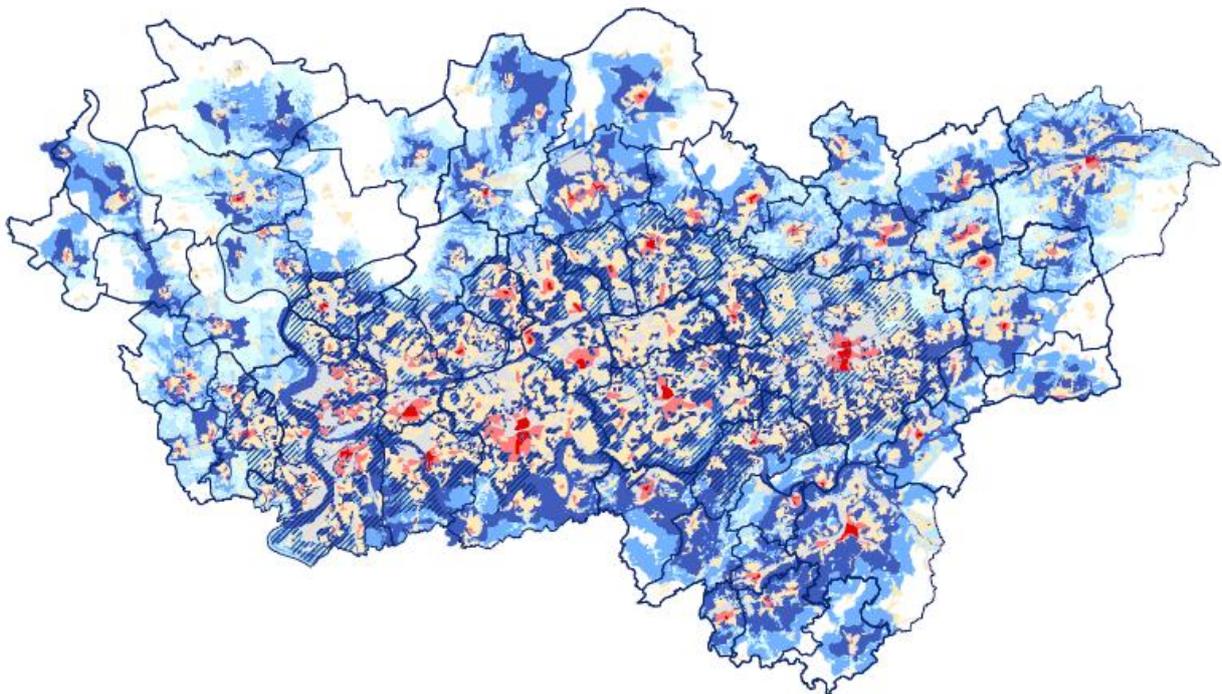


Fachbeitrag zum Regionalplan der Metropole Ruhr *„Klimaanpassung“*



Fachbeitrag zum Regionalplan der Metropole Ruhr *„Klimaanpassung“*

Texte von:

Astrid Snowdon (RVR)

Dirk Funk (GEO-NET), Kapitel 8

Karten und Abbildungen (außer Kap. 8) von :

Edmund Gabrian

Marion von Gersum

Elke Trenk

Regionalverband Ruhr
Referat Geoinformation und Raumbeobachtung
Team Klimaschutz, Klimaanpassung und Luftreinhaltung
Kronprinzenstraße 35
45128 Essen



Regionalverband Ruhr

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Hintergrund und rechtliche Vorgaben	3
3	Beschreibung der Methodiken zur Untersuchung des Regionalklimas	5
4	Naturraum und Klima in der Metropole Ruhr	7
5	Klimawandel in der Metropole Ruhr	9
5.1	Klimatrends der vergangenen 100 Jahre	9
5.1.1	Deutschlandweite Klimatrends	9
5.1.2	Regionale Klimatrends	10
5.2	Klimaprojektionen für die kommenden 100 Jahre.....	11
5.2.1	Globale Modelle.....	11
5.2.2	Regionale Modelle.....	15
6	Analyse der Klimafaktoren	23
6.1	Klimatope.....	23
6.2	Relief.....	25
6.3	Oberflächenrauigkeit	26
6.4	Windfeld	27
6.5	Kaltluft produzierende Flächen	30
7	Die regionale Klimaanalysekarte der Metropole Ruhr	32
7.1	Methodik der Kartenerstellung.....	32
7.1.1	Die Klimatope	34
7.1.2	Zusammenfassung der Klimatope	44
7.1.3	Spezifische Klimaeigenschaften	45
7.1.4	Spezielle Klimafunktionen	46
7.1.5	Luftaustausch	48
8	Darstellung des Regionalklimas mittels FITNAH- Modellrechnung	50
8.1	Aufgabenstellung.....	50
8.2	Datengrundlage und Aufbau der Geodatenbasis	51
8.2.1	Geländehöhe.....	51
8.2.2	Nutzungsstruktur	52
8.3	Methodik	54
8.3.1	Das Mesoskalenmodell FITNAH	54

8.3.2	Synoptische Rahmenbedingungen.....	58
8.4	Ergebnisse	59
8.4.1	Lufttemperatur	60
8.4.2	Nächtliche Abkühlung	63
8.4.3	Autochthones Windfeld.....	63
8.4.4	Kaltluftvolumenstrom.....	67
8.4.5	Kaltluftproduktionsrate	69
8.4.6	Luftaustauschrate	70
8.4.7	Durchlüftung.....	72
9	Klimaökologische Funktionen	74
9.1	Siedlungsräume.....	74
9.2	Grün- und Freiflächen.....	75
10	Problemgebiete – Gebiete mit erhöhtem Anpassungs-bedarf....	77
11	Grün- und Freiflächenbewertung aus klimaökologischer Sicht .	79
11.1	Methodik der Flächenbewertung.....	79
11.2	Qualität und Grenzen der Darstellungen.....	89
12	Regionale Planungshinweise.....	91
12.1	Planungshinweise für die Ausgleichsräume (Grün- und Freiflächen).....	92
12.2	Planungshinweise für die Lasträume.....	94
12.3	Planungshinweise für Industrie- und Gewerbeflächen sowie Gewerbe- und Industriebrachen.....	98
13	Literatur.....	100
14	Anhang - Steckbriefe für Gewerbe- und Industriebrachen	102
14.1	Wesel – Rhein-Lippe-Hafen	102
14.2	Duisburg-Fahrn, Weseler Str.	104
14.3	Oberhausen-Sterkrade an der B 3	106
14.4	Duisburg-Rheinhausen, Hohenbudberger Str.	108
14.5	Dorsten Lippeaue	110
14.6	Brachfläche östlich Chemiepark Marl.....	112
14.7	Brachfläche im Forst Haltern, Schacht an der Haard.....	114
14.8	Castrop-Rauxel, Pöppinghausen.....	116
14.9	Recycling- und Entsorgungszentrum Castrop-Rauxel.....	118
14.10	Dortmund-Brüninghausen	120
14.11	Bergkamen, Datteln-Hamm-Kanal	122
14.12	Bochum – Gerthe	124
14.13	Witten-Annem	126
14.14	Bochum – Hofstede.....	128

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Zusammenhänge zwischen den in der Untersuchung angewandten Arbeitsschritten.....	6
Abbildung 4-1: Klimabezirke im Ruhrgebiet.....	7
Abbildung 5-1: Die atmosphärische Konzentration von Kohlendioxid, Methan und Lachgas in den letzten 2.000 Jahren. Bis zum Jahr 2005 ist die globale atmosphärische CO ₂ -Konzentration von einem vorindustriellen Wert von ca. 280 ppm auf 379 ppm gestiegen.	9
Abbildung 5-2: Verlauf der jährlich gemittelten Lufttemperatur [°C] an der Ludger-Mintrop-Klimastation der Ruhr-Universität Bochum. Zeitraum: 1912-2010.	11
Abbildung 5-3: Globale Multimodell-Mittel der bodennahen Erwärmung relativ zu 1980-99.	13
Abbildung 5-4: Projizierte Änderungen der bodennahen Lufttemperaturen für das frühe und späte 21. Jahrhundert im Vergleich zum Zeitraum 1980-1999. Quelle: IPCC 2007.....	14
Abbildung 5-5: Relative Änderung der Niederschläge in % für den Zeitraum 2090-2099 im Vergleich zu 1980-1999 als Ergebnis von Multimodell-Mittle-Projektionen für das A1B-Szenario (links für die Wintermonate, rechts für die Sommermonate).....	14
Abbildung 5-6: Lufttemperatur im Jahresmittel im Status quo und im Szenario 2055.....	16
Abbildung 5-7: Veränderung der Monatsmitteltemperatur.....	17
Abbildung 5-8: Niederschlag als Jahressumme Status quo und Szenario 2055.....	17
Abbildung 5-9: Veränderung des mittleren Monatsniederschlags in Nordrhein-Westfalen im Status quo (1951 – 2000) und Szenario 2055.....	18
Abbildung 5-10: Entwicklung von Kenntagen in Essen bis zum Jahr 2050.....	19
Abbildung 5-11: Mittlere jährliche Anzahl der Sommertage 1961-1990.	21
Abbildung 5-12: Mittlere jährliche Anzahl der Sommertage 2031-2060.	22
Abbildung 6-1: Klimatopkarte, abgeleitet aus der Flächennutzungskartierung des RVR sowie vorhandener Stadtklimaanalysen.	25
Abbildung 6-2: Relief des Ruhrgebietes.	26
Abbildung 6-3: Darstellung der Oberflächenrauigkeit im Ruhrgebiet. Quelle: Analyse der Flächennutzungskartierung, RVR (2007).....	27

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 6-4: Jahresmittelwerte der Windgeschwindigkeit bezogen auf 500m ² -Rasterflächen, ermittelt aus der Oberflächenrauigkeit und dem Relief.....	28
Abbildung 6-5: Übersicht über die Belüftungssituation in der Metropole Ruhr. Quelle: Zusammenfassung der Ergebnisse aus Karte 3-4 unter Heranziehung von Luftbildern und Flächennutzungskartierungen.	29
Abbildung 6-6: Kaltluftproduzierende Flächen im Ruhrgebiet mit einer Mindestgröße von 50 ha. Quelle: Analyse der Flächennutzungskartierung, RVR (2007).....	31
Abbildung 7-1: Übersicht der beim RVR angefertigten Klimaanalysen.	34
Abbildung 7-2: Flächenanteile der Klimatope im Stadtgebiet in der Metropole Ruhr.	45
Abbildung 8-1: Prozessorientierte Analyse	50
Abbildung 8-2: Geländehöhe im Untersuchungsraum.....	52
Abbildung 8-3: Nutzungsstruktur im Verbandsgebiet	54
Abbildung 8-4: Unterschiedliche Rasterweiten (links: 500 m x 500 m; rechts: 125 m x 125 m) bei einem digitalem Geländehöhenmodell	57
Abbildung 8-5: Eingangsdaten für die Modellrechnung.	58
Abbildung 8-6: Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für verschiedene Landnutzungen	59
Abbildung 8-7: Bodennahe Lufttemperatur um 04 Uhr.	62
Abbildung 8-8: Nächtliche Abkühlungsrate.	63
Abbildung 8-9: Prinzipskizze Flurwind.	64
Abbildung 8-10: Kaltluftströmungsfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens. Die Vektoren sind auf eine Auflösung von 250 m aggregiert.....	66
Abbildung 8-11: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom	67
Abbildung 8-12: Kaltluftvolumenstrom zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens in quantitativer Darstellung. Die Vektoren sind auf eine Auflösung von 250 m aggregiert.	68
Abbildung 8-13: : Kaltluftproduktionsrate 4 Uhr morgens.	70
Abbildung 8-14: Luftaustauschrate zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens.....	71
Abbildung 8-15: Durchlüftungssituation in 10 m über Grund (Hauptwindrichtung „Normallage“).	73

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 9-1: Ausschnitt aus der Karte der klimaökologischen Funktionen für die Metropole Ruhr.	76
Abbildung 10-1: Gegenwärtige (2013) und zukünftige Problemgebiete (2100) in der Metropole Ruhr.	78
Abbildung 11-1: Luftleitbahnen mit der Bewertung „sehr hohen klimaökologischen Bedeutung“.	80
Abbildung 11-2: Innerstädtische Park- und Grünanlagen, die keinen Zusammenhang zum Freiland haben mit der Bewertung „sehr hohe klimaökologische Bedeutung“ (Schritt 3).	81
Abbildung 11-3: direkt an Innenstadt- und Stadtklimatope angrenzende Kaltlufteinzugsgebiete mit der Bewertung „sehr hohe klimaökologische Bedeutung“ (Schritt 4).	81
Abbildung 11-4: Bewertung von Kaltlufteinzugsgebieten, die an zusammenhängende Siedlungen mit Innenstadt- und/oder Stadtklima angrenzen.	83
Abbildung 11-5: Bewertung der Kaltlufteinzugsgebiete, die an die bereits unter Schritt 5 bewerteten Flächen angrenzen.	84
Abbildung 11-6: Bewertung aller Einzugsgebiete, die an Siedlungen des Typs „Stadtrandklima“ innerhalb der Kernzone und der Übergangszone der Metropole Ruhr angrenzen und in den vorangegangenen Schritten noch nicht betrachtet wurden.	85
Abbildung 11-7: Bewertung der Kaltlufteinzugsgebiete mit zukünftig höherer Relevanz.	86
Abbildung 11-8: Ablaufdiagramm zur Flächenbewertung aus klimaökologischer Sicht.	87
Abbildung 11-9: Planungshinweiskarte für die Metropole Ruhr →NEU mit Planungshinweisen in der Legende, auch für Siedlungsräume	88

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1: Ausgewählte Indikatoren der verschiedenen Klimabezirke im Ruhrgebiet (Mittelwerte 1971-2000).	8
Tabelle 5-1: Klimatrends in Deutschland.	10
Tabelle 7-1: Anzahl der heißen Nächte (Tage, an denen die Lufttemperatur um 24:00 Uhr $\geq 20^{\circ}\text{C}$ beträgt) im Zeitraum vom 01.09.2012 bis 31.08.2013 (grün: Mittelstädte < 100.000 Einwohner; rot: Großstädte > 100.000 Einwohner).	43
Tabelle 8-1: Nutzungskategorien des Untersuchungsgebietes.	53

1 Einleitung

Der Fachbeitrag Klima zum Regionalplan Ruhrgebiet bezieht sich auf den Belang „Klimawandel und Klimaanpassung“ und wurde durch das Team „Klimaschutz, Klimaanpassung und Luftreinhaltung“ (Referat 9 „Geoinformation und Raumbewertung“) des Regionalverband Ruhr (RVR) erstellt. Auftraggeber des Fachbeitrags ist das Referat 15 „Staatliche Regionalplanung“ des RVR.

Die Erkenntnis darüber, dass sich die Folgen des Klimawandels selbst bei einer sofortigen Reduzierung der Treibhausgasemissionen noch über viele Jahrzehnte auswirken werden, hat zu der Einsicht geführt, dass nicht nur Klimaschutzmaßnahmen erforderlich sind, sondern auch Klimaanpassungsstrategien entwickelt werden müssen.

Der UN-Klimabericht von 2007 hat dargelegt, dass durch den Klimawandel eine grundlegende Veränderung der Lebensbedingungen des Menschen zu erwarten ist. Aus diesem Grund muss sich auch die Raumplanung in Zukunft mit den Folgen des Klimawandels auseinandersetzen und ggf. auch Raumnutzungsentscheidungen auf den Prüfstand stellen [SUSTAINABILITY CENTER BREMEN:22f, FRANCK & PEITMANN 2010:2].

In der aktuellen Fassung des Raumordnungsgesetzes (§2 Abs. 6 ROG) vom 22.12.2008 ist der Klimawandel mittlerweile rechtlich verankert und die Themen Klimaschutz und -anpassung werden ausdrücklich erwähnt [WIEGAND 2010:29]. Das Thema Klimaanpassung kann daher als wichtiger Baustein im Rahmen der Stadt- und Regionalplanung betrachtet werden.

Viele Klimaauswirkungen weisen einen räumlichen Charakter auf (z.B. Wärmeinseln) mit der Folge, dass die Betrachtung der räumlichen Dimension des Klimawandels immer mehr an Bedeutung gewinnt.

Im Aufgabenbereich der Regionalplanung sind allgemeine und großräumige Aussagen zu Raumnutzungen und -funktionen wie z.B. zur übergeordneten Freihaltung von Flächen unter anderem für die Vermeidung künftiger Schadenspotentiale von Bedeutung. Dabei sind auf regionaler Ebene großflächige räumliche Zusammenhänge zu erfassen, wie beispielsweise regionale Grünzüge mit Freiraumfunktionen [SUSTAINABILITY CENTER BREMEN:24]. Die Vermeidung städtischer Wärmeinseln durch den Schutz von kaltluftrelevanten Freiräumen ist ebenfalls im Rahmen der Regionalplanung zu berücksichtigen.

Die Forderungen an die Regionalplanung werden aus diesem Grund wie folgt formuliert:

- Bei allen raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen soll die Funktionsfähigkeit des Freiraumes als klimatischer und lufthygienischer Ausgleichsraum beachtet werden, dabei sind Flächen als Regenerations- und Ausgleichsräume zu erhalten
- Flächen, die der Belüftung (Belüftungsbahnen, Kaltluftabflüsse) und Kaltluftproduktion dienen und klimatische Entlastungspotentiale für die Siedlungsräume darstellen, sind zu schützen und zu erhalten
- Klimatisch günstige Bereiche sind zu erhalten und durch Überwärmung bedingte Belastungen sind abzubauen
- Maßnahmen, die den Luftaustausch zwischen Ausgleichsräumen und Siedlungsbereichen einschränken, sind zu vermeiden

Der Fachbeitrag zur Klimaanpassung des RVR, Team Klimaschutz, Klimaanpassung u. Luftreinhaltung, hat zum Ziel, die klimatischen Verhältnisse der Metropole Ruhr flächendeckend im Maßstab 1:50.000 darzustellen und daraus den Handlungs- und Planungsbedarf unter dem Aspekt des Klimawandels abzuleiten. Den Schwerpunkt der Betrachtung bildet dabei die thermische Komponente. Aussagen zu den Niederschlagsereignissen und den vor dem Hintergrund des Klimawandels zu erwartenden vermehrten Starkregenereignissen sind nicht Gegenstand des vorliegenden Fachbeitrags.

Schwerpunkte des Fachbeitrags bilden:

- Die Analyse der wesentlichen Klimafaktoren mit Darstellung der Klimatope sowie der kaltluftproduzierenden Flächen und der belüftungsrelevanten Bereiche
- Die Einschätzung der Auswirkungen des Klimawandels im Ruhrgebiet hinsichtlich der Wärmebelastung
- Die Darstellung der klimatischen Situation anhand der Klimaanalysekarte für die Metropole Ruhr
- Die kartographische Aufbereitung des Handlungsbedarfs aus klimatologischer Sicht mit Schwerpunkt auf dem Schutz regional bedeutsamer kaltluftproduzierender Flächen und belüftungsrelevanter Gebiete

2 Hintergrund und rechtliche Vorgaben

Die Raumordnung hat gegenüber den Fachplanungen eine übergeordnete, koordinierende Aufgabe. Im Raumordnungsgesetz vom 22. Dezember 2008 werden die Themenfelder Klimaschutz (Mitigation) und Klimaanpassung (Adaptation) explizit aufgegriffen:

„Der Raum ist in seiner Bedeutung für die Funktionsfähigkeit [...] des Klimas einschließlich der jeweiligen Wechselwirkungen zu entwickeln, zu sichern oder, soweit erforderlich, möglich und angemessen, wiederherzustellen. [...] Den räumlichen Erfordernissen des Klimaschutzes ist Rechnung zu tragen, sowohl durch Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegenwirken, als auch durch solche, die der Anpassung an den Klimawandel dienen. Dabei sind die räumlichen Voraussetzungen für den Ausbau der erneuerbaren Energien, für eine sparsame Energienutzung sowie für den Erhalt und die Entwicklung natürlicher Senken für klimaschädliche Stoffe und für die Einlagerung dieser Stoffe zu schaffen“ (§ 2 Abs. 2 Nr. 6 ROG).

Im Jahr 2008 hat das Bundeskabinett die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandels (DAS) „Dem Klimawandel begegnen“ beschlossen. Diese schafft einen Rahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Deutschland und stellt damit in erster Linie den Beitrag des Bundes dar. Sie legt den Grundstein für einen mittelfristigen Prozess, in dem schrittweise mit den Bundesländern und anderen betroffenen Akteuren der mögliche Handlungsbedarf benannt, die entsprechenden Ziele definiert sowie mögliche Anpassungsmaßnahmen entwickelt und umgesetzt werden sollen [BUNDESKABINETT 2008:1; SUSTAINABILITY CENTER BREMEN:7]. Die DAS sieht die Raumplanung in einer „Vorreiterrolle“ in Bezug auf die Entwicklung von Leitbildern für anpassungsfähige und belastbare Raumstrukturen.

„In Städten und Ballungsräumen sorgt die räumliche Planung – gegebenenfalls zusammen mit der Landschaftsplanung – für zusammenhängende, nicht bebaute Gebiete (Grünzüge) und Frischluftschneisen, die vor allem einer Überwärmung im Sommer vorbeugen helfen. Während Siedlungen und Gebäude in jüngster Zeit im Rahmen der Bauleitplanung und Objektplanung häufig im Hinblick auf maximale Sonneneinstrahlung optimiert werden, was im Winter energetisch von Vorteil sein kann, muss auch die Planung künftig noch stärker nach Lösungen zur Vermeidung einer übermäßigen Erwärmung von Gebäuden und Erholungsflächen im Sommer suchen“ [BUNDESKABINETT 2008:42].

