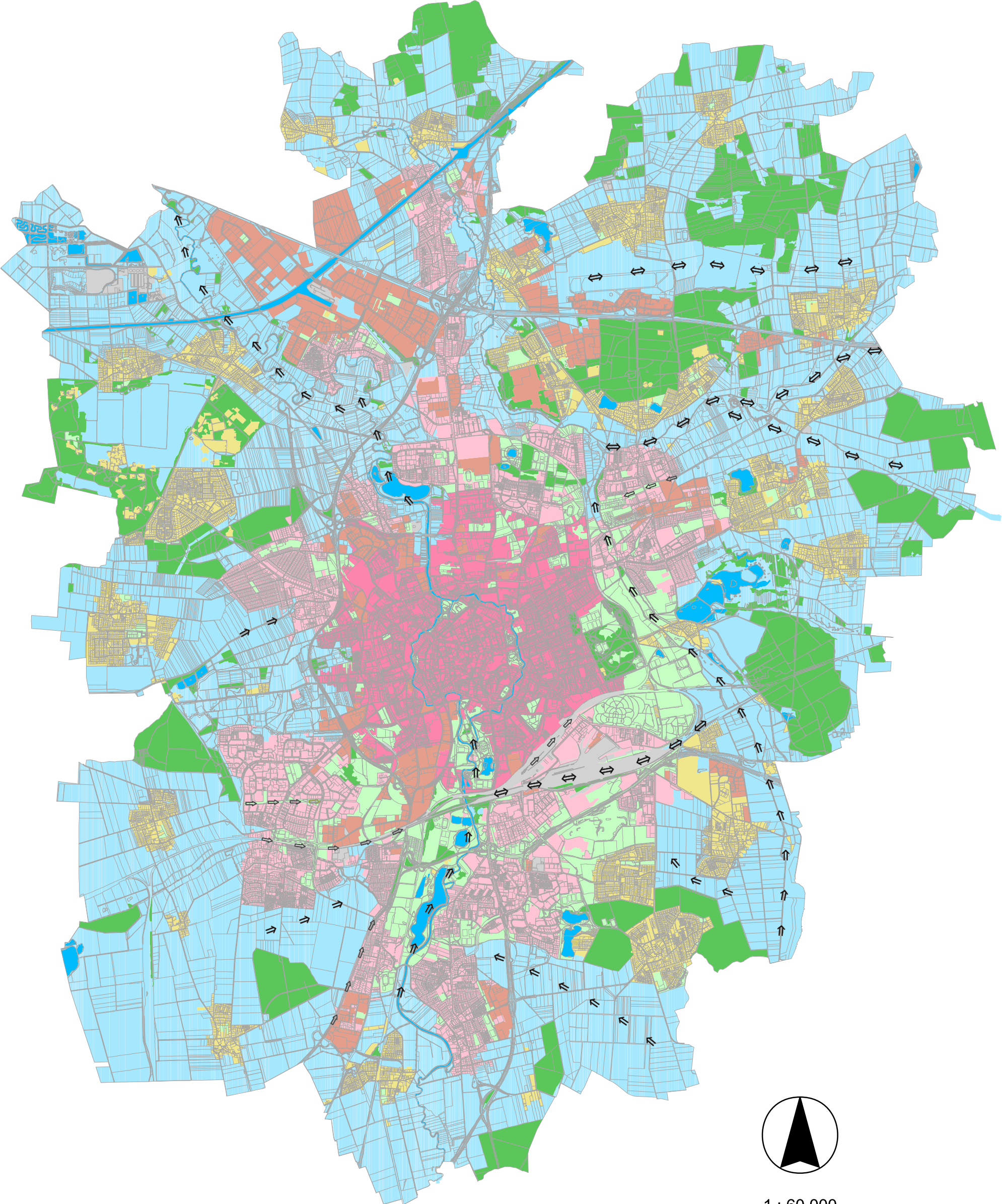
Klimafunktionskarte (A3)

Legende (A4)

Planungshinweiskarte (A3)

Legende (A4)

Klimafunktionskarte Braunschweig



1 : 60.000

Legende zur Klimafunktionskarte

Klimatope



Gewässerklima

Wasserflächen haben einen stark dämpfenden Einfluss auf die Lufttemperatur, sie tragen zur Feuchteanreicherung bei und begünstigen den Luftaustausch.



Freilandklima

Die Tagesgänge von Strahlung, Temperatur und Feuchte sind stark ausgeprägt. Es herrschen Windoffenheit und eine intensive nächtliche Kalt- bzw. Frischluftproduktion.