Aufbauend auf der DAS hat die Landesregierung Nordrhein-Westfalen im Jahr 2009 eine umfassende landesweite Anpassungsstrategie vorgelegt, die auf die regionalen Besonder-

heiten des Landes eingeht und den betroffenen Akteuren in Wirtschaft, Gesellschaft und öffentlichen Einrichtungen Handlungsoptionen nahelegt.

Obwohl die Auswirkungen des Klimawandels für Nordrhein-Westfalen als eher moderat erwartet werden, weist NRW bereits heute ein sehr breites Spektrum mit rund 40 Klimaanpassungsprojekten auf. Diese durch das nordrhein-westfälische Umweltministerium initiierten und finanzierten Projekte konzentrieren sich vor allem auf die wissenschaftliche Grundlagenforschung und auf Bildungsinitiativen, beinhalten darüber hinaus aber auch konkrete Maßnahmen für insgesamt acht Lebens-, Umwelt- und Wirtschaftsbereiche (Landwirtschaft und Boden, Wald und Forstwirtschaft, Biologische Vielfalt und Naturschutz, Wasserwirtschaft, Tourismus, Gesundheit, Städte und Ballungsräume und Anlagensicherheit) [MUNLV 2009:8]. Unter Berücksichtigung der Anpassungsstrategie erarbeitet die Landesregierung derzeit in einem umfangreichen Beteiligungsverfahren einen Klimaschutzplan, der neben zahlreichen Klimaschutzaktivitäten Strategien und Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels beinhalten wird.

Grundlage für den Klimaschutzplan bildet das Klimaschutzgesetz NRW, das verbindliche Klimaschutzziele für Nordrhein-Westfalen festlegt. Hierdurch sollen die erforderlichen Beiträge zur Erreichung zentraler Ziele der internationalen, europäischen und deutschen Klimapolitik geleistet werden.

Nach § 3 (3) des Klimaschutzgesetzes sind die negativen Auswirkungen des Klimawandels durch die Erarbeitung und Umsetzung von sektorspezifischen und auf die jeweilige Region abgestimmten Anpassungsmaßnahmen zu begrenzen.

Der derzeit gültige Landesentwicklungsplan Nordrhein-Westfalen (LEP NRW) wurde bereits 1995 aufgestellt. Aus diesem Grund und aufgrund neuerer Rechtsgrundlagen und Rechtsprechung sowie veränderten Rahmenbedingungen (v.a. demographischer Wandel, Klimawandel) wird derzeit ein neuer umfassender Landesentwicklungsplan für Nordrhein-Westfalen erarbeitet (der LEP 2025 befindet sich zurzeit im Aufstellungsverfahren).

Er wird neue politische Zielsetzungen u.a. zur flächensparenden Siedlungsentwicklung und zur Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energien in raumordnerische Grundsätze und Ziele umsetzen.

3 Beschreibung der Methodiken zur Untersuchung des Regionalklimas

Zur Erfassung und Bewertung des Klimas in der Metropole Ruhr wurden zahlreiche Untersuchungen und Auswertungen durchgeführt.

Zur ersten Einschätzung der klimatischen Situation erfolgt zunächst eine Analyse der wichtigsten Klimafaktoren (**1. Faktorenanalyse in Abbildung 3-1**). Genutzt werden dabei die im Regionalverband Ruhr vorliegenden aktuellen und detaillierten Datenbestände. Dazu gehören die Flächennutzungskartierung, die auf der Basis der aktuellen Befliegung mit über 200 Nutzungsarten eine sehr genaue Übersicht über die Landnutzung ermöglicht und zur Abgrenzung klimatischer Last- und Ausgleichsräume herangezogen werden kann, ebenso wie das digitale Geländemodell mit einer Auflösung von 10 m.

Zur Übersicht über die komplexen klimatischen Verhältnisse in der Metropole Ruhr wurde schließlich eine sog. „Klimaanalysekarte“ erstellt, die anhand von Klimatopen eine flächendeckende Beschreibung klimatischer Gunst- und Ungunsträume ermöglicht (**2. Regionale Klimaanalysekarte in Abbildung 3-1**).

Neben der Darstellung der Klimatope, die aus einer Vielzahl an Einzelgutachten des RVR und durch Analyse umfassender Modellierungen und Geodaten resultiert, stellt die regionale Betrachtung des bodennahen Windfeldes einen weiteren Schwerpunkt des Fachbeitrags dar. In diesem Zusammenhang wird u.a. mit Hilfe des Simulationsmodells FITNAH eine großräumige Berechnung der Belüftungsverhältnisse und Kaltluftabflüsse durchgeführt.

Als Grundlage zur Modellierung der klimatischen Bedingungen wurden die Geodaten des Regionalverbands Ruhr genutzt. Dabei wurde als Basisgeometrie die Flächennutzungskartierung mit ihrem ca. 200 Flächenarten umfassenden Katalog herangezogen und daraus klimatisch relevante Nutzungskategorien abgeleitet. Die Gebäudegrundrisse und –höhen, die als Eingangsdaten mit in das Modell eingeflossen sind, entstammen der Lärmkartierung. Für die Geländehöhe wurde das Höhenmodell DGM 5 der Katasterverwaltung herangezogen. Dem RVR vorliegende aktuelle Luftbilder dienen zur Prüfung der Rechenergebnisse.

Als Eingangsdaten für die Klimamodellierung und zur Validierung der Modellergebnisse wird zudem auf bestehende Datenbestände aus dem RVR-eigenen Messnetz und auf Sonderuntersuchungen im Rahmen von Klimaanalysen zurückgegriffen.

Vorteil des Modelleinsatzes und des Vorliegens der RVR- Daten ist, dass ein aufwändiges Messprogramm zur klimatisch-lufthygienischen Bewertung in der Metropole Ruhr entbehrlich ist. Das methodische Vorgehen bei der Modellierung der klimatisch relevanten Aspekte ist

vorrangig auf die Ebene der Regionalplanung ausgerichtet, ermöglicht aber ebenso abgesicherte Aussagen für die Flächennutzungsplanung. Um beiden Planungsebenen gerecht zu werden, wurde ein Zielmaßstab von 1:20.000 bei einer Rasterauflösung von 50 m x 50 m für die Berechnung gewählt. Die Ergebnisse aus der FITNAH-Modellierung wurden mit den Darstellungen in der Regionalen Klimaanalysekarte kombiniert und münden schließlich in der Karte der klimaökologischen Funktionen (**3. Klimaökologische Funktionen in Abbildung 3-1**). Im Vergleich zur Klimaanalysekarte liegt dabei der Schwerpunkt auf der Bewertung der Freiflächen hinsichtlich ihres Kaltluftliefervermögens.

Auf der Grundlage der detaillierten klimaökologischen Analyse der Ist-Situation wurde schließlich eine Bewertung der an die Lasträume angrenzenden Freiflächen in der Region vorgenommen und für alle Flächen – einschließlich der Siedlungsräume - planungsrelevante Aussagen zusammengestellt (**4. Bewertung von Flächen in Abbildung 3-1**).

Eine Übersicht der Zusammenhänge zwischen den einzelnen Arbeitsschritten ermöglicht **Abbildung 3-1**.

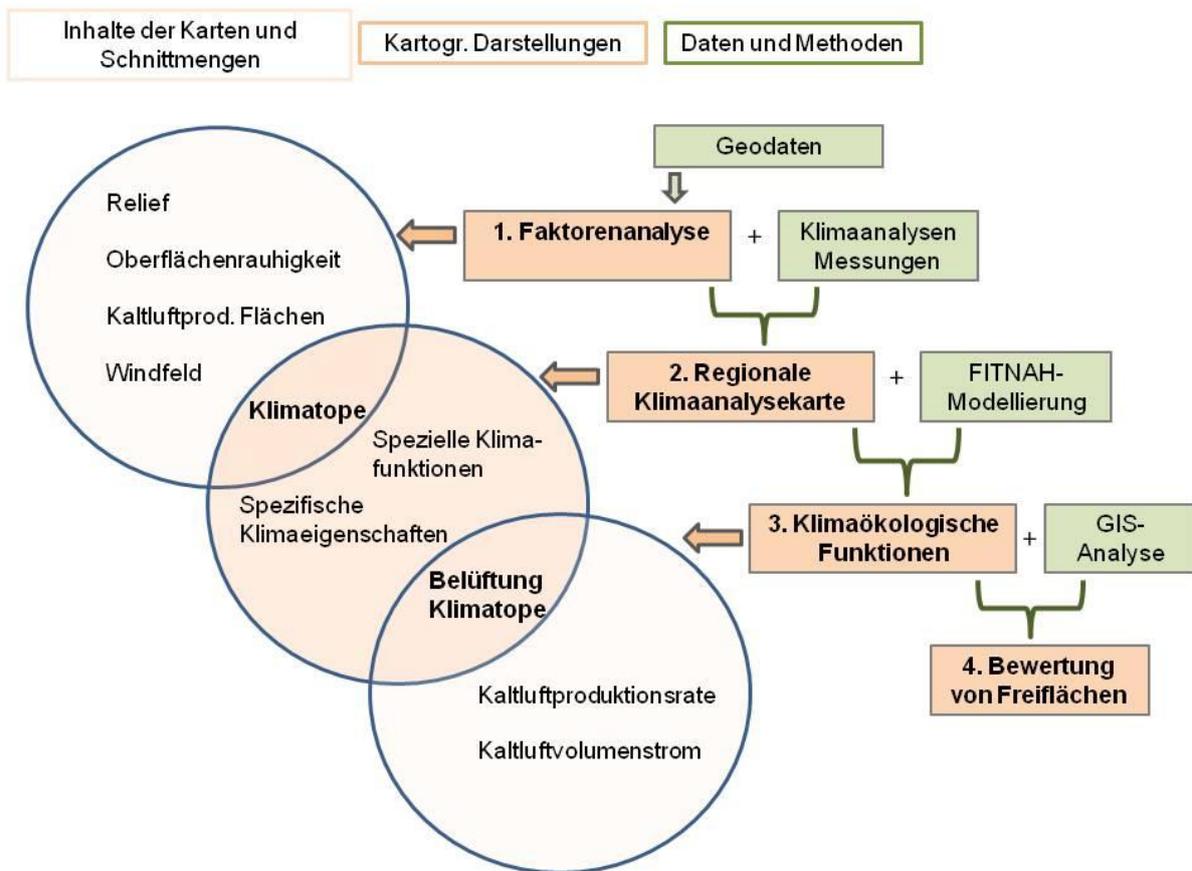


Abbildung 3-1: Zusammenhänge zwischen den in der Untersuchung angewandten Arbeitsschritten.

4 Naturraum und Klima in der Metropole Ruhr

Der Ballungsraum Ruhrgebiet stellt weniger naturräumlich als vielmehr wirtschaftsgeographisch eine Einheit dar. Er liegt im Schnittpunkt des Rheinischen Schiefergebirges, der Westfälischen Tieflandsebene und der Niederrheinischen Ebene. Im Süden grenzen das Bergische und Märkische Land an, nördlich der Ruhr befinden sich die Lößebenen der Hellwegzone und die Emscherniederung. Nördlich des Lippetals schließt die Westfälische Bucht an [KVR 2001:2f]

Das Verbandsgebiet des RVR umfasst eine Fläche von ca. 4.450 km², dies entspricht ca. 10 % der Fläche Nordrhein-Westfalens. Die größte Ost-West-Flächenausdehnung beträgt 116 km, die größte Nord-Süd-Flächenausdehnung misst 67 km.

Zur Metropole Ruhr gehören die elf kreisfreien Städte Bochum, Bottrop, Dortmund, Duisburg, Essen, Gelsenkirchen, Hagen, Hamm, Herne, Mülheim an der Ruhr und Oberhausen sowie die vier Kreise Ennepe-Ruhr-Kreis, Kreis Recklinghausen, Kreis Unna und Kreis Wesel.

Klimatisch betrachtet liegt das Ruhrgebiet im Bereich des Westwindgürtels mit kühl-gemäßigten Sommern und mäßig-kalten Wintern. Es wird dem nordwestdeutschen Klimabereich zugeordnet, der sich in Abhängigkeit von der Landschaftsform in verschiedene Klimabezirke unterteilen lässt (s. **Abbildung 4-1**).

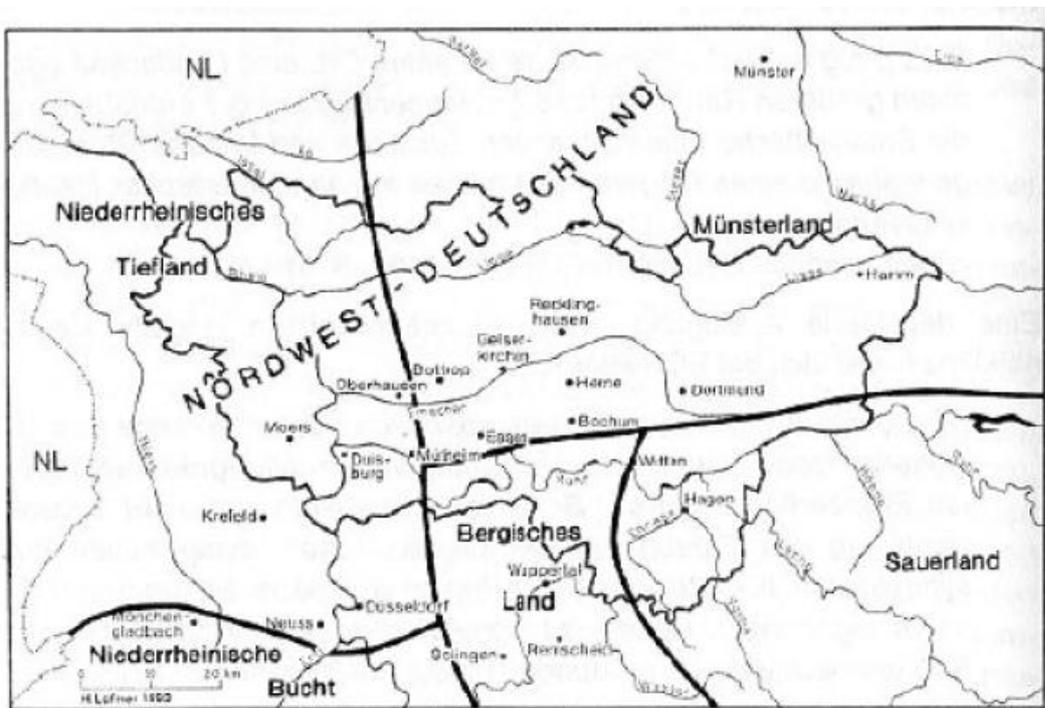


Abbildung 4-1: Klimabezirke im Ruhrgebiet.

Weite Teile des Ruhrgebietes liegen im Klimabezirk Westfälische Bucht, Teilbereiche sind dem Niederrheinischen Tiefland, dem Bergischen Land und dem Sauerland zuzuordnen.

Für die höher gelegenen südlichen Bereiche des Ruhrgebietes, die an das Bergische Land und das Sauerland angrenzen, gelten andere klimatologische Eigenschaften als für die flache Westfälische Bucht. Die höher gelegenen Gebiete zeichnen sich aus durch:

- Eine Zunahme der Jahresniederschläge mit der Höhenlage
- Niedrigere Temperaturen aufgrund der zunehmenden Höhe, so dass die Winterniederschläge eher in Form von Schnee fallen
- Kleinräumige Unterschiede zwischen Kuppen- und Tallagen wie Kaltluftabflüsse oder Talnebel

	Niederrhein. Tiefland	Westfälische Bucht	Bergisches Land	Sauer- und Siegerland
Mittlere Anzahl der Eistage (Lufttemperatur ganztägig unter 0°C)	0-10	0-30	0-30	11-60
Mittlere Zahl der Frosttage (Lufttemperatur einmal unter 0°C)	30-59	30-89	30-89	45-134
Mittlere Zahl der Sommertage (Lufttemperatur mind. 25°C)	26-39	19-39	19-39	4-32
Heiße Tage pro Jahr (Lufttemperatur mind. 30°C)	5-8	3-6	3-8	0-6
Mittlere Niederschlagssumme (mm)	600-900	600-900	800-1400	800-1500

Tabelle 4-1: Ausgewählte Indikatoren der verschiedenen Klimabezirke im Ruhrgebiet (Mittelwerte 1971-2000).

Quelle: Klimaatlas NRW (www.klimaatlas.nrw.de).

5 Klimawandel in der Metropole Ruhr

Während die in den vergangenen Jahrillionen aufgetretenen Klimaänderungen durch natürliche Faktoren bestimmt waren, gilt es heute als erwiesen, dass vor allem der Mensch für die Erwärmung und das gehäufte Auftreten von Extremwetterereignissen verantwortlich ist [SCHÖNWIESE 2009]. Hauptursache für die globale Erwärmung ist mit hoher Wahrscheinlichkeit der vom Menschen verursachte Ausstoß von Treibhausgasen (Kohlendioxid, Methan, Stickoxide, etc.) durch die Verbrennung fossiler Energieträger, großflächige Waldrodungen sowie Ackerbau und Viehzucht.

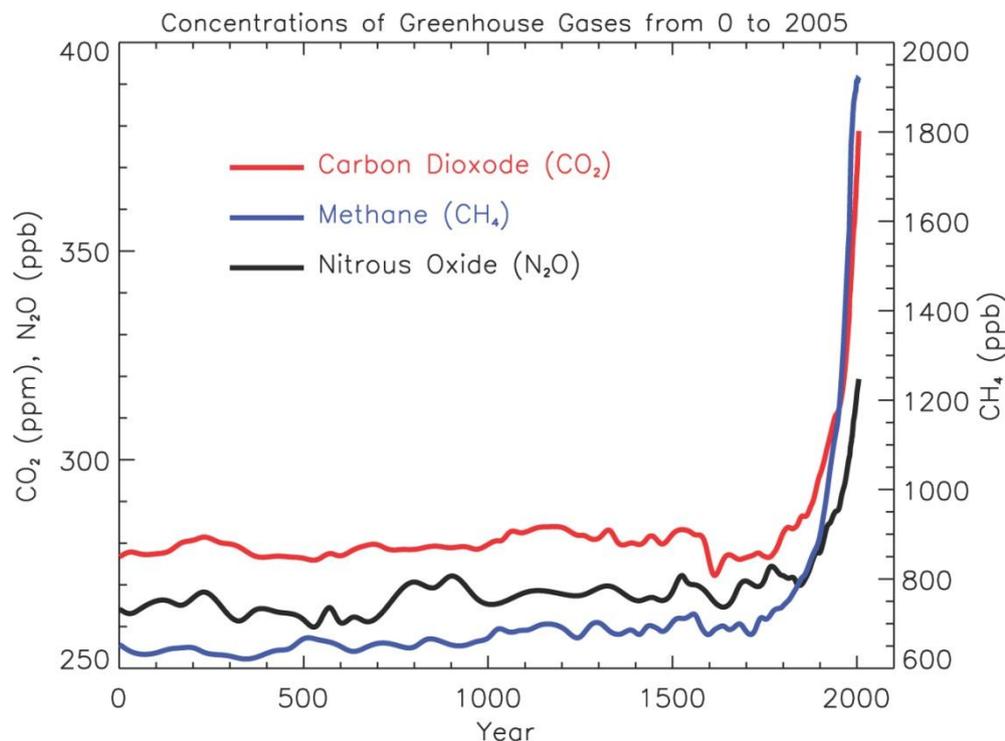


Abbildung 5-1: Die atmosphärische Konzentration von Kohlendioxid, Methan und Lachgas in den letzten 2.000 Jahren. Bis zum Jahr 2005 ist die globale atmosphärische CO₂-Konzentration von einem vorindustriellen Wert von ca. 280 ppm auf 379 ppm gestiegen.

Quelle: IPCC 2007

5.1 Klimatrends der vergangenen 100 Jahre

5.1.1 Deutschlandweite Klimatrends

Bezüglich der Zunahme der globalen Mitteltemperatur können relativ konkrete Aussagen getroffen werden, während der Niederschlag eine wesentlich höhere Messfehlerbelastung und eine geringere räumliche Repräsentanz aufweist. Die europäischen Niederschlags-

Trendkarten verdeutlichen jedoch, dass eine jahreszeitliche Differenzierung hinsichtlich der Niederschlagsveränderung aufgetreten ist: in den Sommermonaten überwiegt eine Abnahme der Niederschläge, während die Winter immer niederschlagsreicher werden. **Tabelle 5-1** zeigt eine Übersicht der jahreszeitlichen Temperatur- und Niederschlagstrends in Deutschland.

Tabelle 5-1: Klimatrends in Deutschland.

Klimaelement	Zeitintervall	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
Temperatur	1901-2000	+0,8°C	+1,0°C	+1,1°C	+0,8°C	+1,0°C
	1951-2000	+1,4°C	+0,9°C	+0,2°C	+1,6°C	+1,0°C
Niederschlag	1901-2000	+13 %	-3 %	+9 %	+19 %	+9 %
	1951-2000	+14 %	-16 %	+18 %	+19 %	+6 %

Quelle: SCHÖNWIESE, 2009.

5.1.2 Regionale Klimatrends

Den Trend der Klimaveränderungen der vergangenen 100 Jahre in der Metropole Ruhr verdeutlichen am besten die an der Ludger-Mintrop-Stadtklima-Station (LMSS) in der Bochumer Innenstadt erhobenen Klimadaten.

Die Ludger-Mintrop-Stadtklima-Station zählt zu den ältesten Klimastationen in Deutschland. Ihre Datenreihen reichen bis in das Jahr 1888 zurück und ermöglichen somit wertvolle Aussagen zum Klimawandel. Ehemaliger Betreiber der Station war die Westfälische Berggewerkschaftskasse, die mit den Daten die Zusammenhänge zwischen Witterung außerhalb und innerhalb der Bergwerksstollen untersucht hat [GRUDZIELANEK et al 2011]. Im Jahr 1994 wurde die Wetterstation von der Arbeitsgruppe Klimaforschung der Ruhr-Universität Bochum übernommen und seither betreut.

Die Station liegt in der Nähe der Bochumer Innenstadt nahe des Deutschen Bergbaumuseums und registriert die stadtklimatischen Bedingungen. Mit Hilfe der langjährigen Datenreihe ist es möglich, eine Aussage zum Trend der Temperaturentwicklung zu treffen.

In **Abbildung 5-2** sind die Jahresmittelwerte der Lufttemperatur für die Jahre 1912-2010 zusammengestellt, wobei die zwölf wärmsten Jahre rot markiert sind. Es wird deutlich, dass die zwölf wärmsten Jahre – mit Ausnahme des Jahres 1959 – in den vergangenen 21 Jahren liegen. Somit ist seit Beginn der Temperaturaufzeichnung in Bochum eine Temperaturzunahme nachzuweisen, die ebenfalls durch die Trendkurve (grün) zum Ausdruck kommt. Da im Zuge der Verstädterung dieser Aspekt ebenfalls bezüglich der Lufttemperaturen eine Rolle spielt, hat M. Falkenhagen [GRUDZIELANEK et al. 1910] diesen Faktor rechnerisch er-

mittelt. Er errechnete einen Stadtklimaeffekt von 0,2 bis 0,5 Kelvin je Bezugszeitraum (Daten von 1912 bis 2005). Nach seiner Ermittlung liegt demnach eine Temperaturzunahme von ca. 1 – 1,3 Kelvin im betrachteten Zeitraum vor. Nachgewiesen werden konnte weiterhin eine früheres Einsetzen von Hitzetagen und ein späteres Auftreten im Jahresverlauf. Neben einer Verschiebung hin zu höheren Temperaturen wurde auch heute schon eine überproportionale Zunahme der Sommer- und Hitzetage ermittelt [GRUDZIELANEK et al. 2011].

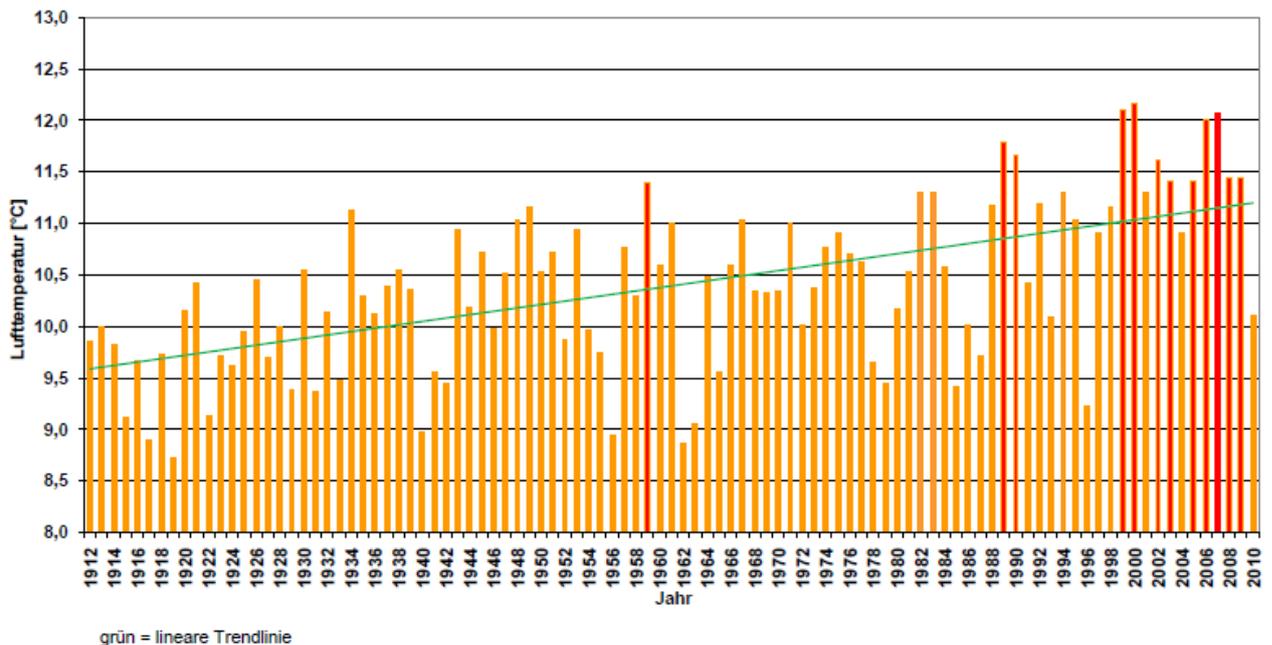


Abbildung 5-2: Verlauf der jährlich gemittelten Lufttemperatur [°C] an der Ludger-Mintrop-Klimastation der Ruhr-Universität Bochum. Zeitraum: 1912-2010.

Datenquelle: Ruhr-Universität Bochum, 2011.

5.2 Klimaprojektionen für die kommenden 100 Jahre

5.2.1 Globale Modelle

Das Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC 2007] lässt seit vielen Jahren die Auswirkungen der anthropogenen Klimaveränderungen durch verschiedene mathematische Verfahren simulieren. Dabei werden die physikalischen Prozesse der Atmosphäre unter Berücksichtigung der Einflüsse verschiedener Klimafaktoren wie z.B. Relief, Vegetation, Flächennutzung und Treibhausgasemissionen in numerischen Klimasimulationsmodellen rechnerisch nachgebildet. Aufgrund der Komplexität der atmosphärischen Prozesse und der begrenzten Rechnerleistung der Simulationscomputer können die Modelle nur Aussagen zu

mittleren atmosphärischen Verhältnissen (Jahres- oder Dekadenmittelwerte) bei einer räumlichen Auflösung von 100 bis 200 km liefern.

Bei der Berechnung der zukünftigen klimatischen Verhältnisse unterscheidet das IPCC verschiedene Szenarien, wobei vier Gruppen von Szenarien-Familien deklariert werden:

Szenarien-Gruppe A1:

Die Szenarien-Gruppe A1 geht von einem zukünftig schnellen Wirtschaftswachstum und einem Maximum der Weltbevölkerung in der Mitte des 21. Jahrhunderts aus, wobei diese danach aber wieder abnimmt. Darüber hinaus erfolgt im A1-Szenario eine rasche Einführung neuer Technologien. Die Welt wird zunehmend globaler, d. h. regionale Unterschiede bei den Einkommen, in kultureller und sozialer Hinsicht sowie in der technologischen Entwicklung gleichen sich weitgehend aus. Bei den A1-Szenarien werden drei Sub-Szenarien der technologischen Entwicklung unterschieden:

- A1FI: intensive Nutzung fossiler Brennstoffe,
- A1T: starke Nutzung nicht-fossiler Energieträger
- A1B: ausgewogene Mischung fossiler und nicht-fossiler Energieträger

Szenarien-Gruppe A2:

A2-Szenarien hingegen beschreiben eine sehr heterogene Welt mit einer regional sehr unterschiedlich verlaufenden Geburtenrate. Die Weltbevölkerung wird weiter wachsen. Die ökonomische Entwicklung ist primär regional bestimmt. Das Wachstum des Bruttosozialprodukts und die technologische Entwicklung sind regional unterschiedlicher und langsamer als bei den anderen Hauptgruppen.

Die Familie der B1-Szenarien ist – wie die Familie der A 1-Szenarien - ebenfalls stark global orientiert. Allerdings geht man bei den B1-Szenarien von einem schnellen Wachstum der wirtschaftlichen Struktur zu einer globalen Dienstleistungs- und Informationsgesellschaft aus. Es wird eine Reduktion des Ressourcenverbrauchs und eine schnelle Einführung umweltfreundlicher Technologien angenommen.

Szenarien-Gruppe B2:

B2-Szenarien setzen auf lokale bzw. regionale Entwicklungen. Umweltschutz und soziale Gerechtigkeit haben einen hohen Stellenwert, jedoch ausschließlich auf lokaler Ebene. Auch in diesem Szenario nimmt die Weltbevölkerung stetig zu, wobei die Zunahme jedoch langsamer vonstatten geht als bei den A2-Szenarien. Die wirtschaftliche Entwicklung bewegt sich hierbei auf mittlerem Niveau [IPCC 2007].

Abbildung 5-3 verdeutlicht die Schätzungen und wahrscheinlichen Bandbreiten für die mittlere globale Erwärmung an der Erdoberfläche für sechs Emissionsszenarien. So liegt die beste Schätzung für das niedrigste Szenario (B1) bei 1,8 °C mit einer wahrscheinlichen Bandbreite von 1,1°C bis 2,9 °C; die beste Schätzung für das höchste Szenario (A1FI) beträgt 4,0 °C mit einer wahrscheinlichen Bandbreite von 2,4°C bis 6,4 °C.

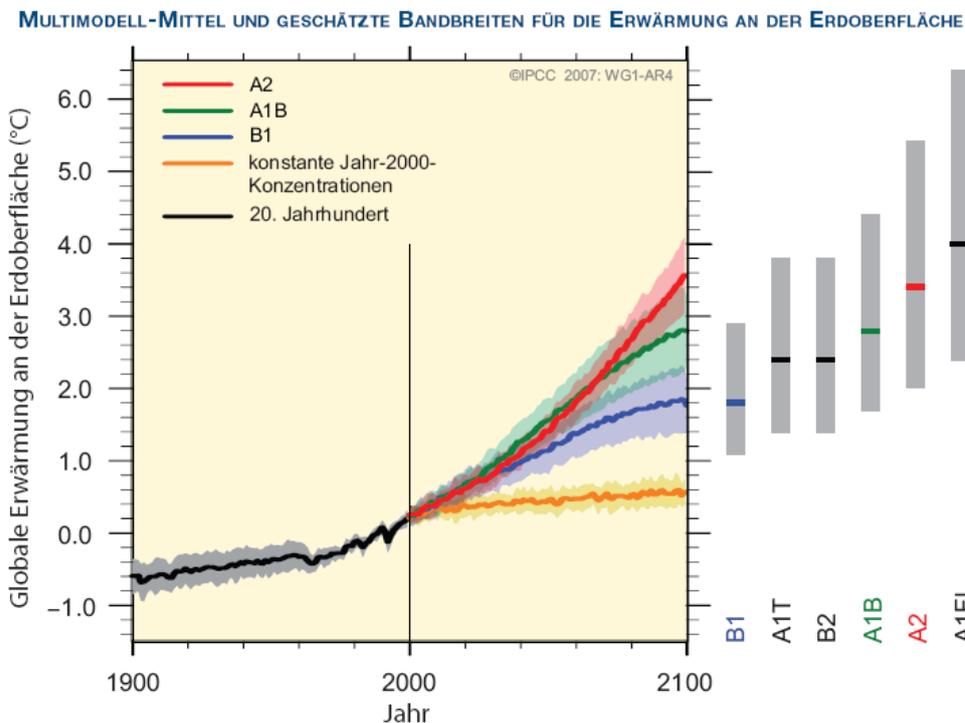


Abbildung 5-3: Globale Multimodell-Mittel der bodennahen Erwärmung relativ zu 1980-99.

Quelle: IPCC 2007

Der IPCC 2007 sagt für die Zukunft eine weitere Zunahme der mittleren globalen Lufttemperatur vorher, wobei der Klimawandel in Abhängigkeit von der Landnutzung, dem Relief und der Klimazonenzugehörigkeit in unterschiedlicher Ausprägung in Erscheinung treten wird [IPCC 2007].

Dabei zeigen die mit den unterschiedlichen Szenarien projizierten Erwärmungen im 21. Jahrhundert ein ähnliches Muster: die größte Erwärmung wird über Land und den hohen nördlichen Breiten erwartet, während die kleinste über dem südlichen Ozean und über Teilen des Nordatlantischen Ozeans auftritt (**Abbildung 5-4**).

Die Niederschläge werden in den höheren Breiten sehr wahrscheinlich zunehmen, während in den subtropischen Landregionen eher eine Abnahme zu verzeichnen sein wird (**Abbildung 5-5**).

MODELLPROJEKTIONEN DER ERDOBERFLÄCHENTEMPERATUR

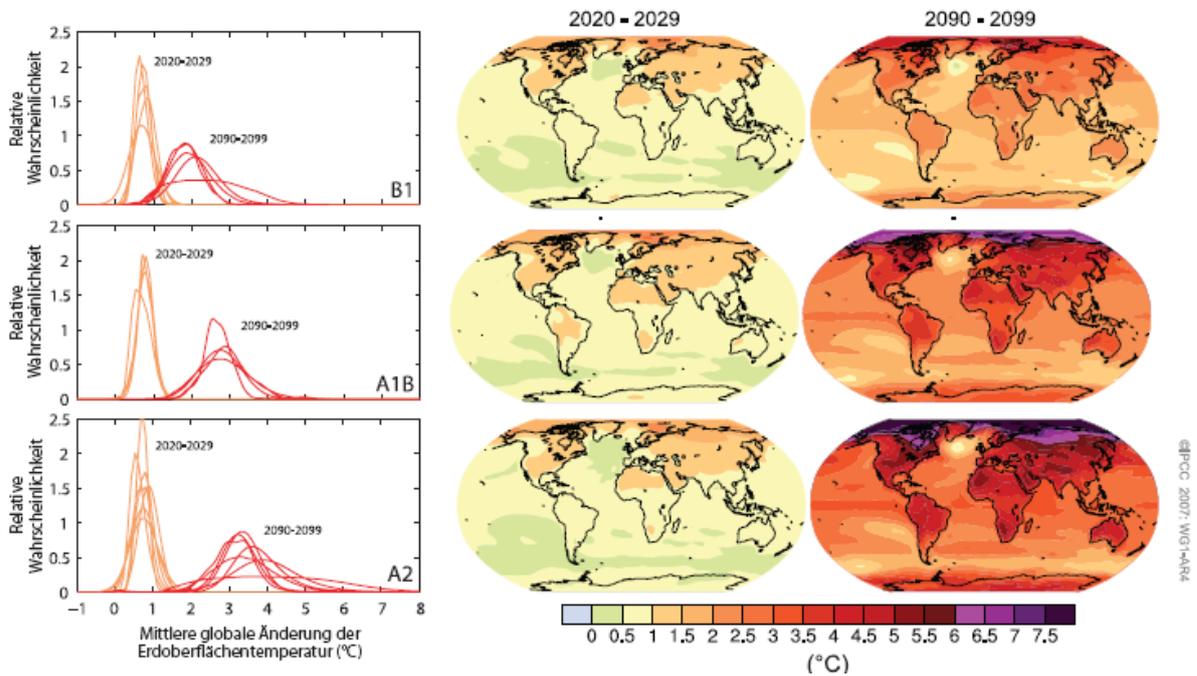


Abbildung 5-4: Projizierte Änderungen der bodennahen Lufttemperaturen für das frühe und späte 21. Jahrhundert im Vergleich zum Zeitraum 1980-1999.

Quelle: IPCC 2007

PROJIZIERTE ÄNDERUNGSMUSTER DER NIEDERSCHLÄGE

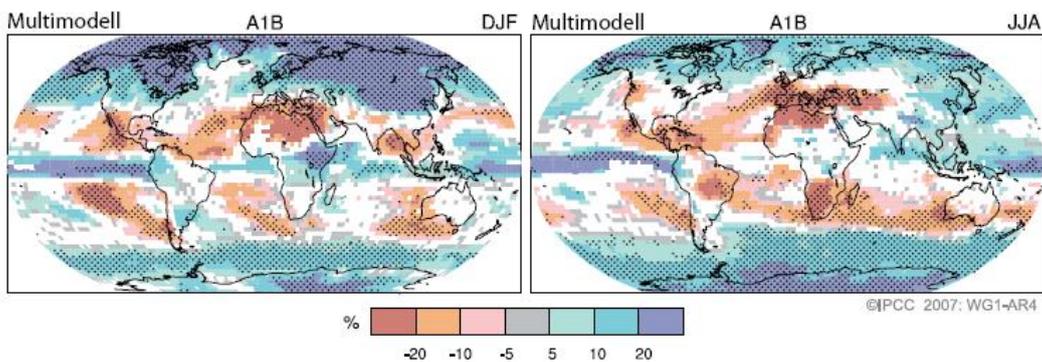


Abbildung 5-5: Relative Änderung der Niederschläge in % für den Zeitraum 2090-2099 im Vergleich zu 1980-1999 als Ergebnis von Multimodell-Mittle-Projektionen für das A1B-Szenario (links für die Wintermonate, rechts für die Sommermonate).

Quelle: IPCC 2007

Langzeitliche Trends über die Veränderungen der Windverhältnisse sind derzeit kaum möglich, was sehr wahrscheinlich an der beim Wind im Vergleich zum Niederschlag noch größeren zeitlich-räumlichen Variabilität liegt. Nach IPCC gilt es jedoch als erwiesen, dass die mitt-

leren Westwinde auf beiden Hemisphären im Zeitraum von 1960-1990 leicht zugenommen haben.

Die aufgeführten Klimatrends werden von der in der Regel stärker ausgeprägten Wettervariabilität überlagert, so dass sie nicht ohne Weiteres auffallen. Hinzu kommt, dass die Zahlenwerte auf den ersten Blick relativ gering erscheinen. Dagegen wird kurzfristigen Extremereignissen, die z.T. mit gravierenden Folgen verbunden sind, wesentlich mehr Aufmerksamkeit geschenkt. Extremereignisse können dabei sehr unterschiedliche Zeiträume umfassen: sie reichen von lokalen Starkregenereignissen und momentanen starken Windböen bis hin zu länger andauernden Starkniederschlägen oder langen Hitzeperioden (wie z.B. der Sommer 2003) [SCHÖNWIESE 2009].

5.2.2 Regionale Modelle

Um Aussagen über die zukünftige klimatische Entwicklung auf regionaler Ebene zu ermöglichen, ist es erforderlich, die von den globalen Modellen getroffenen Aussagen zu verfeinern. Dabei wird auf zwei unterschiedliche regionale Klimamodellvarianten zurückgegriffen.

- die numerischen Modelle wie CLM (Gerstengarbe & Werner 2007) und REMO 10 (UBA 2008) errechnen – wie die globalen Modelle auch – die Klimaänderungen über physikalische Gleichungssysteme, welche die atmosphärischen Prozesse abbilden
- die statistischen Modelle wie STAR II (Gerstengarbe & Werner 2007) und WETTREG (Spekat et al. 2007), die bereits vorliegende klimatische Messreihen der letzten Dekaden über Trendfunktionen in die Zukunft projizieren

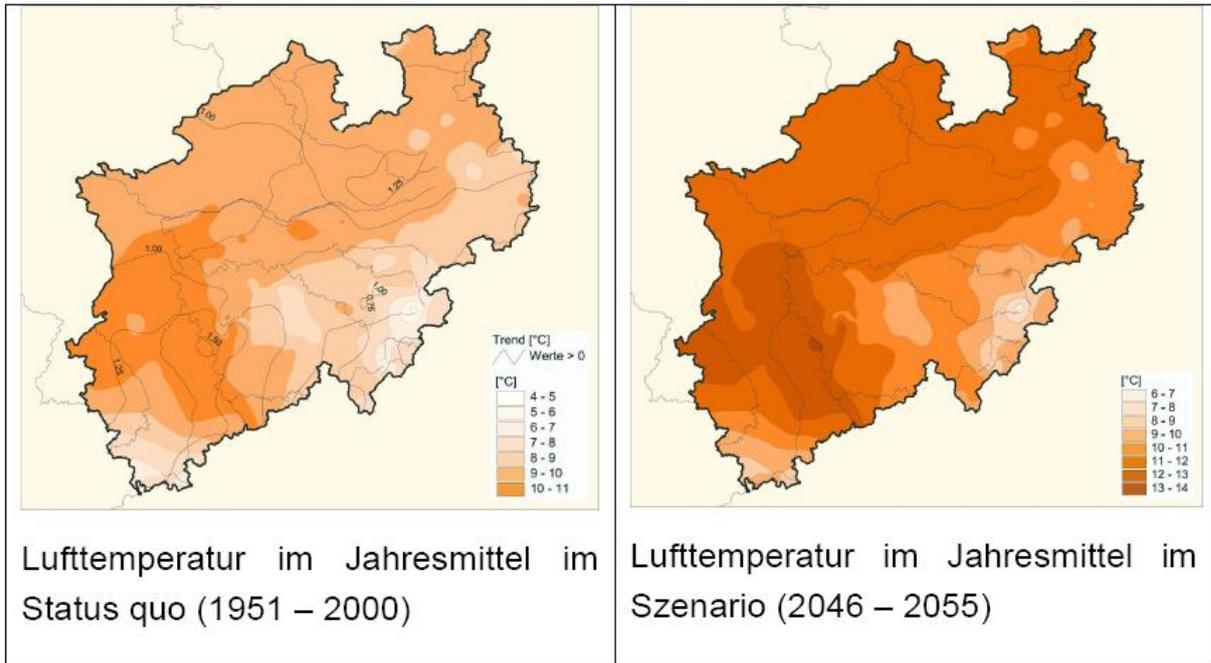


Abbildung 5-6: Lufttemperatur im Jahresmittel im Status quo und im Szenario 2055

Quelle: MUNLV 2009.

Für die Darstellung der klimatischen Entwicklungen in den nordrhein-westfälischen Großlandschaften wurde ein statistisches regionales Klimaszenario für den Zeitraum 2046 -2055 gewählt.

Die Berechnungsergebnisse verdeutlichen eine Erhöhung der landesweiten Jahresmitteltemperaturen um bis zu +1,9° C (**Abbildung 5-6**).