Waldklima

Strahlungs- und Temperaturschwankungen sind im Vergleich zum Freiland stark gedämpft, die Luftfeuchtigkeit ist erhöht. Im Stammraum herrschen Windruhe und relativ hohe Luftreinheit.



Parkklima

Je nach Bewuchs und Größe unterschiedlich stark gedämpfte Tagesgänge von Strahlung, Temperatur und Feuchte sowie unterschiedlich starke Kaltluftproduktion.



Siedlungsklima

Geringfügig höhere Temperaturen, ausreichende nächtliche Abkühlung, relativ guter Luftaustausch, bioklimatisch günstig.



Stadtklima

Mäßig hohe Temperaturen, mäßige nächtliche Abkühlung, reduzierte relative Feuchte, eingeschränkter Luftaustausch, bioklimatisch mäßig belastend.



Innenstadtklima

Hohe Tages- und Nachttemperaturen, geringe nächtliche Abkühlung, geringe relative Feuchte, stark reduzierter Luftaustausch, stark turbulentes Windfeld mit Böigkeit und Zegerscheinungen, bioklimatisch belastend.



Gewerbe- und Industrieklima

Vergleichbar mit Stadt- und Innenstadtklima, z. T. jedoch deutlich höhere Emissionen.



Sonderflächen

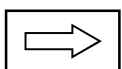
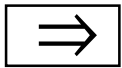
Sondernutzungen (Bahnanlagen, Abwasserbeseitigung, Schottergewinnung u. a.), die kleinräumig mit speziellen klimatologisch-lufthygienischen Auswirkungen verbunden sein können.

Luftleitbahnen



Regionale Luftleitbahnen

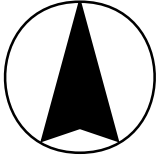
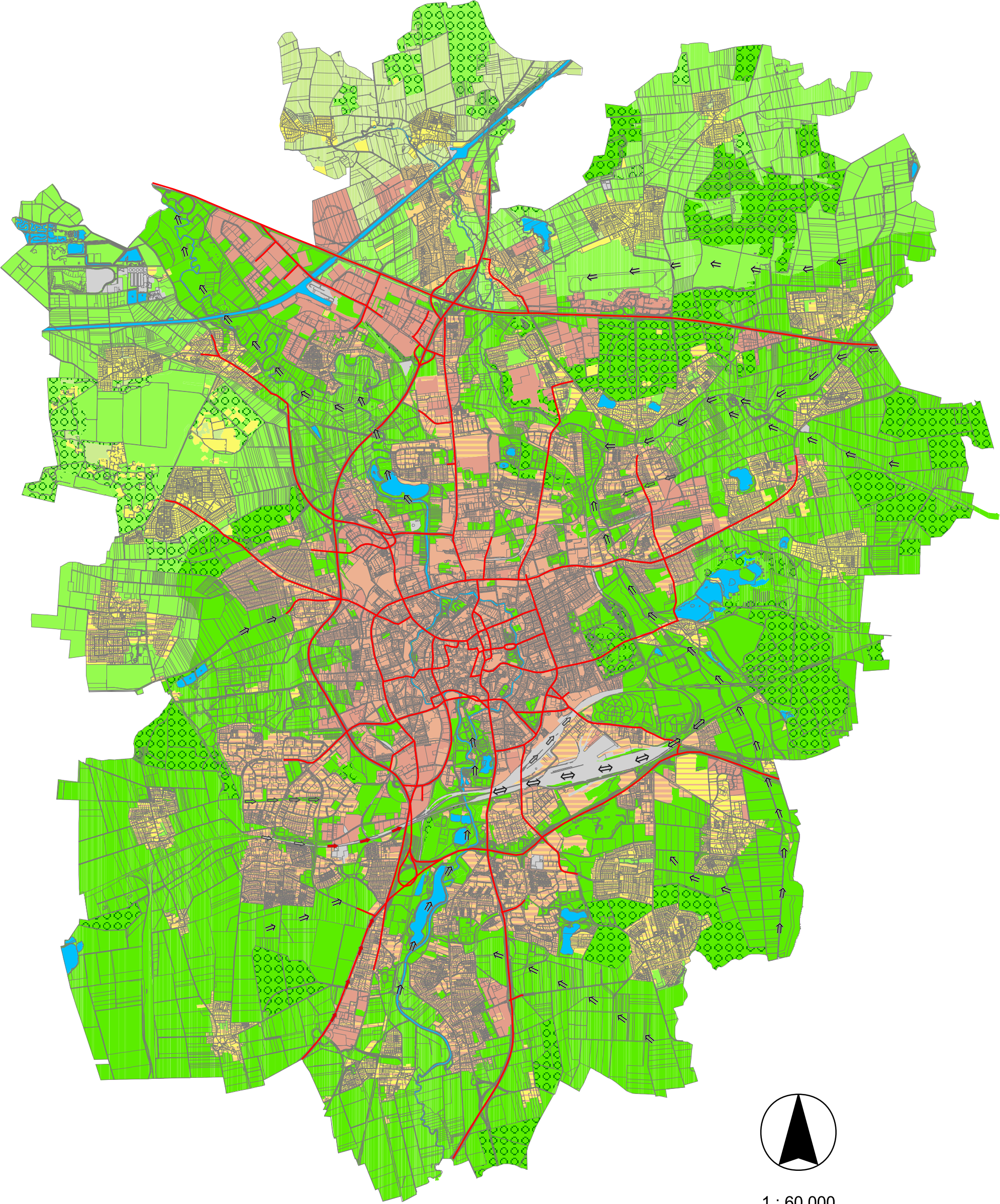
Großräumige Strukturen, die aufgrund ihrer geringen Rauigkeit, ihrer Richtungsgebung relativ zu den Hauptwindrichtungen und geringer Schadstoffbelastung den Austausch belasteter Luftmassen gegen weitgehend unbelastete Luft aus der Umgebung begünstigen.