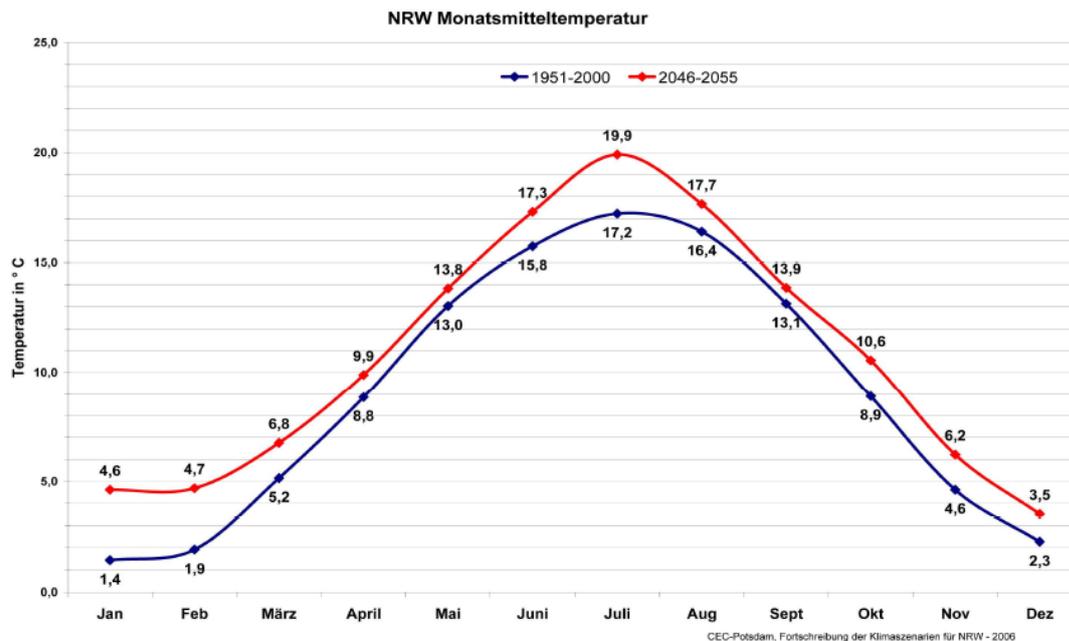


Abbildung 5-7: Veränderung der Monatsmitteltemperatur

Dabei ist eine Differenzierung der verschiedenen Jahreszeiten festzustellen: während in den Wintermonaten um bis zu 3 °C höhere Temperaturen auftreten, sind in den Sommermonaten um bis zu 2,7 °C höhere Temperaturen im Vergleich zum Zeitraum 1951 – 2000 aufgetreten (**Abbildung 5-7**).

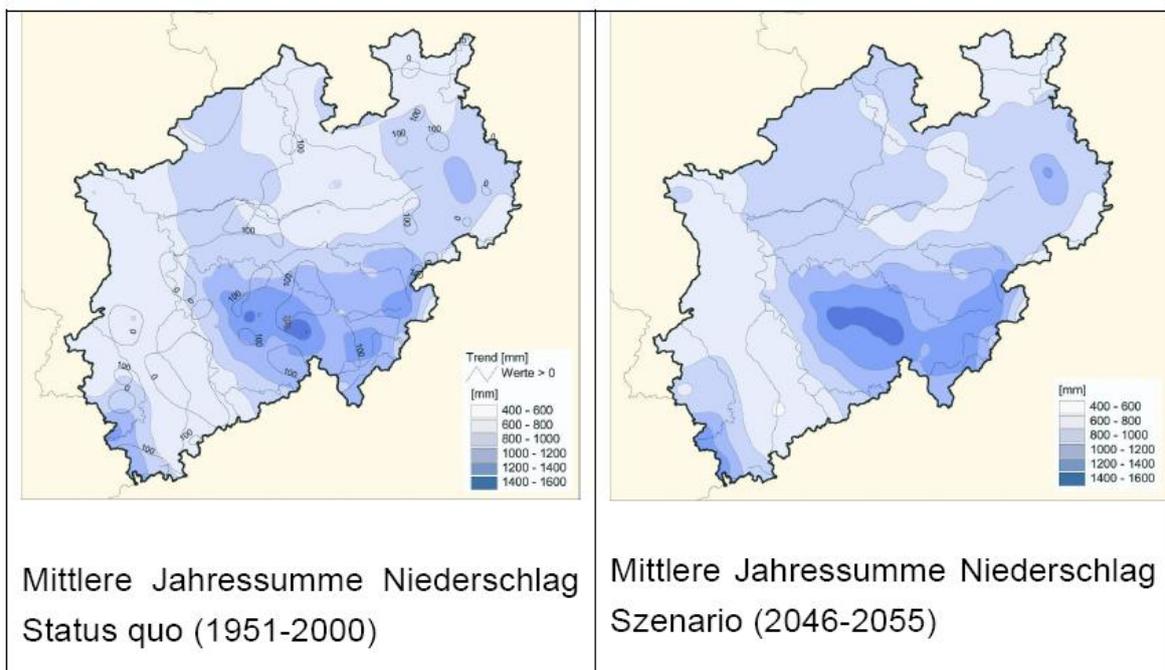


Abbildung 5-8: Niederschlag als Jahressumme Status quo und Szenario 2055

Quelle: MUNLV 2009.

Die Niederschläge erhöhen sich im Mittel nur geringfügig (**Abbildung 5-8**); dafür ist eine Verschiebung von den Sommer- zu den Wintermaxima festzustellen (**Abbildung 5-9**).

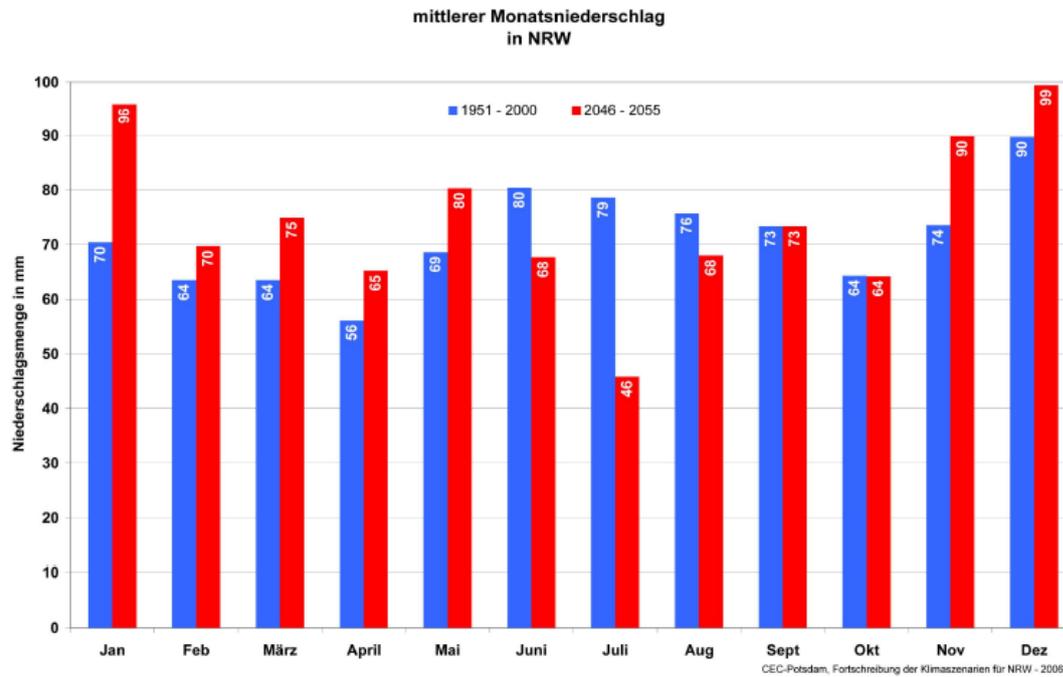


Abbildung 5-9: Veränderung des mittleren Monatsniederschlags in Nordrhein-Westfalen im Status quo (1951 – 2000) und Szenario 2055

Quelle: MUNLV 2009

Zusammenfassend sind für das zukünftige Klima in Nordrhein-Westfalen folgende Entwicklungen wahrscheinlich:

- Der Klimawandel wird sich innerhalb Nordrhein-Westfalens aufgrund der jeweiligen Reliefsituation unterschiedlich vollziehen. Die Änderungen sind zudem jahreszeitenabhängig und im Winter stärker als im Sommer ausgeprägt.
- Die Winterniederschläge nehmen in Abhängigkeit von der Lage innerhalb der jeweiligen Großlandschaft um bis zu 30 % zu, im Sommer dagegen um bis zu 30 % ab. Die jährlichen Gesamtniederschläge und insbesondere die Starkniederschlagsereignisse nehmen insgesamt zu.
- Die Jahresmitteltemperatur nimmt um ca. 2 - 4 Grad zu, wobei im Winter ein stärkerer Anstieg der Mitteltemperatur zu verzeichnen ist als im Sommer.

- Der Temperaturanstieg führt zu einer Abnahme des Schneefalls im Winter. Im Sommer wird durch eine Zunahme der Sommer- und Hitzetage die thermische Belastung vor allem im Ballungsraum Ruhrgebiet ansteigen [MUNLV 2009].

Entwicklung von Kenntagen in Essen bis 2050

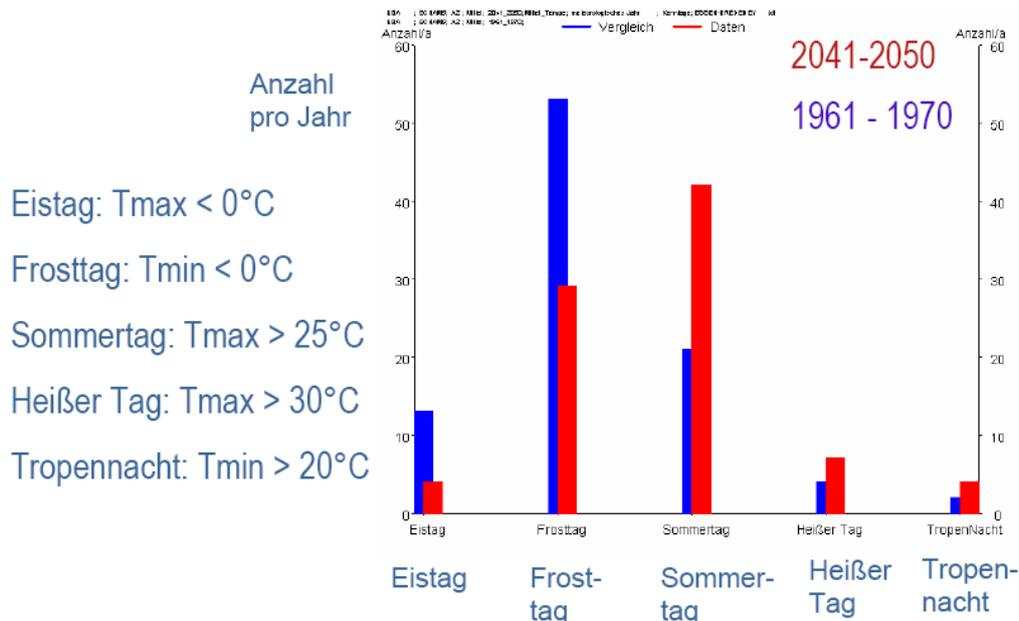


Abbildung 5-10: Entwicklung von Kenntagen in Essen bis zum Jahr 2050.

Quelle: WURZLER und HEBBINGHAUS, 2008

Die Entwicklung von Extremereignissen wie besonders kalten und besonders warmen Tagen bis zum Jahr 2050 verdeutlicht **Abbildung 5-10**. Als Referenzstation zur Darstellung der zukünftigen Häufigkeiten ausgewählter Kenntage wurde die DWD-Station Essen-Bredeneu gewählt. Die Station Essen-Bredeneu befindet sich im Essener Süden und liegt in Kuppenlage (150 m ü NN).

Die Abbildung verdeutlicht, dass durch den Temperaturanstieg in Zukunft die Zahl der Eis- und Frosttage deutlich zurückgehen wird, während die Zahl der Sommertage, der Heißen Tage und Tropennächte steigen wird. Damit wird auch eine Zunahme der bioklimatischen Belastungssituationen einhergehen, die insbesondere in den hoch versiegelten Stadtteilen negative Konsequenzen für die Lebensqualität mit sich bringen wird.

Aus diesen Gründen wird in Zukunft der Berücksichtigung der Auswirkungen durch den Klimawandel in der Stadtplanung ein höherer Stellenwert beizumessen sein. Auch Lösungsansätze zur Anpassung an den Klimawandel (z.B. Verminderung der Wärmebelastung) durch Planungsmaßnahmen werden stärker zu den Aufgaben der Stadtplanung zählen. Einen um-

fassenden Handlungskatalog bietet das vom RVR im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) erstellte „Handbuch Stadtklima“, das u.a. geeignete Anpassungslösungen bzw. Schadensminderungsmaßnahmen für stadtklimatische und siedlungswasserwirtschaftliche Aspekte aufzeigt.

Auf der Grundlage der o.g. Datenbasis der Essener Klimastation und unter Berücksichtigung der Klimaanalysekarte des Ruhrgebiets sowie der orographischen Verhältnisse wurde für die gesamte Fläche des Ruhrgebietes eine Darstellung der Entwicklung der Sommertage abgeleitet.

Für die Region ergibt sich nach dieser Auswertung folgendes Bild:

- 1961-1990: Anzahl der Sommertage zwischen 28 (Freilandklima) und 46-49 (Stadtklima)
- 2031-2060: Anzahl der Sommertage zwischen 46-49 (Freilandklima) und über 70 (Stadtklima)
- In den Innenstadtklimatopen geringere Anzahl an Sommertagen im Vergleich zum Stadtklima aufgrund der dichteren Bebauung und der damit zusammenhängenden stärkeren Beschattung am Tage

Diese Entwicklung verdeutlicht einerseits, dass die bioklimatische Belastungssituation in den bereits überwärmten Gebieten des Ruhrgebiets zunehmen wird und andererseits, dass auch in den aus heutiger Sicht als unbelastet eingestuften Bereichen in Zukunft ein erhöhtes Belastungspotential bestehen wird.

Fazit:

Die Metropole Ruhr ist durch die negativen Folgen des Klimawandels besonders betroffen. Einerseits zeichnet sich der Raum durch die Konzentration empfindlicher Personengruppen aus (hohe Anzahl älterer Bevölkerung), andererseits werden die meisten klimatischen Veränderungen durch die besonderen Charakteristiken des Siedlungsraums in ihrer Wirkung verstärkt. Auf vielen Flächen, die heute in ihrer klimaökologischen Bedeutung als mittel bis weniger relevant eingestuft werden, kann in Zukunft aufgrund der zunehmenden Überwärmung in weiten Bereichen der Metropole Ruhr eine stärkere Belastungssituation eintreten (s. hierzu „Problemgebiete“ in **Kapitel 10**).

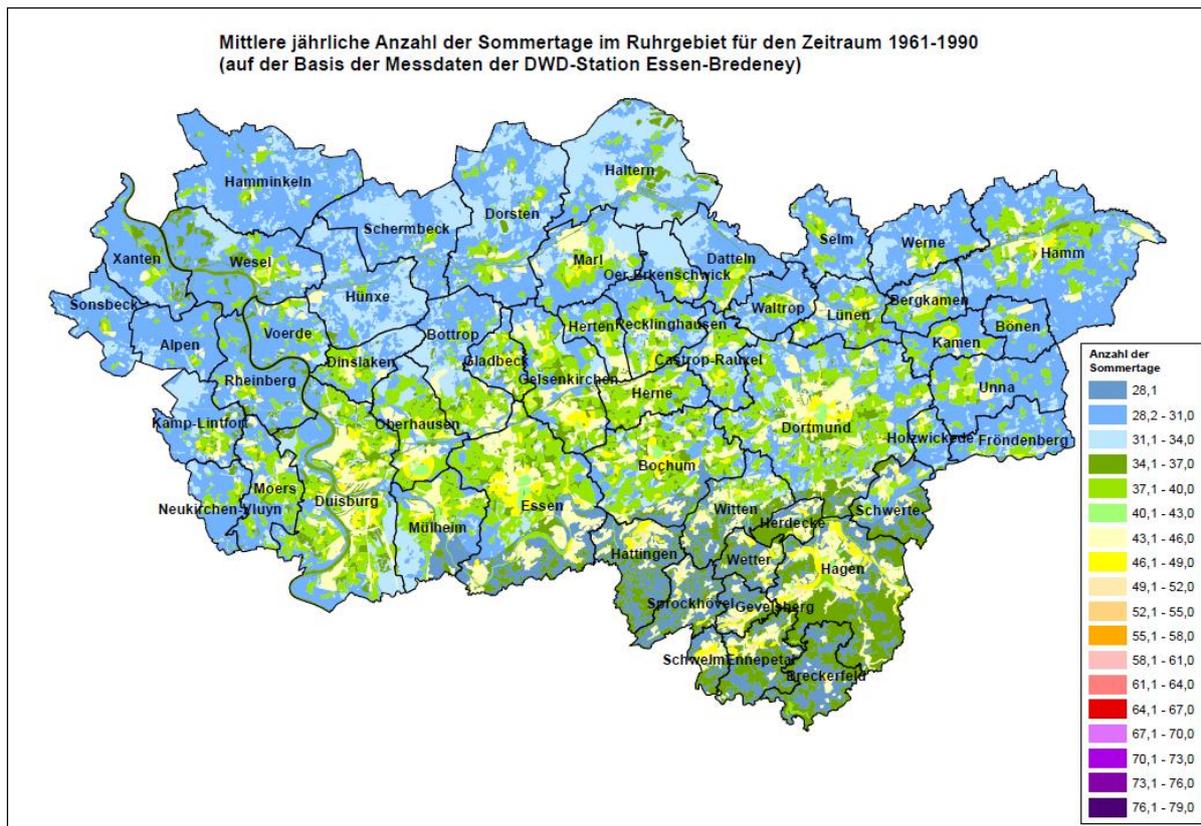


Abbildung 5-11: Mittlere jährliche Anzahl der Sommertage 1961-1990.

Datenquelle: Berechnung auf der Grundlage des Integrierte Diagnose- und Präsentationstool (IDP) des Beratungsunternehmens „Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH (kurz: CEC)“ und der Klimaanalysekarte des Ruhrgebietes sowie des Digitalen Geländemodells.

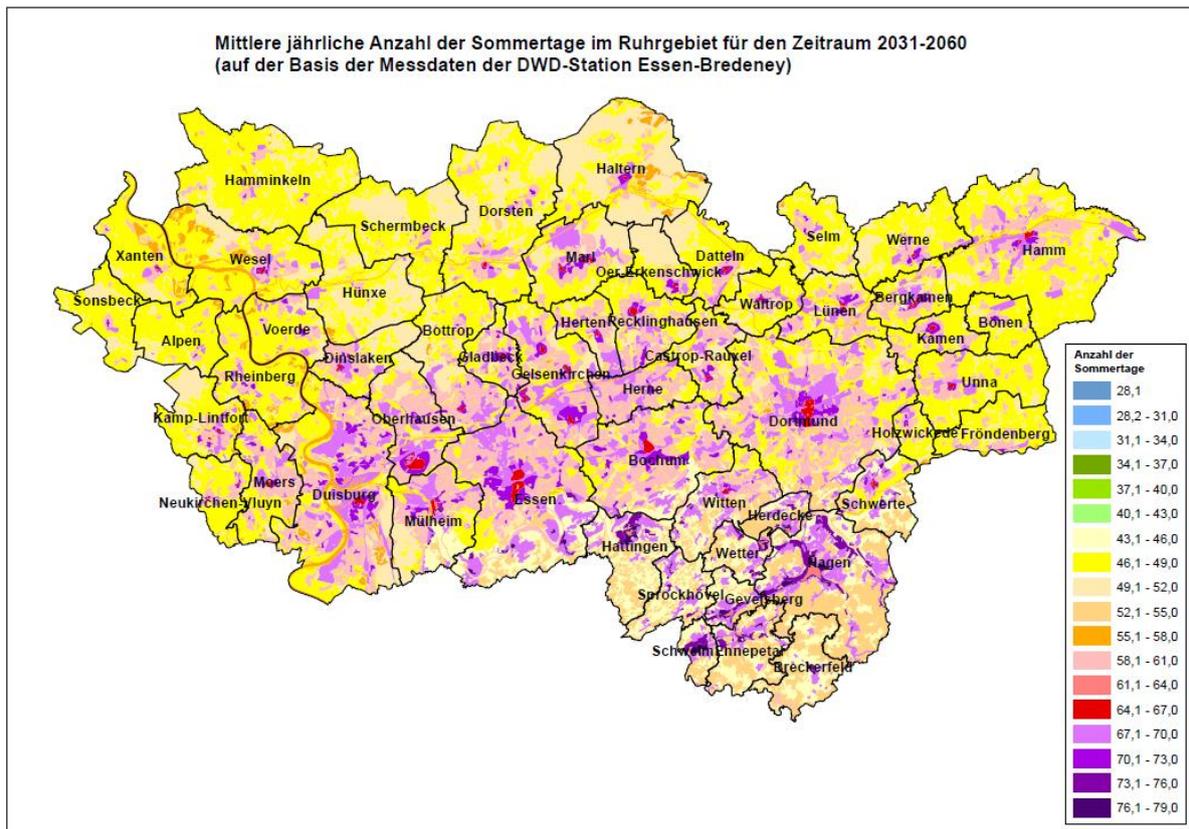


Abbildung 5-12: Mittlere jährliche Anzahl der Sommertage 2031-2060.

Datenquelle: Berechnung auf der Grundlage des Integrierte Diagnose- und Präsentationstool (IDP) des Beratungsunternehmens „Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH (kurz: CEC)“ und der Klimaanalysekarte des Ruhrgebietes sowie des Digitalen Geländemodells.

6 Analyse der Klimafaktoren

Zur groben Einordnung der räumlichen Strukturen im Ruhrgebiet und einer ersten Einschätzung der klimatischen Bedingungen werden anhand der für das Mikroklima relevanten Faktoren Relief und Bebauung Räume mit ähnlichen mikroklimatischen Ausprägungen (Klimatope) abgegrenzt. Resultat der Analyse ist eine qualitative, flächendeckende Darstellung der klimatischen Situation im Ruhrgebiet. Die Flächennutzungskartierung wird weiterhin unter Heranziehung von Luftbildern genutzt, um potentielle Kaltluftproduktionsflächen und belüftungsrelevante Gebiete zu identifizieren.

6.1 *Klimatope*

Als Grundlage für die Klimatopkarte dienen neben zahlreichen Stadtklimauntersuchungen die Flächennutzungskartierung (Stand 2009) für das Ruhrgebiet, deren Klassifizierung und Generalisierung einen Überblick über die Verteilung der Klimatope in den Stadtgebieten ermöglicht.

Die Klimatopkarte wird als eine von vielen Datengrundlagen herangezogen, um schließlich die Klimaanalysekarte abzuleiten. Sie ermöglicht einen ersten Eindruck über die Verteilung von klimatischen Last- und Ausgleichsräumen in der Metropole Ruhr.

Klimatope beschreiben Gebiete mit ähnlichen mikroklimatischen Ausprägungen, bestimmt durch die jeweilige Flächennutzung. Hauptsächlich ergeben sich Unterschiede in der Lufttemperatur, aber auch andere Klimaelemente werden entsprechend der Nutzung der jeweiligen Flächen modifiziert.

Der modellhafte Grundgedanke bezieht sich auf die Bedingungen, die sich bei austauscharmen Strahlungswetterlagen einstellen, da nur bei solchen Wetterlagen die kleinklimatische Ausprägung der klimaaktiven Oberflächen auf die bodennahe Luftschicht deutlich messbar wird.

Nachfolgend werden die Klimatope kurz beschrieben:

Freilandklima

Das Freilandklima entwickelt sich über den landwirtschaftlich genutzten Flächen mit der größten flächenhaften Ausdehnung außerhalb des Siedlungskerngebietes. Kleinere Flächen befinden sich zwischen den größeren Ruhrgebietskommunen und werden als Grünzüge wei-

terentwickelt. Die Flächen in den Randbereichen der Metropole Ruhr haben eine größere Ausdehnung als dargestellt, da sie sich über die Grenzen der Region hinweg erstrecken. Sie stellen Ausgleichsräume dar, die im Kontrast stehen zu den Stadtklimaten und die bei entsprechenden Wetterlagen entlastend wirken.

Waldklima

Das Waldklima ist durch eine Verlagerung der Strahlungsumsätze auf das Kronendachniveau der Bäume und einer daraus folgenden Dämpfung aller Klimaelemente im Stammraum gekennzeichnet. Aufgrund ihrer Filterfunktion stellen Wälder zudem bedeutende Frischluftgebiete dar.

Parkklima

Hier sind die innerstädtischen Frei- und Grünflächen (z.B. Friedhöfe, Parkanlagen) zu nennen, die ein zwischen Freiland und Waldklima einzuordnendes Kleinklima entwickeln. Infolge der meist geringen flächenhaften Ausdehnung ist die positive Wirkung auf die nähere Umgebung begrenzt.

Gewässerklima

Das Gewässerklima ist aufgrund der thermischen und hygri-schen Eigenschaften von Wasserkörpern durch einen gedämpften Tagesgang der Lufttemperatur über dem Wasser gekennzeichnet.

Klima der bebauten Flächen

Das Stadtklima wird mit zunehmender Bebauungsdichte und Versiegelung bei abnehmender Vegetationsdurchdringung in die Klimatope Stadtrand, Stadt und Innenstadt unterteilt. Vom Stadtrand in Richtung Innenstadt erfolgt eine Zunahme der Temperatur, eine Veränderung der relativen Feuchte und ein zunehmender Einfluss auf das Windfeld. Die positive Wirkung der Vegetation nimmt immer weiter ab.

Gewerbe- und Industrieklima

Gewerbe- und vor allem Industrieflächen sind aufgrund der Abwärmeproduktion, des meist hohen Versiegelungsgrades und der dichten Bebauung durch Überwärmung gekennzeichnet. Je nach Baukörper kann das Windfeld stark beeinflusst werden. Negative Auswirkungen auf das Umfeld ergeben sich ebenfalls durch Lärm- und Schadstoffemissionen.

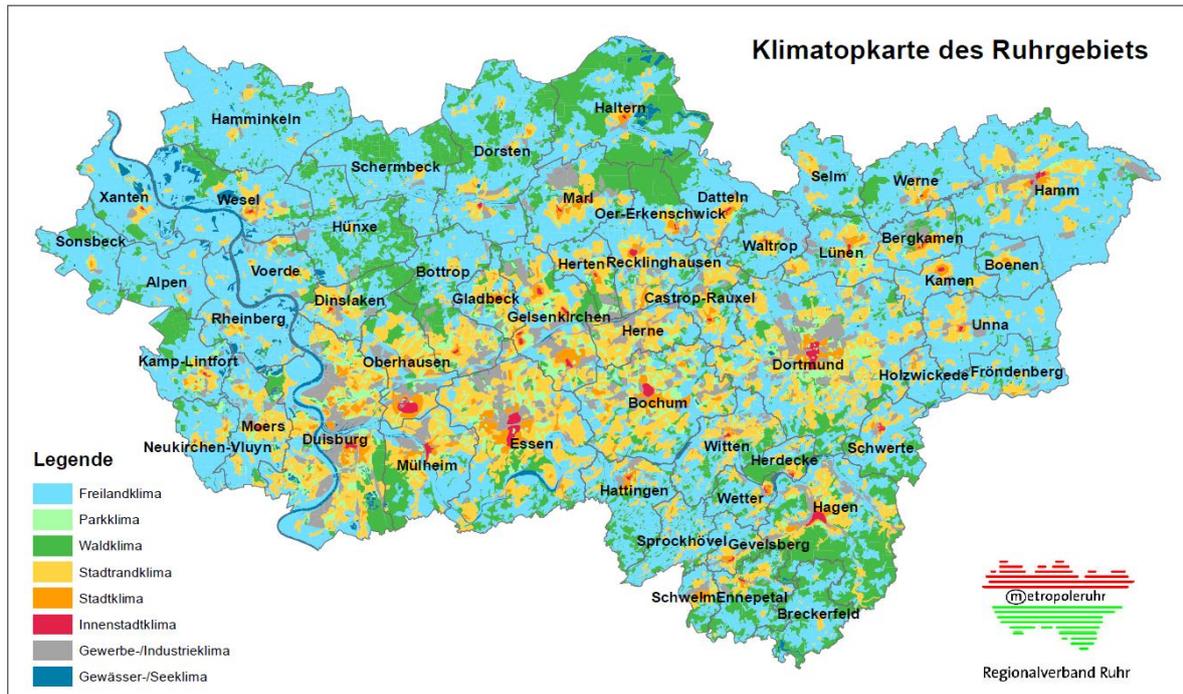


Abbildung 6-1: Klimatopkarte, abgeleitet aus der Flächennutzungskartierung des RVR sowie vorhandener Stadtklimaanalysen.

Quelle: RVR 2013

6.2 Relief

Eine ausgeprägte Reliefstruktur kann einen großen Einfluss auf die Belüftung einer Region haben, sei es in Form einer Tallage mit dadurch bedingter Ablenkung der Hauptwindrichtung oder in Form einer insgesamt schlechten Belüftungssituation im Falle einer Kessellage.

Daneben spielt das Relief für die Entstehung von Kaltluftabflüssen eine große Rolle. Kalte Luft fließt bei geeigneten Wetterlagen hangabwärts, dem stärksten Gefälle folgend, und sammelt sich in Senken und Tälern an. Dringt die kalte Luft infolge ausreichenden Gefälles bis in Siedlungsgebiete vor, kann sie dort zur Abkühlung überhitzter Bereiche beitragen.

Die stärksten Erhebungen liegen im Süden des Ruhrgebietes, führen dort zur Entstehung warmer Hang- und Kuppenzonen und begünstigen die Anreicherung von Kaltluft in den Senkenbereichen. Der Norden ist dagegen durch eine schwach ausgeprägte Orographie gekennzeichnet; größere Erhebungen befinden sich nur im Bereich künstlich aufgeschütteter Halden. Kleinere Senken und Talbereiche führen jedoch auch im Norden lokal zur Anreicherung kühlerer Luftmassen.

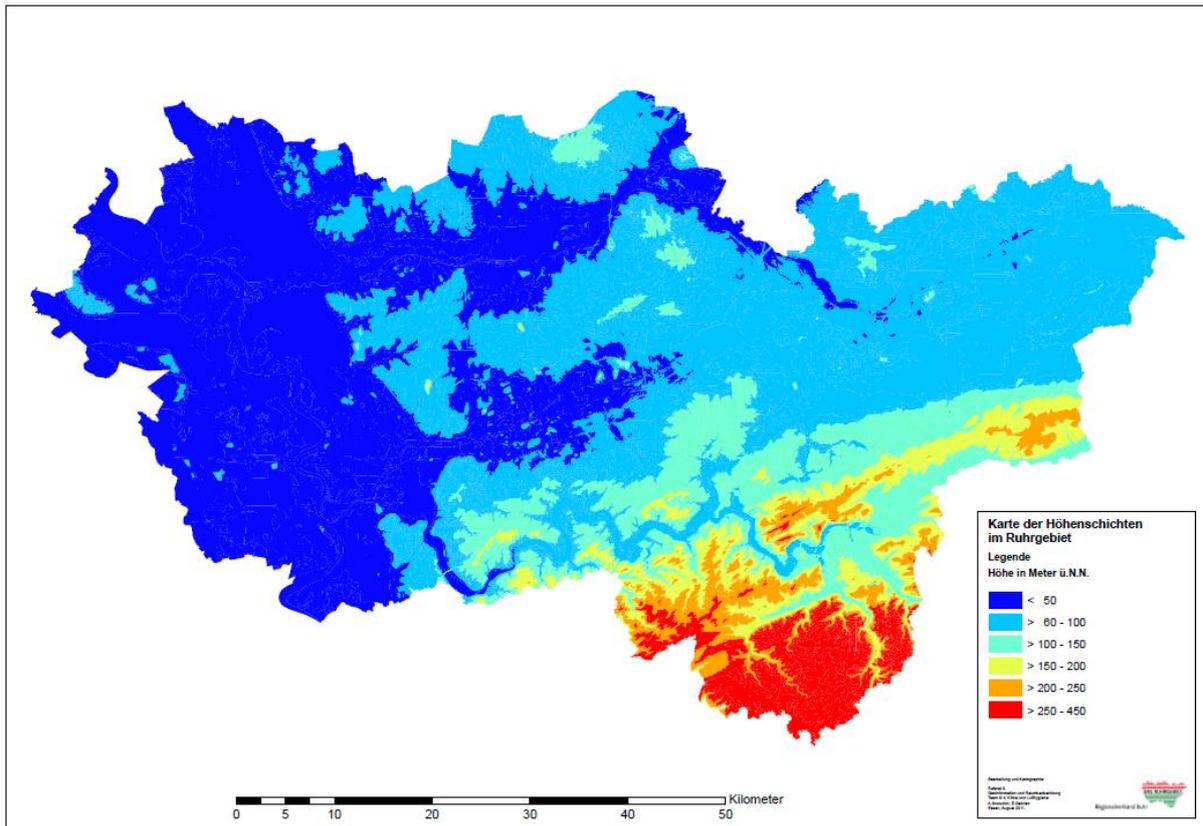


Abbildung 6-2: Relief des Ruhrgebietes.

Quelle: Digitales Geländemodell 2007.

6.3 Oberflächenrauigkeit

Die Oberflächenrauigkeit wird aus der Flächennutzung abgeleitet. Sie bildet eine wichtige Voraussetzung zur Beurteilung der Durchlüftung und stellt eine Grundlage für die Darstellung der mittleren Windgeschwindigkeit im Ruhrgebiet dar.

Die in **Abbildung 6-3** dargestellten Ergebnisse zeigen geringe Oberflächenrauigkeiten im Bereich der landwirtschaftlich genutzten Freiflächen.

Die Oberflächenrauigkeit fällt in den Stadtgebieten infolge der Bebauung deutlich höher aus. Die höchsten Rauigkeitswerte finden sich in den großen Stadtzentren des Kernbereichs

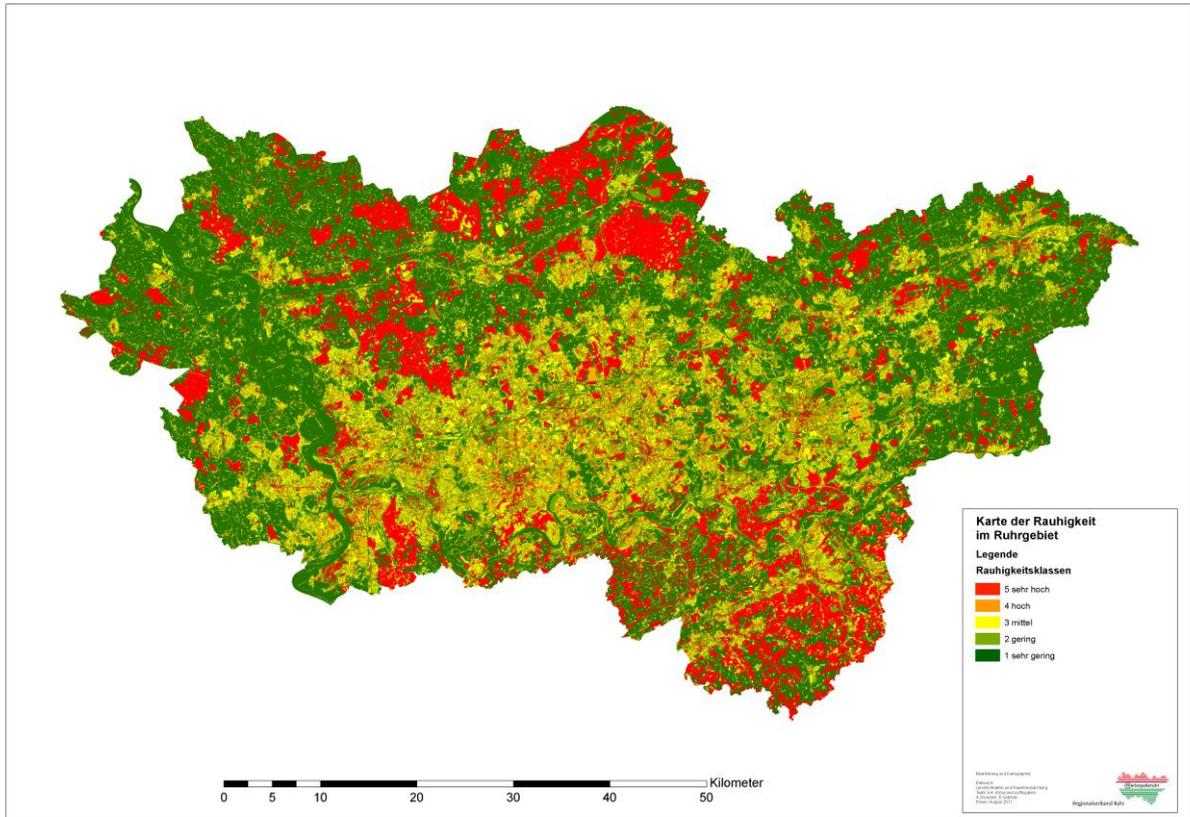


Abbildung 6-3: Darstellung der Oberflächenrauigkeit im Ruhrgebiet.
Quelle: Analyse der Flächennutzungskartierung, RVR (2007).

6.4 Windfeld

Die Ergebnisse zum Windfeld werden mit Hilfe eines multiplen Regressionsansatzes flächendeckend für das Ruhrgebiet berechnet und anschließend in einer Belüftungskarte zusammengefasst.

Die Abschätzung der mittleren Windgeschwindigkeit [m/s] während nächtlicher Strahlungswetterlagen erfolgte mit dem (bereits für Essen eingesetzten) Regressionsmodell:

$$V_n = H \cdot 0,009222 + R_{12} \cdot 0,3404 - 0,386645 \quad r^2 = 0,9321$$

- mit:
- v_n = Jahresmittel der Windgeschwindigkeit [m/s]
 - H = Geländehöhe über NN [m]
 - R_{12} = Prozentualer Anteil der Rauigkeitsklassen 1 und 2 bezogen auf einen Rasterquadrat 500 m x 500 m [%]

Beide Einflussgrößen liegen flächendeckend für das Ruhrgebiet vor, so dass mit Hilfe des oben genannten Regressionsmodells bezogen auf eine Rastergröße von 500 m eine flächendeckende Darstellung der Jahresmittelwerte der Windgeschwindigkeiten erstellt werden kann.

Da in weiten Teilen des Ruhrgebietes lediglich geringe Reliefunterschiede vorhanden sind, spiegelt die Karte der Windgeschwindigkeit dort in erster Linie die Ergebnisse der vorherrschenden Oberflächenrauigkeit wider. Dabei gilt: je geringer die Rauigkeit (und damit abbremsende Wirkung), umso höher die Windgeschwindigkeit und damit umso besser die Durchlüftung eines Gebietes (und umgekehrt). Außerhalb eines Rasterquadrats liegende Eigenschaften bleiben bei der Berechnung der Windgeschwindigkeiten unberücksichtigt.

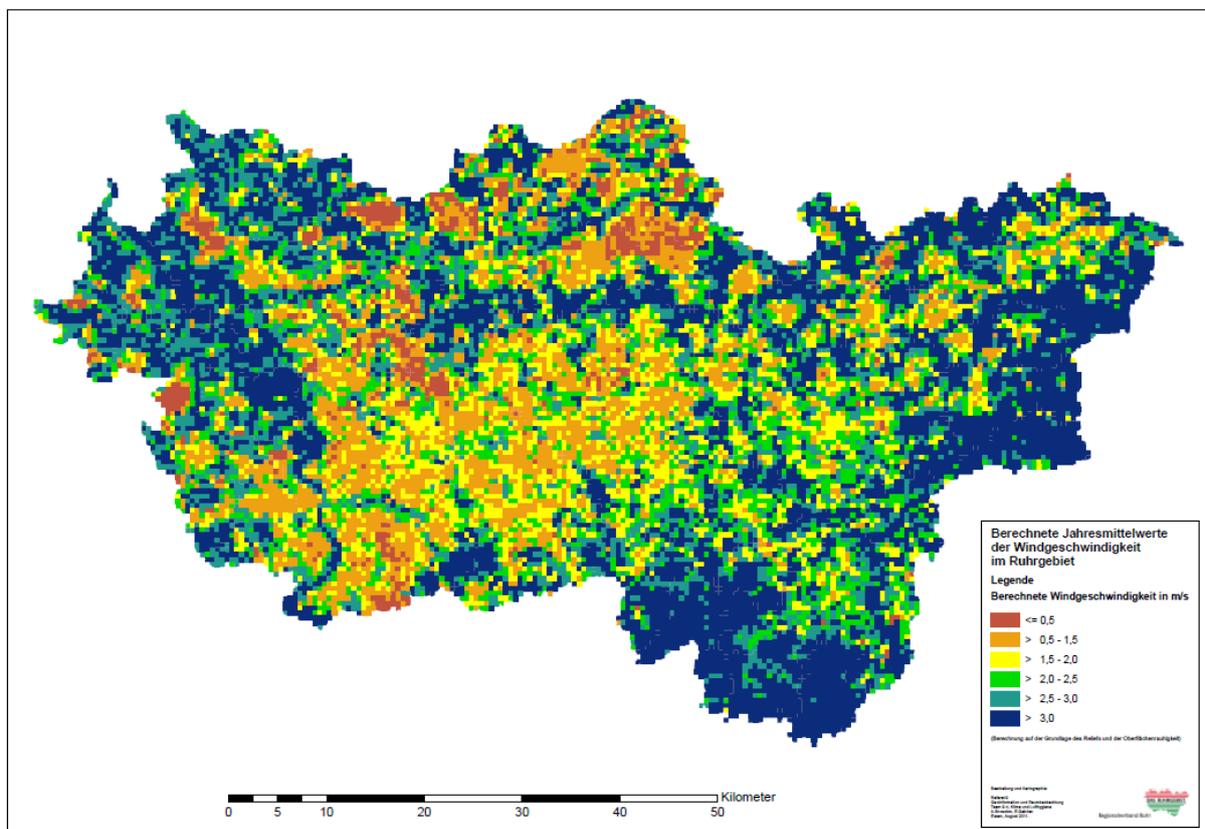


Abbildung 6-4: Jahresmittelwerte der Windgeschwindigkeit bezogen auf 500m²-Rasterflächen, ermittelt aus der Oberflächenrauigkeit und dem Relief.

Quelle: Berechnung aus der Flächennutzungskartierung des RVR und dem Digitalen Geländemodell.

Klimatische Belastungssituationen, die sich in einer Überwärmung und in einer Anreicherung von Luftschadstoffen äußern, können durch einen guten Luftaustausch abgemildert oder sogar abgebaut werden.

In der nachfolgenden **Abbildung 6-5** werden daher die Flächen in Abhängigkeit von ihrer Belüftungsfunktion in drei Kategorien eingeteilt (gut, mittel, schlecht belüftet). Schlecht belüftete Räume besitzen ein erhöhtes Immissionspotential, wobei insbesondere die bodennahen Emissionen eine Rolle spielen.

Die Einstufung in die Belüftungskategorien gibt Auskunft darüber, wie effektiv warme Luftmassen durch kühlere ersetzt werden bzw. inwieweit Luftschadstoffe verdünnt und abtransportiert werden können. Die Einteilung in diese Kategorien erfolgte anhand der Auswertung der Geländehöhe und der Oberflächenrauigkeit.