Lokale Luftleitbahnen

Kleinräumige Strukturen, die den Luftaustausch innerhalb der Stadt begünstigen. Voraussetzung sind geringe Bodenrauigkeit, ausreichende Länge und Breite sowie ein möglichst geradliniger Verlauf.

Planungshinweiskarte Braunschweig

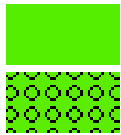


1 : 60.000

Legende zur Planungshinweiskarte

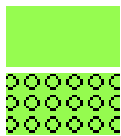
Freiflächen

Klimatisch-lufthygienische
Ausgleichsfunktion



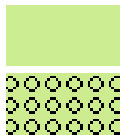
sehr hoch

Kaltluftentstehungsgebiete oder Wald-
flächen > 5 ha (Kreissignatur) mit direktem
Bezug zu Wohngebieten mit mäßiger oder
starker Belastung



hoch

Kaltluftentstehungsgebiete oder Wald-
flächen > 5 ha (Kreissignatur) mit direktem
Bezug zu Wohngebieten mit mäßiger Belastung
oder zu Gewerbegebieten mit starker Belastung



mittel

Kaltluftentstehungsgebiete oder Wald-
flächen > 5 ha (Kreissignatur) mit direktem
Bezug zu niedrig belasteten Wohngebieten
oder mäßig belasteten Gewerbegebieten oder
mit nur indirektem Siedlungsbezug

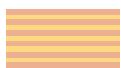
Siedlungsflächen

Empfindlichkeit gegenüber Nutzungs-
intensivierung und Siedlungserweiterung

hoch



thermisch und lufthygienisch stark belastete,
verdichtete Siedlungsbereiche mit hoher
Empfindlichkeit



thermisch und lufthygienisch mäßig belastete
Siedlungsbereiche, aber mit starkem Einfluss
auf benachbarte Räume und somit insgesamt
hoher Empfindlichkeit

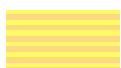


thermisch und lufthygienisch niedrig belastete
Siedlungsbereiche, aber mit starkem Einfluss
auf benachbarte Räume und somit insgesamt
hoher Empfindlichkeit

mittel



thermisch und lufthygienisch mäßig belastete
Siedlungsbereiche mit mittlerer Empfindlichkeit



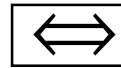
thermisch und lufthygienisch niedrig belastete
Siedlungsbereiche, aber mit geringem Einfluss
auf benachbarte Räume und somit insgesamt
mittlerer Empfindlichkeit

gering

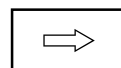
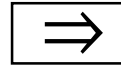


thermisch und lufthygienisch niedrig belastete
Siedlungsbereiche ohne Einfluss auf benachbarte
Räume und somit geringer Empfindlichkeit

Belüftungsfunktion und sonstige klimarelevante Flächen



Regionale Luftleitbahn
(unbelastet)



Lokale Luftleitbahn
(unbelastet)



Wasserflächen > 1 ha
(thermisch ausgleichend, den Luftaustausch
fördernd)



Sonderflächen
(können kleinräumig mit speziellen klimatisch-
lufthygienischen Auswirkungen verbunden sein)

Vorbelastungen und Konflikte



Belastete Strassenabschnitte
(Prognose 2015)



Lokale Luftleitbahn
(schadstoffbelastet)



Gewerbe- und Industrieflächen > 5 ha