Zusammenfassend lassen sich bezüglich der Belüftungssituation im Ruhrgebiet folgende Aussagen treffen:

- In den Waldgebieten sowie den dicht bebauten Bereichen herrscht eine schlechte Belüftungssituation im bodennahen Bereich vor
- Günstige Belüftungsverhältnisse lassen sich in den durch landwirtschaftliche Nutzung geprägten Freiraum außerhalb des eigentlichen Ballungsraums Ruhrgebiet feststellen

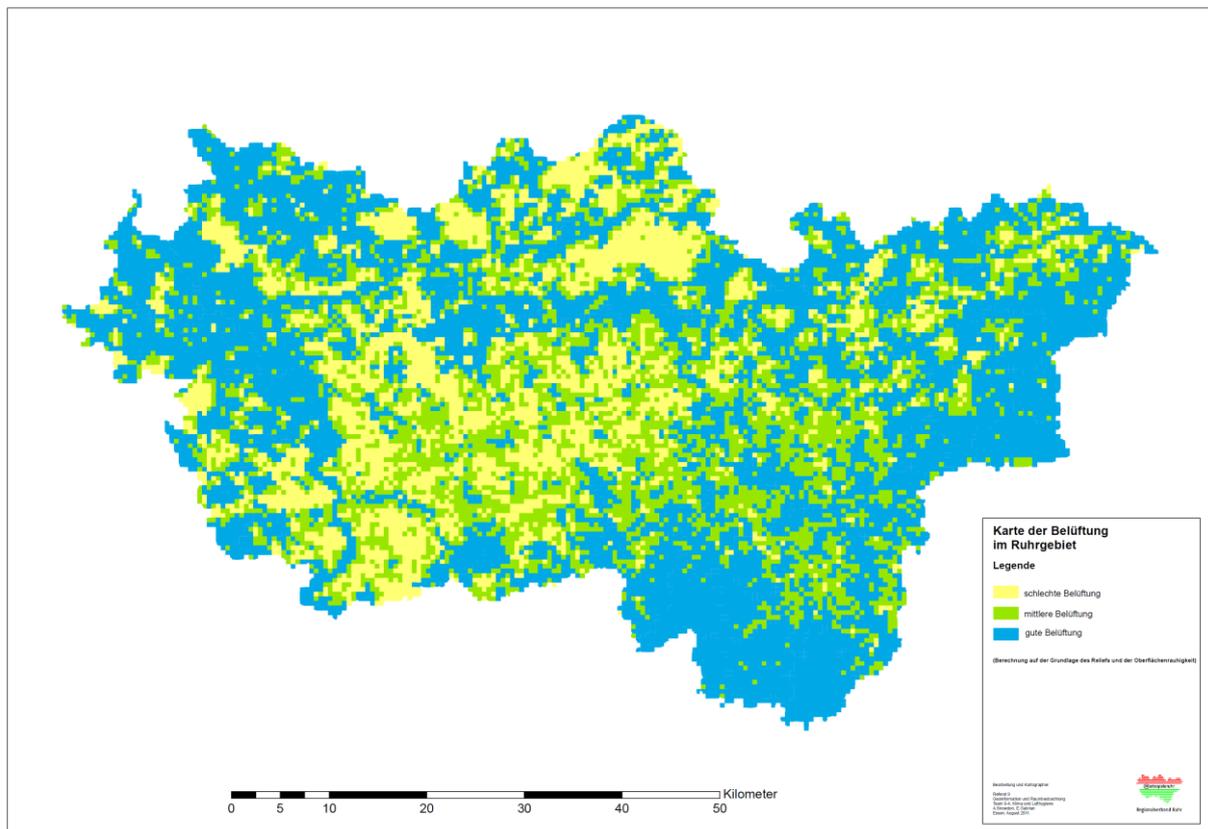


Abbildung 6-5: Übersicht über die Belüftungssituation in der Metropole Ruhr. Quelle: Zusammenfassung der Ergebnisse aus Karte 3-4 unter Heranziehung von Luftbildern und Flächennutzungskartierungen.

6.5 Kaltluft produzierende Flächen

Als lokal gebildete Kaltluft bezeichnet man Luft, die auf Grund des Energieumsatzes an der Erdoberfläche im Entstehungsgebiet eine niedrigere Temperatur aufweist als an der Obergrenze der entsprechenden Bodeninversion. Dabei handelt es sich um eine relative und nicht um eine absolute Angabe. Kaltluft entsteht bei negativer Strahlungsbilanz der Oberfläche. [VDI 2003]. Sie bildet sich bei windschwachen Strahlungswetterlagen infolge nächtlicher Ausstrahlung und Abkühlung der bodennahen Luftschicht.

Zum Kaltluftabfluss kommt es je nach Flächennutzung und damit Rauigkeit bereits bei Hangneigungen von 1° [VDI 2003], so dass die erwärmte Luft aus nahe gelegenen Siedlungsgebieten mit kühler Luft vermischt werden kann. Je nach Lage und Größe können Kaltluft produzierende Flächen dadurch einen wichtigen Beitrag zur Abschwächung der städtischen Wärmeinsel und der daraus resultierenden Wärmebelastung der Einwohner liefern.

Eine Verdrängung belasteter durch frische Luft erfolgt nicht, wenn die kalte Luft belastete Gebiete durchströmt und mit Schadstoffen angereichert wird. Des Weiteren besteht bei stagnierenden bodennahen Kaltluftströmen die Gefahr eines eingeschränkten vertikalen und horizontalen Luftaustausches und damit der Schadstoffakkumulation.

In **Abbildung 6-6** sind die potentiellen Kaltluftproduktionsflächen (unbebaute Flächen) über 50 ha dargestellt, gegliedert in die drei Flächentypen Park, Wald und Freiland.

Große kaltluftproduzierende Freilandflächen befinden sich außerhalb des eigentlichen Siedlungsschwerpunktes des Ruhrgebiets und haben eine weitaus größere Ausdehnung als dargestellt, da sie sich über die Grenzen des Ruhrgebietes hinweg erstrecken. Dies führt zu einer verstärkten Wirkung.

Die Zufuhr der gebildeten Kaltluft in Richtung der Lasträume ist von der Windrichtung abhängig bzw. kann sich während windschwacher Strahlungswetterlagen nachts in Form von Kaltluftabflüssen positiv auf das Stadtklima auswirken.

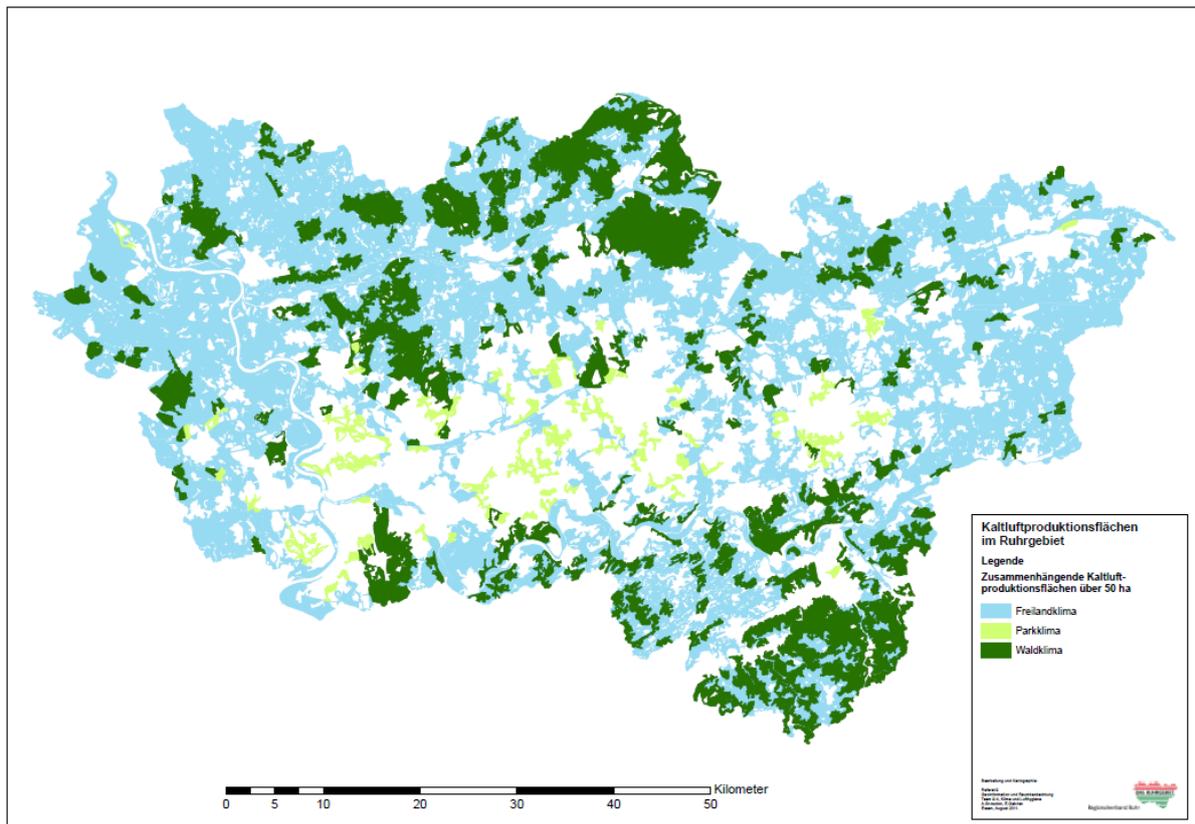


Abbildung 6-6: Kaltluftproduzierende Flächen im Ruhrgebiet mit einer Mindestgröße von 50 ha.

Quelle: Analyse der Flächennutzungskartierung, RVR (2007).

7 Die regionale Klimaanalysekarte der Metropole Ruhr

7.1 Methodik der Kartenerstellung

Ziel der regionalen Klimaanalysekarte ist es, gelände- und stadtklimatische Erkenntnisse so aufzubereiten, dass regional bedeutsame Last- und Ausgleichsräume identifiziert werden können und ihre Funktionalität im Bezug auf den Klimawandel erkennbar wird. Im Gegensatz zu den lufthygienischen Komponenten existieren für klimatische Belange keine rechtsverbindlichen Grenz- oder Richtwerte. Daher müssen die Zielvorgaben für eine regional-klimatologische Bewertung folgendermaßen formuliert werden:

- Belastungspotentiale müssen auf der Ebene der Klimatope identifiziert werden, um einen Handlungs- und Planungsbedarf ableiten zu können
- Entlastungspotentiale müssen zur Erhaltung und Förderung günstiger klimatischer Verhältnisse lokalisiert werden
- Last- und Ausgleichsräume müssen bezüglich ihrer klimaökologischen Bedeutsamkeit vor dem Hintergrund des Klimawandels erkennbar sein

Um diese Zielvorgaben umsetzen zu können, wurde zunächst unter Heranziehung aller zur Verfügung stehenden Klimaanalysen im Ruhrgebiet sowie unter Berücksichtigung umfangreicher Karten- und Bildmaterialien (Luftbilder, topographische Karten, Flächennutzungskartierungen, Ergebnisse der FITNAH-Modellierung) eine **regionale Klimaanalysekarte** für das Ruhrgebiet erstellt.

Im Vergleich zu der räumlichen Darstellung einzelner Klimaelemente in herkömmlichen Klimakarten werden in der Klimaanalysekarte komplexe Struktur-, Beziehungs- und Funktionsgeflechte zusammengefasst und kartographisch dargestellt [VDI 1997].

Die Gliederung der Region erfolgt nach klimatischen Gesichtspunkten unter Einbeziehung stadtklimatologischer Untersuchungen und unter Berücksichtigung der morphologischen Verhältnisse sowie der realen Flächennutzung.

Die auf diese Weise entstandene regionale Klimaanalysekarte teilt das Gebiet in **Klimatope** ein. Hierunter sind Flächen mit vergleichbaren mikroklimatischen Verhältnissen zu verstehen.

Neben dem Relief sind die Flächennutzungsstrukturen wichtige Klimaelemente, die für die Zuordnung eines Gebietes zu einem Klimatop entscheidend sind. So ist in der Regel von vergleichbaren mikroklimatischen Bedingungen auszugehen, wenn ähnliche oder gleiche Flächennutzungsstrukturen bei gleichen oder ähnlichen Reliefeigenschaften vorliegen.

Hinsichtlich der Abgrenzung der Klimatope ist anzumerken, dass sich klimatische Prozesse nicht linienscharf an Bebauungs- und Nutzungsgrenzen anpassen, sondern fließende Übergänge zu benachbarten Flächen aufweisen. Daher dürfen die Abgrenzungen der Klimatope innerhalb der Regionalen Klimaanalysekarte nicht als flächenscharfe Grenzziehungen aufgefasst werden.

In der Klimaanalysekarte sind neben den Klimatopen spezifische Klimaeigenschaften dargestellt. Hierunter sind zusätzliche Modifikationen der Klimatopeigenschaften einzelner Flächen durch natürliche und anthropogene Klimafaktoren zu verstehen. In einer dritten Informationsebene werden spezielle Klimafunktionen innerhalb der Klimatope gekennzeichnet sowie die für die Belüftung bedeutsamen Bereiche anhand von Pfeilsignaturen hervorgehoben.

Die Klimaanalysekarte für das gesamte Ruhrgebiet basiert auf einer Vielzahl an Klimauntersuchungen, die in den vergangenen Jahren im Ruhrgebiet durchgeführt wurden (s. **Abbildung 7-1**).

Da die Ausarbeitungen der einzelnen Klimagutachten stark variieren, war eine z.T. starke Generalisierung hinsichtlich der Detailschärfe erforderlich, zumal die Klimaanalysekarte – anders als die einzelnen Stadtklimaanalysen – einen größeren Überblick über die klimatischen Verhältnisse der Region bieten sollte. Die Generalisierung erfolgte hierbei auf den Maßstab 1.50.000. Kleinräumige Hangabwinde sowie nutzungsbedingte Strömungen während windschwacher Wetterlagen wurden aus der FITNAH-Modellrechnung ermittelt und in die Klimaanalysekarte übertragen. Luftleitbahnen wurden insbesondere dann dargestellt, wenn ein positiver Einfluss auf die Belüftungssituation des Lastraums der städtischen Wärmeinsel vermutet beziehungsweise anhand von Modellrechnungen nachgewiesen werden konnte.

Innerstädtische Grün- und Parkanlagen, die einen positiven Einfluss auf die klimatischen Verhältnisse des bebauten Umfeldes ausüben, wurden ab einer Flächengröße von ca. 10 ha gesondert hervorgehoben.

Da nicht die gesamte Region stadtklimatisch untersucht wurde, musste insbesondere die klimatische Situation der ländlich geprägten Gebiete auf der Grundlage von Flächennut-

zungskartierungen, Luftbildern und dem digitalen Geländemodell eingeschätzt werden. Zusätzlich wurden die FITNAH-Modellergebnisse zum Bioklima und zum Temperaturfeld während einer sommerlichen windschwachen Strahlungswetterlage (Bezugszeitraum 04.00 Uhr) herangezogen, um die innerstädtischen Wärmeinselnbereiche zu überprüfen und im Einzelfall neu abzugrenzen.



Abbildung 7-1: Übersicht der beim RVR angefertigten Klimaanalysen.

Quelle: RVR 2013

7.1.1 Die Klimatope

Gewässer-/Seeklima

Gewässer- bzw. Seeklimate zeichnen sich tagsüber durch deutlich reduzierte Erwärmungsraten aus, so dass bei gleichzeitig hoher Verdunstung der fühlbare Wärmestrom herabgesetzt wird.

Wasserflächen sind am Tage relativ kühl und nachts relativ warm. Dieses Phänomen ist auf die hohe Wärmekapazität des Wassers zurückzuführen, durch die nur schwache tagesperiodische Temperaturunterschiede an der Gewässeroberfläche ermöglicht werden. Ein zusätzlich positiver Effekt für die klimatische Situation wird durch die geringe Rauigkeit von Gewässerflächen bewirkt, wodurch Austausch- und Ventilationsverhältnisse begünstigt werden.

Gewässerlima	
klimate Günstfaktoren	klimate Ungünstfaktoren
☺ Die geringe Oberflächenrauigkeit begünstigt die Belüftungsfunktion	☹ Kaltluft erwärmt sich beim Überströmen von Wasserflächen
☺ Reduzierte Erwärmung am Tage mit gleichzeitig hoher Verdunstung	☹ Die bioklimatisch günstige Situation ist auf den Ufersaum beschränkt
☺ Geringe thermische und bioklimatische Belastung tagsüber im Uferbereich	☹ Aufgrund der hohen Wärmekapazität der Wasserkörper kühlen sich diese nachts nur gering ab

Die Metropole Ruhr wird durch die Flüsse Ruhr, Emscher und Lippe gegliedert. Die drei von Osten nach Westen fließenden Rhein Nebenflüsse sind für die Wasserversorgung und Entwässerung der Region von großer Bedeutung. Die im Süden fließende Ruhr wird mehrfach gestaut und bildet insgesamt fünf künstliche Seen, die zur Versorgung mit Trinkwasser, zur Stromerzeugung und Naherholung genutzt werden. Dazu zählen von Ost nach West der Hengstey-, der Hartkortsee, der Kemnader Stausee, der Baldeneysee und der Kettwiger Stausee. Neben der klimatisch ausgleichenden Wirkung auf das Umfeld sind der Rhein sowie seine Nebenflüsse als Belüftungsbahnen von zentraler Bedeutung für die Ruhrgebietskommunen des Ballungsraums.

Freilandklima

Dieser Klimatotyp gibt die Verhältnisse des Freilandes wieder. Freilandklimate stellen sich über den überwiegend landwirtschaftlich genutzten Außenbereichen ein und zeichnen sich durch ungestörte Tagesgänge von Temperatur und Feuchte sowie nahezu unveränderte Windströmungsbedingungen aus. Da zudem in diesen Bereichen meist keine Emittenten angesiedelt sind, handelt es sich um bedeutsame Frischluftgebiete mit einer hohen Ausgleichswirkung für die in bioklimatischer und immissionsklimatischer Hinsicht belasteten Gebiete mit Wohnbebauung. Bei geeigneten Wetterlagen tragen landwirtschaftlich genutzte Flächen darüber hinaus zur Kaltluftbildung bei.

Freilandklima	
klimate Günstfaktoren	klimate Ungünstfaktoren
<ul style="list-style-type: none"> ☺ Geringe Schwüle- und Wärmebelastung und hoher bioklimatischer Stellenwert als Erholungsraum ☺ Geringe Veränderungen des Windfeldes ☺ Wertvolle Frischluft Räume ☺ Keine Emissionen ☺ Landwirtschaftlich genutzte Flächen mit hoher Kaltluftproduktion (starke Abkühlung in den Nachtstunden) ☺ Klimaökologische Ausgleichsräume für angrenzende Bebauungsstrukturen 	<ul style="list-style-type: none"> ☹ Bedingt durch die geringe Rauigkeit Winddiskomfort möglich ☹ Bodeninversionen während autochthoner Strahlungsnächte fördern das Immissionspotential ☹ Erhöhter Heizenergiebedarf im Vergleich zu den städtischen Bereichen

Über 40% der Ruhrgebietsfläche sind landwirtschaftliche Nutzflächen. Ein Großteil dieser Flächen liegt außerhalb des eigentlichen Ballungsraums, jedoch werden auch innerhalb der kreisfreien Städte fast 30% der Flächen als Äcker und Wiesen genutzt. Aus klimatischer Sicht ist diesen Flächen ein hoher Stellenwert als Kaltluftproduktionsgebiete, die die höher belasteten Areale mit Frisch- und Kaltluft versorgen, zuzuschreiben. Hierbei gilt: je größer die Flächen sind, umso effektiver können sie Kaltluft produzieren. Da die Freilandflächen darüber hinaus eine rauigkeitsarme Struktur aufweisen, können die kühleren Luftmassen bei geeigneten Windrichtungen ungehindert in die klimatisch stärker belasteten Gebiete transportiert werden. Dabei ist das Vorhandensein von Frischluftschneisen, Luftleitbahnen bzw. die Möglichkeit des Kaltluftabflusses für die Kühlung der belasteten Innenstädte eine wichtige Voraussetzung.

Waldklima

Typische Ausprägungen des Waldklimas sind stark gedämpfte Temperatur- und Feuchteamplituden, die eine Folge des Energieumsatzes im Stammraum (verminderte Ein- und Ausstrahlung) sind. Waldflächen erweisen sich daher aufgrund sehr geringer thermischer und bioklimatischer Belastungen als wertvolle Regenerations- und Erholungsräume. Bei geringen oder fehlenden Emissionen sind Waldflächen darüber hinaus Frischluft- und Reinluftgebiete, können jedoch aufgrund der hohen Rauigkeit im Gegensatz zu den unbewaldeten Freiflächen keine Luftleitfunktion übernehmen. Daher zeichnen sie sich auch durch niedrige Windgeschwindigkeiten im Stammraum aus. Oberhalb des Kronenraumes, der auch als Hauptumsatzfläche für energetische Prozesse betrachtet werden kann, kann auch bei Waldbeständen Kaltluft gebildet werden.

Hervorzuheben ist weiterhin die Filterkapazität der Waldflächen gegenüber Luftschadstoffen. Durch Ad- und Absorption vermögen Waldflächen gas- und partikelförmige Luftschadstoffe auszufiltern.

Waldklima	
klimate Günstfaktoren	klimate Ungünstfaktoren
<ul style="list-style-type: none">☺ Mildes ausgeglichenes Stammraumklima aufgrund des gedämpften Tagesgangs der Lufttemperaturen bei allgemein tiefen Temperaturen☺ Sehr geringe thermische und bioklimatische Belastung☺ Luftruhe im Stammraum wirkt Kälte- und Winddiskomfort entgegen☺ Keine Emissionen☺ Frischluft- und Reinluftgebiete☺ Filter für gas- und staubförmige Luftschadstoffe☺ Wertvolle Regenerations- und Erholungsräume	<ul style="list-style-type: none">☹ Aufgrund der hohen Oberflächenrauigkeit keine Luftleitfunktion

Der Waldanteil im Ruhrgebiet liegt bei über 17%. Insbesondere größere Wälder (wie z.B. die Haard, die Üfter Mark, die Kirchheller Heide sowie die im Norden und Süden der Metropole Ruhr gelegenen Waldflächen) sind in der Lage, Luftschadstoffe zu filtern.

Bei windschwachen Strahlungswetterlagen bilden sich zudem über dem Bestandsniveau Kaltluftmassen, die in den Stammraum abfließen und durch wärmere Luftmassen ersetzt werden. Die kühleren Luftmassen im Bestand können bei ausreichender Hangneigung (mindestens 5 °) abfließen. Diese Voraussetzungen liegen in erster Linie bei den Waldflächen des Ennepe-Ruhr-Kreises vor.

Parkklima

Parkklimata sind gekennzeichnet durch aufgelockerte Vegetationsstrukturen mit Rasenflächen und reich strukturierten lockeren Baumbeständen. Sowohl tagsüber als auch in der Nacht treten Park- und Grünanlagen als Kälteinseln hervor (Oaseneffekte).

Die klimatischen Verhältnisse von Park- und Grünanlagen sind zwischen Freiland- und Waldklima einzustufen. In Abhängigkeit von der Größe der Parkanlagen, deren Ausstattung sowie von der Anbindung an die Bebauung variiert die klimatische Reichweite von Parkflächen. Die Auswirkungen in die Randbereiche der Umgebung sind meist gering.

Parkklima	
klimate Günstfaktoren	klimate Ungünstfaktoren
<ul style="list-style-type: none"> ☺ Gedämpfter Tagesgang der Lufttemperaturen und der Windgeschwindigkeiten ☺ Lokale Abkühlungseffekte durch Schattenzonen und erhöhte Verdunstungsraten (Oaseneffekt) ☺ Geringe thermische und bioklimatische Belastungen am Tage ☺ Größere parkartige Grünflächen erweisen sich als innerstädtische Kaltluftproduzenten ☺ Vielfältig variierende Ein- und Ausstrahlungsbedingungen ☺ In der Regel keine Emissionen ☺ Filter für gas- und staubförmige Luftschadstoffe ☺ Wertvolle Regenerations- und Erholungsräume 	<ul style="list-style-type: none"> ☹ Das günstige Bioklima begrenzt sich in der Regel auf die Fläche selbst (bei kleinen Flächen, „Oaseneffekt“) ☹ Filterwirkung mit lokaler Wirkung, keine Fernwirkung ☹ geringe Fernwirkung (≤ 200 m) ☹ je nach Vegetation, Emissionen flüchtiger Kohlenwasserstoffe möglich

Die Ruhrgebietskommunen weisen zahlreiche Park- und parkähnliche Strukturen auf. Durch die Fähigkeit der Flächen, Frischluft und Kaltluft zu produzieren, wird der Entstehung großflächiger Wärmeinselbereiche entgegengewirkt. Kleinere, isoliert liegende Grünflächen entfalten dagegen keine Fernwirkung. Die positiven Klimaeigenschaften beschränken sich in der Regel auf die Fläche selbst („Oaseneffekt“).

Parkanlagen und parkähnliche Strukturen mit einer Mindestgröße von 10 ha entfalten in der Regel ein Klima, das über die eigentliche Fläche hinausreichen kann, sofern weitere klimatisch relevante Faktoren (Relief, Umgebungsbebauung etc.) optimal ausgebildet sind [BONGARDT 2005]. Flächen mit einer Mindestgröße von 10 ha, die eine Fernwirkung in das Umfeld entfalten, werden daher besonders hervorgehoben [BONGARDT 2005].

Stadtrandklima

Beim Stadtrandklima handelt es sich um Bereiche mit einer lockeren Bebauung und einer relativ guten Durchgrünung. Hieraus resultiert eine nur schwache Ausprägung von Wärmeinseln und ein ausreichender Luftaustausch sowie in der Regel gute bioklimatische Bedingungen.

Charakteristisch für die dem Stadtrandklima zuzuordnenden Wohngebiete ist, dass die stadtklimatischen Effekte nur einen geringen und selten belastenden Ausprägungsgrad er-

reichen. Dies ist nicht zuletzt auch eine Folge von Überlagerungseffekten durch geländeklimatische Faktoren wie Kaltluftströme oder Bodeninversionen.

Nachts zeichnen sich die Gebiete durch eine relativ starke Abkühlung aus, tagsüber kommt es nur zu geringen bis leichten Erwärmungsraten. Das Windfeld weist meist geringe Strömungsveränderungen auf. Durch die relative Nähe zu regionalen und lokalen Ausgleichsräumen ist eine Frischluft- und Kaltluftzufuhr auch während gradientschwacher Wetterlagen gewährleistet.

Stadtrandklima	
klimatische Gunstfaktoren	klimatische Ungunstfaktoren
☺ Die zum Teil ausgeprägte Winddämpfung wirkt sich wohnklimatisch günstig aus und führt zu einer Einsparung an Heizenergie	☹ Natürliche Ungunstlagen wie Mulden und Senken können lokal zur Erhöhung des bioklimatischen Belastungspotentials beitragen
☺ Durch die Nähe zu regionalen und lokalen Ausgleichsräumen wird die Frischluft- und Kaltluftzufuhr während windschwacher Wetterlagen begünstigt	☹ Wärmebelastungen am Tage können durch fehlende Abschattungsstrukturen (hoher Rasenanteil im Wohnumfeld, geringer Baumbestand) erhöht sein
☺ Optimales Wohn- und Schlafklima durch eine starke nächtliche Abkühlung im Sommer	☹ Eingeschränkte vertikale Austauschverhältnisse während windschwacher Strahlungswetterlagen können bedingt durch lokale bodennahe Emittenten das Immissionsrisiko erhöhen
☺ Lokale und regionale Grünzonen sind häufig fußläufig zu erreichen	☹ Im Einflussbereich bodennaher Kaltluftströme und windexponierter Kuppenlagen erhöhter Heizenergiebedarf
☺ Hohe Variabilität der Mikrokimate durch das Nebeneinander unterschiedlich stark verdichteter Wohngebiete (Einfamilienhäuser, lockere Reihenhausbebauung, offene Bebauungsstrukturen) und Park- und Grünflächen	

Weite Bereiche der besiedelten Flächen sind dem Stadtrandklima zuzuordnen.

Die klimatischen Verhältnisse in weiten Teilen der Ruhrgebietskommunen sind somit als noch relativ günstig einzustufen. Durch die Verzahnung mit größeren Frei-, Wald- und Grünflächen wird die Entstehung großflächiger Wärmeinseln weitgehend unterbunden. Eine höhere Belastungssituation in diesen Bereichen ist jedoch durch die Folgen des Klimawandels und die damit einhergehende Erwärmung in Zukunft zu erwarten, so dass auch in diesen Bereichen frühzeitig Anpassungsstrategien entwickelt werden sollten.

Stadtklima

Kennzeichnend für das Stadtklima ist eine überwiegend dichte, geschlossene Zeilen- und Blockbebauung mit meist hohen Baukörpern und engen Straßen.

Während austauscharmer Strahlungsnächte kommt es bedingt durch den hohen Versiegelungsgrad, die hohen Oberflächenrauigkeiten und geringen Grünflächenanteile zu einer Zunahme der Überwärmungstendenz.

Die dichte städtische Bebauung verursacht ausgeprägte Wärmeinseln mit eingeschränkten Austauschbedingungen, die z.T. mit ungünstigen bioklimatischen Verhältnissen und hoher Luftbelastung verbunden sind. Durch die Ausbildung von Wärmeinseln in den Nachtstunden wird ein konvektiver Durchmischungsraum aufrechterhalten, so dass seltener Bodeninversionen auftreten als in den Freilandbereichen und den lockerer bebauten Siedlungsflächen.

Stadtklima	
klimate Günstfaktoren	klimate Ungünstfaktoren
☺ Durch die Rauigkeit bedingte Windgeschwindigkeitsreduktionen sind unter der Voraussetzung geringer bodennaher Schadstoffemissionen wohnklimatisch und heizklimatisch günstig einzustufen	☹ Innerhalb enger Straßenzüge eingeschränkte Austauschverhältnisse sowie Wärmestau durch direkte Sonneneinstrahlung
☺ Kältestress und Winddiskomfort werden durch die Bauungsstrukturen reduziert	☹ erhöhtes Schwülepotehtial in engen austauscharmen Straßenschluchten
☺ Während Inversionswetterlagen trägt der Wärmeinseleffekt zu einer Aufrechterhaltung eines bodennahen Durchmischungsraumes bei; bodennahe Luftschadstoffe werden verdünnt	☹ fehlende Abschattungsstrukturen durch verdunstungsaktive Baumkronen fördern die Hitze- und Wärmebelastung
☺ Großkronige Bäume senken die Wärmebelastung innerhalb der Wohngebiete	☹ Im Einflussbereich bodennaher Schadstoffemittenten (v.a. Kfz-Verkehr) erhöhtes Immissionspotential durch eingeschränkte horizontale Austauschverhältnisse
	☹ Lang anhaltende nächtliche Überwärmungsphasen können sich im Sommer negativ auf das Innenraumklima auswirken

Zahlreiche Wohngebiete im Bereich der Innenstädte sowie deren Umfeld sind aufgrund ihrer dichten Bebauung und ihres hohen Versiegelungsgrades dem Stadtklima zuzuordnen. Dadurch entsteht in einigen Städten im Kernbereich großflächige Wärmeinsel, die sich über die gesamten Innenstädte und weit darüber hinaus erstrecken. Einige Ruhrgebietskommunen (z.B. Duisburg) weisen mehrere Wärmeinselbereiche über die Innenstadt verteilt auf.

Innenstadtklima

Charakteristische Flächennutzungen in Innenstadtklimatopen sind Verwaltungs-, Geschäfts- und Wohngebäude mit mehrgeschossigen Baublöcken. Kennzeichnend sind weiterhin ein sehr hoher Versiegelungsgrad sowie ein geringer Grünflächenanteil, der lediglich durch Einzelbäume im Straßenraum sowie kleine Rasenflächen, z.T. mit Strauchvegetation als Straßenbegleitgrün, charakterisiert ist.

Aufgrund dieser Eigenschaften weist das Innenstadtklima die stärksten mikroklimatischen Veränderungen im Stadtgebiet auf. Hierzu zählen vor allem der starke Wärmeinseleffekt,

bedingt durch die Wärmespeicherfähigkeit der städtischen Oberflächen und die starken Windfeldveränderungen, die sich in der straßenparallelen Be- und Entlüftungssituationen widerspiegeln.

Am Tag kann in den Bereichen mit Innenstadtklima ein erhöhtes Belastungspotential durch Hitzestress und Schwüle entstehen, das durch eingeschränkte Austauschverhältnisse und geringe Verdunstungskühlung aufgrund fehlender Vegetation hervorgerufen wird. Hitze und Schwülebelastungen im Sommer und erhöhte Luftschadstoffbelastungen während austauscharmer Wetterlagen führen in Innenstadtklimatopen zu einer hohen bioklimatischen Belastung. Zusätzlich macht sich Winddiskomfort durch Böigkeit und Windturbulenzen im Bereich von Straßenschluchten und offenen Plätzen bemerkbar.

Dem gegenüber stehen ein erhöhter Freizeitwert, der sich in der höheren Anzahl an sog. „Grillpartytagen“, d.h. Tagen mit Temperaturen über 20°C um 21 Uhr, ausdrückt, sowie ein geringerer Heizenergieverbrauch in den Wintermonaten. Aufgrund weitgehend fehlender Verdunstungsflächen ist die relative Feuchte stark reduziert. Staub- und Lärmbelastungen vor allem durch den Kfz-Verkehr führen zu einer erheblichen Einschränkung der Lebensqualität in diesen Gebieten.

Innenstadtklima	
klimatische Gunstfaktoren	klimatische Ungunstfaktoren
☺ Durch die geringe Abkühlung in den Abendstunden wird die Aufenthaltsdauer im Stadtzentrum verlängert, wodurch die Attraktivität der Innenstadt als kulturelles Zentrum erhöht wird.	☹ Tagsüber erhöhtes Belastungspotential durch Hitzestress und Schwüle möglich
☺ Die in den Nachtstunden anhaltende thermische Turbulenz vergrößert den bodennahen Durchmischungsraum (Schadstoffverdünnung)	☹ Winddiskomfort im Bereich von Straßenschluchten und offenen Plätzen. Erhöhte Böigkeit, Windturbulenzen und Zugigkeit
☺ Geringer Anteil stagnierender Luftaustauschsituationen	☹ Ein- und Ausfallstraßen erweisen sich als belastete Luftleitbahnen; hohe Luft- und Lärmbelastung im Straßenraum
☺ Starke Senkung des Heizenergieverbrauchs	

Der Klimatop „Innenstadt“ ist in fast allen Ruhrgebietskommunen nachzuweisen, wobei sich eine Abhängigkeit von der Siedlungsgröße feststellen lässt. So sind in kleinen Kommunen in der Regel auch nur kleinere Flächen dem Lastraumtyp „Innenstadt“ zuzuordnen, wohingegen die größeren Kommunen (meist handelt es sich um die kreisfreien Städte) großflächige Wärmeinseln aufweisen. Im Zusammenhang mit den umliegenden Stadtklimatop-

Flächen ergeben sich oftmals große übererwärmte Siedlungsräume, die z.T. in ebenfalls überwärmte Gewerbe- und Industriegebiete übergehen. Die Größe der Wärmeinseln ergibt sich jedoch nicht nur durch die Stadtgröße und die Einwohnerzahl, sondern ist ebenso von der jeweiligen Stadtstruktur (Auflockerung durch Grünflächen, Vorhandensein von Frischluftzufuhrbereichen) abhängig.

Die Innenstadtbereiche sind bedingt durch Hitze- und Schwülebelastungen im Sommer sowie durch erhöhte Luftschadstoffbelastungen während austauscharmer Wetterlagen als bioklimatische Belastungsräume einzustufen. Dabei ist die Ausprägung der Wärmeinselintensität (UHII = Urban Heat Island Intensity) überwiegend abhängig von der jeweiligen Stadtgröße. In den größeren Städten des Ballungsraumes wie Essen, Bochum und Dortmund ist in der Regel eine höhere Temperaturdifferenz zwischen Innenstadt und Umland festzustellen als in den ländlich gelegenen Kommunen wie z.B. Wesel oder Ennepetal. Diese Ergebnisse werden durch Temperaturmessungen in den unterschiedlichen Städten der Metropole Ruhr überwiegend belegt. So konnten in den meisten größeren Städten im Zeitraum vom 02.08.2012 – 17.09.2012 knapp 60% mehr Grillpartytage (=Tage mit Temperaturen $\geq 20^{\circ}\text{C}$ um 21:00 Uhr) nachgewiesen werden als in den kleineren Kommunen des Ruhrgebiets.

Auch bezüglich der Anzahl heißer Nächte (Tage, an denen die Lufttemperatur um 24:00 Uhr $\geq 20^{\circ}\text{C}$ beträgt) treten meist Unterschiede zwischen den großen und kleinen Kommunen der Metropole Ruhr auf. So können in der Regel mehr Nächte mit einer starken Hitzebelastung in den großen Städten (> 100.000 Einwohner) festgestellt werden.

Neben der Stadtgröße sind jedoch auch die jeweiligen Strukturen einer Stadt für die Ausprägung der Belastungssituation maßgeblich, so dass nicht grundsätzlich von einer günstigeren Situation in den kleinen Kommunen ausgegangen werden kann. Andererseits kann beispielsweise eine günstige Belüftungssituation oder eine gute Durchgrünung in größeren Städten zu einem Abbau der Erwärmungserscheinungen beitragen (s. hierzu **Tabelle 7-1**).

Stadt	Heiße Nächte
Ennepetal	6
Hagen	14
Werne-Marktplatz	16
Hamm	17
Dorsten	18
Hattingen	18
Wesel	19
Kamp-Lintfort	20
Dortmund	23
Moers	24
Gelsenkirchen	26
Duisburg	27
Essen	31
Oberhausen	34

Tabelle 7-1: Anzahl der heißen Nächte (Tage, an denen die Lufttemperatur um 24:00 Uhr $\geq 20^{\circ}\text{C}$ beträgt) im Zeitraum vom 01.09.2012 bis 31.08.2013 (grün: Mittelstädte < 100.000 Einwohner; rot: Großstädte > 100.000 Einwohner).

Gewerbe- und Industrieklima

In diesem Klimatyp prägen Gewerbe- und Industriegebiete mit den dazugehörigen Produktions-, Lager- und Umschlagstätten das Mikroklima. Bedingt durch den hohen Versiegelungsgrad in Kombination mit erhöhten Emissionen kommt es verstärkt zu immissionsklimatischen und bioklimatischen Belastungssituationen.

Gewerbe- und Industrieklima	
klimatische Gunstfaktoren	klimatische Ungunstfaktoren
<ul style="list-style-type: none"> ☺ Die in den Nachtstunden anhaltende thermische Turbulenz vergrößert den bodennahen Durchmischungsraum (Schadstoffverdünnung) ☺ Relativ günstige bodennahe Austauschverhältnisse 	<ul style="list-style-type: none"> ☹ Lufthygienischer Lastrraum, lokale Schadstoffemissionen ☹ lang anhaltende nächtliche Wärmebelastungen

Zahlreiche größere Gewerbe- und Industrieflächen befinden sich im direkten Zusammenhang zu den hochversiegelten Innenstadt- und Stadtklimatopen, so dass eine erhebliche Erweiterung des Wärmeinselbereichs resultiert (v.a. in Dortmund, Essen, Oberhausen, Duisburg, Unna).

Bedingt durch die enge Verzahnung mit der angrenzenden Wohnbebauung trägt der hohe Versiegelungsgrad in Verbindung mit hohen Schadstoffbelastungen der Industrie- und Gewerbegebiete neben den verstärkten bioklimatischen Belastungssituationen auch zu einer Erhöhung der Immissionsbelastung bei.

Durch den Strukturwandel ergeben sich Möglichkeiten, großflächige Areale in klimatische Gunsträume umzuwandeln und Belastungssituationen abzubauen, die sich auch auf die Wohnbebauung des Umfeldes günstig auswirken. Positive Beispiele hierfür sind u.a. die Umgestaltung des Krupp-Gürtels in Essen und der Phoenix-See in Dortmund.

Der Anteil an gewerblichen und industriellen Brachflächen liegt in der Metropole Ruhr bei knapp 1 % der Gesamtfläche. Dabei handelt es sich oft um großflächige Areale, die zwischen Umland und innerstädtischen Siedlungsräumen liegen und somit potentiell wichtige Ausgleichsräume darstellen.

Für alle außerhalb der Bebauung liegenden Gewerbe- und Industriebrachen ab einer Flächengröße von ca. 8 ha ermöglichen die im Anhang aufgeführten Steckbriefe einen Überblick über die klimatischen Verhältnisse auf den Flächen. Zusätzlich wird stichwortartig eine erste Einschätzung hinsichtlich einer zukünftig sinnvollen Gestaltung und Nutzung der Flächen gegeben.

7.1.2 Zusammenfassung der Klimatope

Die Metropole Ruhr ist eine polyzentrische Region, die sich durch ein dichtes Nebeneinander zahlreicher hochverdichteter Siedlungsräume (Innenstadt- und Stadtklimatope) und klimatisch ausgleichend wirkenden Grün- und Freiflächen auszeichnet. Im Vergleich zu anderen Metropolregionen (z.B. München und Berlin) existiert eine Vielzahl an Wärmeinseln (Wärmeinselarchipele), die jedoch kleinere Fläche einnehmen und immer wieder durch Grünanlagen und regionale Grünzüge unterbrochen werden. Dies führt insgesamt zu einer Abmilderung der Belastungssituation. So bestehen über 60 % der Fläche der Metropole Ruhr aus Grün-, Frei- und Wasserflächen (Berlin: 40%). Pro Kopf ergibt dies eine Fläche von über 500 m² in der Metropole Ruhr (München: ca. 33 m²/Einwohner). Die zahlreichen grünen Areale führen insgesamt zu einer geringeren Gesamtbelastung der Bewohner der Metropole Ruhr. Der hohe Grünflächenanteil mit den sieben regionalen Grünzügen stellt insgesamt eine günstige Ausgangslage für die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen dar.

Die meisten Ruhrgebietskommunen zeichnen sich durch eine typische Abfolge von Klimatopen aus: vom Zentrum mit der meist höchsten bioklimatischen Belastungssituation bei einem insgesamt hohen Versiegelungsgrad und einem geringen Grünanteil erfolgt eine nach außen gerichtete, immer lockerer werdende Siedlungsstruktur, die von kleineren und größeren

Grün- und Freiflächen durchzogen wird. In einigen Ruhrgebietskommunen existieren mehrere Wärmeinselnbereiche, wie z.B. in Duisburg und Recklinghausen.

Sowohl der Süden als auch der Norden der Metropole Ruhr sind ländlich geprägt mit einer hohen klimatischen Ausgleichsfunktion für die belasteten Siedlungen des Kerngebietes.

Der Klimatotyp Stadtrandklima nimmt ca. 18% der Fläche der Metropole Ruhr ein. In diesen Gebieten ist mit noch verhältnismäßig günstigen bio- und immissionsklimatischen Bedingungen zu rechnen. Mit ca. 10% sind die stärker klimatisch belasteten Räume, zu denen die Gewerbe-/Industriegebiete sowie die Stadt- und Innenstadtklimatope gerechnet werden, verhältnismäßig selten, nehmen jedoch stellenweise größere Areale der einzelnen Stadtgebiete in Anspruch (z.B. in Essen, Dortmund, Oberhausen und Gelsenkirchen).

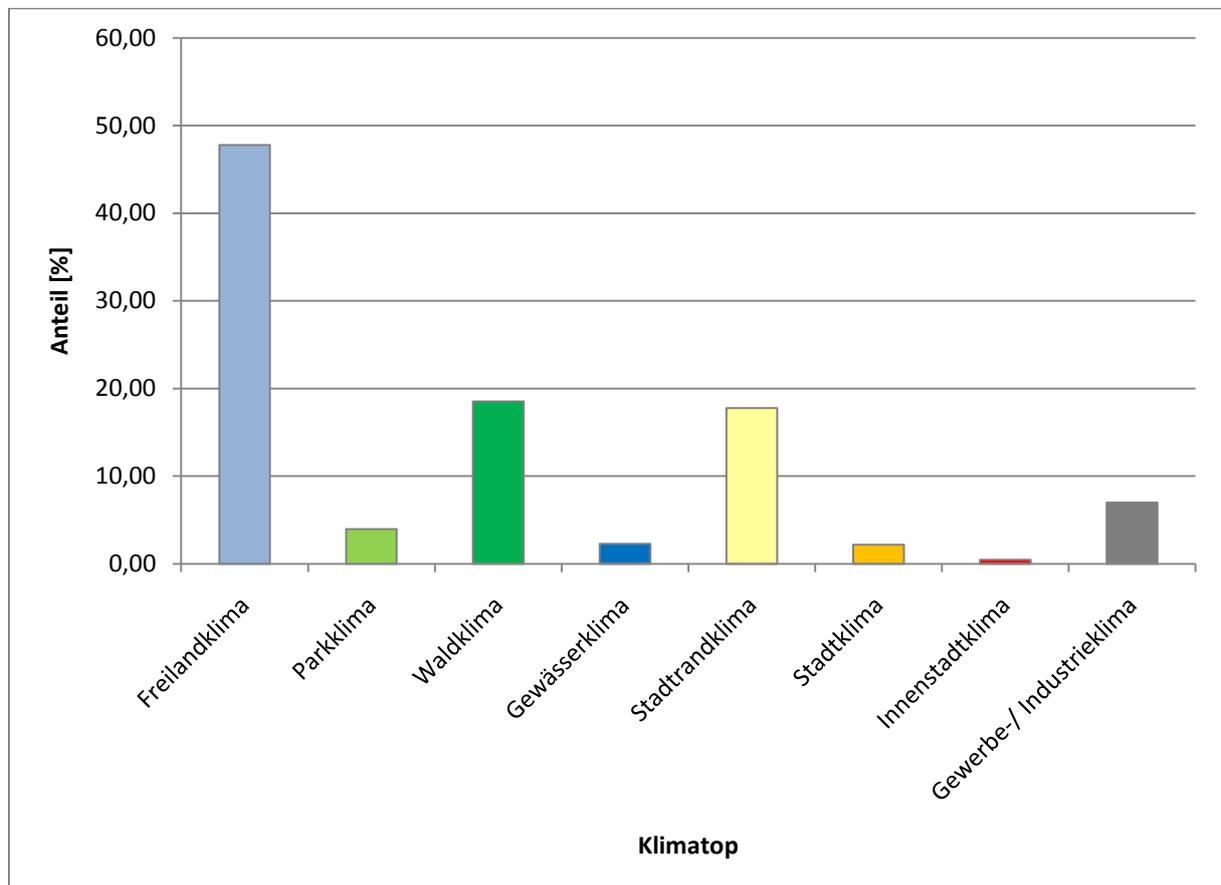


Abbildung 7-2: Flächenanteile der Klimatope im Stadtgebiet in der Metropole Ruhr.

7.1.3 Spezifische Klimaeigenschaften

Die Eigenschaften der Klimatope werden durch natürliche und anthropogene Klimafaktoren modifiziert. Daraus ergibt sich die Ebene der spezifischen Klimaeigenschaften. Hierunter

sind lokale Eigenschaften zu verstehen, die innerhalb eines Klimatops kleinräumig zu Klima-
veränderungen führen können.

In diesem Zusammenhang ist zu berücksichtigen, dass die Ausprägung der spezifischen
Klimaeigenschaften eng an bestimmte Wetterlagen gekoppelt ist, wobei die windschwachen
Strahlungswetterlagen im Vordergrund stehen.

Kaltluftsammlgebiet und Niederungsbereich

In der Klimaanalysekarte sind die Niederungsbereiche des Rheins und seiner Nebenflüsse
Ruhr, Emscher und Lippe als Kaltluftsammlgebiete hervorgehoben.

Diese Gebiete weisen während der Nacht eine erhöhte Inversionshäufigkeit und verstärkte
Nebelbildung auf. Aus diesem Grund sollte in den Niederungsbereichen auf eine Ansiedlung
bodennaher Emittenten verzichtet werden.

Warme Kuppenzonen

Die „warmen Kuppenzonen“ zeichnen sich dadurch aus, dass sie lange Zeit aus den nächtli-
chen Bodeninversionen herausragen, kalte Luft abfließen kann und somit die Kuppenzonen
relativ warm bleiben.

So erreichen sie eine den dichten Bebauungsstrukturen analoge Überwärmung durch eine
natürliche Temperaturzunahme mit der Höhe während nächtlicher Inversionswetterlagen.
Darüber hinaus ist den Kuppenzonen ein hoher Durchlüftungsgrad zuzusprechen.

Überwärmte Kuppenzone befinden sich v.a. im Süden des Ruhrgebiets. Darüber hinaus
zeichnen sich ebenfalls die zahlreich im Ruhrgebiet vorkommenden Halden durch über-
wärmte Kuppenlagen aus.

Bodennebel

Aufgrund des hohen Wasserangebotes und bedingt durch die topographische Lage besteht
eine erhöhte Nebelhäufigkeit.

7.1.4 Spezielle Klimafunktionen

Unter diesem Stichwort werden Funktionen hervorgehoben, die in einigen Klimatopen be-
sonders hervortreten und Eigenschaften haben, die zwar schon im Zusammenhang mit der
Klimatopbeschreibung erwähnt wurden, hier jedoch stärker ausgeprägt sind.

Bioklimatische Entlastung durch Park- und Grünflächen

Die als Parkklimatope bezeichneten Flächen haben aufgrund ihrer besonderen bioklimatischen Funktion einen hohen Stellenwert als wohnumfeldnahe Klimaoasen.

Größere Parkflächen mit vielfältigen Vegetationsstrukturen weisen sowohl ähnliche bioklimatische Gunstbedingungen wie der Wald als auch Freilandeigenschaften auf. Damit können diese Flächen als sehr wertvolle Regenerationsräume für die Bevölkerung und die Tier- und Pflanzenwelt angesehen werden.

Aufgrund ihrer Struktur und Lage im Stadtgebiet sind es in erster Linie die größeren Parks, die zu einer Verbesserung der bioklimatischen Situation beitragen. Aus diesem Grund werden innerstädtische Parkanlagen und Grünflächen mit einer Mindestgröße von 10 ha und einer klimatischen Wirksamkeit in die umliegenden Wohnsiedlungen hinein mit dem Symbol „Bioklimatische Entlastung“ gekennzeichnet. Kleinere Grünflächen mit lokaler Wirkung werden nicht gesondert hervorgehoben.

Durch das Vorhandensein großkroniger Bäume als natürliche Schattenspender werden Belastungen durch Hitzestress und Schwüle abgemildert. Auch die nächtliche Kaltluftbildungsrate der Grünflächen wirkt sich in thermischer Hinsicht positiv aus, hiervon profitieren insbesondere die durch erhöhte thermische Belastungen charakterisierten umliegenden Bauungsstrukturen im Nahbereich (< 200 m). Die Reichweite der Kaltluftströmungen ist im Allgemeinen abhängig vom Mikrorelief und der Randbebauung bzw. Randbepflanzung.

Filterfunktion des Waldes

Größere Waldflächen haben die Eigenschaft, einerseits durch trockene Deposition im Stammraum und am Blatt- und Nadelwerk, andererseits durch nasse Deposition im Erdreich und Wurzelraum des Waldes eine Filterfunktion auf Luftschadstoffe auszuüben. Erhöht wird die Filterleistung noch während nächtlicher Strahlungswetterlagen, wenn die Luftmassen am Blattwerk abkühlen, in den Stammraum absinken und durch wärmere Luft aus größerer Höhe ersetzt werden. Dadurch ist ein kontinuierlicher Luftdurchsatz gewährleistet.

Als lufthygienisch und bioklimatisch besonders bedeutungsvolle Ausgleichsräume erweisen sich die großen Waldgebiete in der Metropole Ruhr.

Bioklimatischer Belastungsraum

Bioklimatische Belastungsräume weisen bedingt durch die hohe Versiegelung eine starke Erwärmung am Tag und eine ausgeprägte nächtliche Wärmeinsel auf. Dies kann in den Sommermonaten Hitze- und Schwülebelastungen hervorrufen, wodurch eine starke bioklima-

tische Belastung für den Menschen entsteht. Zusätzlich wird bei windschwachen Wetterlagen eine Situationsverschlechterung durch lokal emittierte Schadstoffe hervorgerufen.

Als bioklimatische Belastungsräume in der Metropole Ruhr treten überwiegend die Innenstadtbereiche hervor. In einigen Städten, z.B. Duisburg, existieren mehrere Wärmeinseln, sog. „Wärmearchipele“.

Windfeldveränderungen

Das Windfeld in der Stadt wird durch Kanalisierung im Straßenraum oder durch Düsen- und Kanteneffekte stark modifiziert. Beim Vorkommen unterschiedlicher Bauformen sowie stark unterschiedlicher Höhen der Gebäude in Verbindung mit einem Nebeneinander von bebauten und unbebauten Flächen tritt eine starke Turbulenz des Windfeldes auf. Dadurch erhöht sich die Zugigkeit und Böigkeit im Straßenraum, dies hat eine stark reduzierte Aufenthaltsqualität im Freien zur Folge.

Starke Windfeldveränderungen sind im Klimatotyp „Innenstadt“ und „Gewerbe- /Industrie“ zu erwarten, treten aber auch im Bereich größerer Haldenkörper auf.

7.1.5 Luftaustausch

Einen hohen Stellenwert in der Stadtklimatologie besitzt der Luftaustausch zwischen den Entlastungsräumen und den Lasträumen einer Stadt.

Der kleinräumige Luftaustausch wird in der Klimaanalysekarte durch unterschiedliche Pfeilsignaturen dargestellt.

Luftleitbahnen

Luftleitbahnen sind dort wirksam, wo bei entsprechenden Wetterlagen durch geringe Reibungshindernisse ein Transport von Luftmassen aus dem Umland in die Stadt oder in angrenzende Stadtstrukturen stattfindet.

Insbesondere bei austauscharmen Wetterlagen sind Luftleitbahnen klimarelevant, da sie in der Lage sind, weniger belastete Luftmassen in die Lasträume der Stadt zu transportieren. Luftleitbahnen sind selten breiter als 200 m und ihre Begrenzung wird durch Bebauungsänderungen oder das Relief vorgegeben. Im Ruhrgebiet existieren Luftleitbahnen unterschiedlicher Qualität. Zum einen handelt es sich um Leitbahnen mit nur gering belasteten Luftmassen, zum anderen um Leitbahnen, die im Einflussbereich von Emittenten stehen und mit Schadstoffen angereicherte Luft transportieren.

Auf regionaler Ebene werden Luftleitbahnen betrachtet, die eine Mindestbreite von 50 m aufweisen, auf einer Strecke von mindestens 200 m geradlinig verlaufen und eine Verbin-

dung zwischen Lastraum und Ausgleichsraum darstellen. Die Luftleitbahnen wurden anhand dieser Kriterien manuell identifiziert.

Frischluftzufuhr

Bei entsprechenden Windrichtungen können frische Luftmassen aus den Freilandarealen in die Lasträume transportiert werden und dort durch die Vermischung mit belasteten Luftmassen bzw. einen Luftmassenaustausch zu einer Verbesserung der Luftqualität beitragen. Im Vordergrund stehen dabei die Hauptwindrichtungen Südwest und Nordost. Die Belüftungsmöglichkeiten über Frischluftzufuhrbereiche, die bei selten auftretenden Windrichtungen ihre Wirksamkeit entfalten, werden nicht berücksichtigt.

Nächtliche Strömungsrichtungen und -geschwindigkeiten

Reliefbedingte Kaltluftabflüsse (Hangabwinde) treten im Norden des Ruhrgebietes nur sehr vereinzelt auf, im Süden sind sie ein häufiges Phänomen. Die Kaltluftabflüsse treten dabei bevorzugt bei windschwachen Strahlungswetterlagen auf, wobei ihre Intensität und Dauer aus der Größe des Talquerschnitts und des Einzugsgebietes resultiert.

Nutzungsbedingte Ausgleichsströmungen treten beim Nebeneinander von Flächen mit gegensätzlichen Temperaturverhältnissen auf (z.B. Innenstadt und Umland). Sie sind im nördlichen Ruhrgebiet entsprechend den modellierten Strömungsverhältnissen häufiger nachzuweisen.

Die Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeiten und -richtungen basiert auf den Ergebnissen der FITNAH-Modellierung (s. **Kapitel 8**). Dabei sind die Vektoren auf eine Auflösung von 500 m zusammengefasst.

Anhand folgender Kriterien wurde eine Unterscheidung zwischen reliefbedingten und nutzungsbedingten Strömungen vorgenommen:

- nutzungsbedingte Strömungen: Hangneigung unter 3° , Windgeschwindigkeit $> 0,5 \text{ m/s}$
- reliefbedingte Strömungen: Hangneigung über 3° , Windgeschwindigkeit $> 0,5 \text{ m/s}$

Darüber hinaus wird in der Darstellung unterschieden zwischen geringer (bis 1 m/s) und mittlerer bis hoher Strömungsgeschwindigkeit ($> 1 \text{ m/s}$).

8 Darstellung des Regionalklimas mittels FITNAH-Modellrechnung

8.1 Aufgabenstellung

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

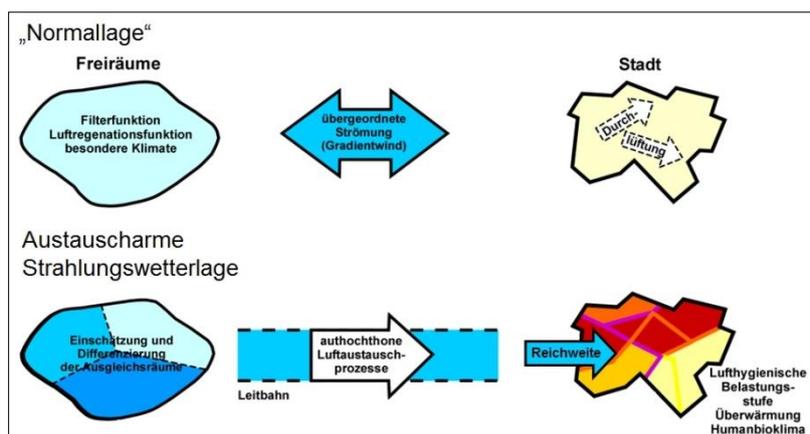


Abbildung 8-1: Prozessorientierte Analyse

Dabei wird das Hauptaugenmerk auf eine mögliche Beeinflussung des Kaltlufthaushalts durch Änderungen in der Flächennutzung gelegt. Ausgangspunkt für die Ermittlung dieser Zusammenhänge ist eine austauscharme, sommerliche Hochdruckwetterlage, die häufig mit einer überdurch-

schnittlich hohen Wärmebelastung in den Siedlungsräumen sowie lufthygienischen Belastungen einhergeht (**Abb.8-1**). Die meteorologischen Eingangsdaten stellen insofern eine „Worst Case“-Betrachtung dar. Unter diesen Rahmenbedingungen können nächtliche Kalt- und Frischluftströmungen aus innerstädtischen Grün- und Brachflächen zum Abbau einer Wärmebelastung in den überwärmten Siedlungsflächen beitragen.

Im Auftrag des RVR wurde vom Büro GEO-NET Umweltconsulting GmbH in Kooperation mit Prof. Dr. G. Groß (Universität Hannover) im Jahr 2012 eine Untersuchung zum Kaltlufthaushalt für das Gebiet des RVR durchgeführt.

Anders als die vorangegangenen Arbeiten zum Stadtklima in der Metropole Ruhr beruht die in **Kapitel 8** dargestellte Analyse im Wesentlichen auf einem modellgestützten und das Gesamtgebiet umfassenden Analyseansatz.

Dieses Vorgehen unterscheidet sich von der statischen Betrachtung auf Basis von Klimatopen, in denen ein strukturtypisch einheitliches Mikroklima unabhängig von der Lage des Klimatops angenommen wird (VDI 1997). Aufgrund der großen räumlichen und zeitlichen Variation der meteorologischen Felder im Bereich einer komplexen Umgebung sind Messungen letztlich nur punktuell repräsentativ, eine Übertragung in benachbarte Räume ist teilweise mit Schwierigkeiten verbunden. Mesoskalige Modelle können zu entscheidenden Verbesserungen dieser Nachteile beitragen: Sie schließen physikalisch fundiert die räumlichen und zeitlichen Lücken zwischen den Messungen, ermitteln Strömungs- und Temperaturfelder in ihrer raumfüllenden Struktur und berechnen zusätzliche meteorologische Größen. Des Weiteren ermöglicht nur die numerische Simulation eine Prognose zukünftiger Entwicklungen. Das umfangreiche Inventar an Messdaten ließ sich dahingehend nutzen, die Ergebnisse der Klimamodellierung zu verifizieren. Daraus sind klimaökologische Rahmendaten in einer hohen räumlichen Auflösung für das gesamte Verbandsgebiet entstanden. Sie ergänzen damit die vorliegenden Informationen für eine sachgerechte Beurteilung der Schutzgüter Klima/Luft innerhalb der Regionalplanung.

8.2 Datengrundlage und Aufbau der Geodatenbasis

Nutzungsstruktur und Geländehöhe sind wichtige Eingangsdaten für die Klimamodellierung: Über die Oberflächengestalt, die Höhe der jeweiligen Nutzungsstrukturen sowie deren Versiegelungsgrad wird das autochthone Strömungs- und Temperaturfeld entscheidend beeinflusst.

Ausgehend von einer Verbandsfläche von ca. 4440 km² wurde ein Untersuchungsgebiet mit den Abmessungen 67,5 x 118,1 km gebildet, das dementsprechend eine Fläche von insgesamt 7972 km² umfasst. Die Modellierung der meteorologischen Parameter erfolgte für insgesamt 3.188.700 Rasterzellen mit einer Zellengröße von jeweils 50 m x 50 m.

8.2.1 Geländehöhe

Die Metropole Ruhr weist aufgrund ihrer heterogenen landschaftlichen Gliederung ein komplexes Relief auf. Die für die Klimaanalyse notwendigen orographischen Eingangsparameter wurden auf Grundlage eines digitalen Geländehöhenmodells mit einer Auflösung von 10 m abgeleitet [RVR 2012a]. Für das außerhalb der Stadtgrenzen liegende Umland wurde das Geländemodell durch SRTM-Höhendaten ergänzt [USGS 2000]. Darauf basierend wurde das für die Modellrechnung erforderliche Raster mit einer Auflösung von 50 m erzeugt (**Abb. 8-2**).

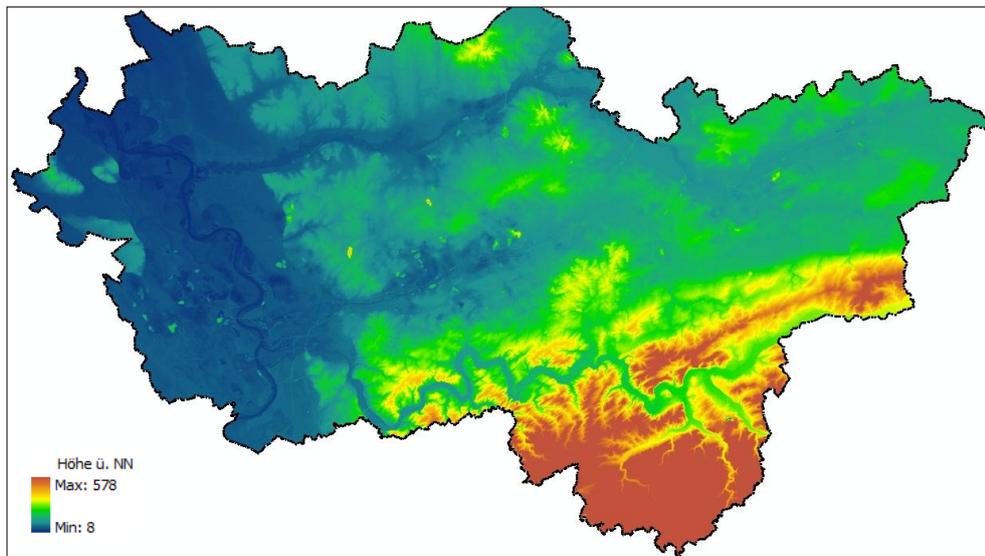


Abbildung 8-2: Geländehöhe im Untersuchungsraum

8.2.2 Nutzungsstruktur

Die möglichst exakte Abbildung der Nutzungsstruktur ist für die Klimamodellierung von zentraler Bedeutung: nutzungsbedingte Veränderungen des örtlichen Windfeldes und des Wärmehaushaltes sind die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Ausbildung eines gegenüber dem Umland veränderten Stadtklimas (siehe **Kapitel 8.1**). Zahlreiche der vielen stadtklimatologisch relevanten Parameter lassen sich daher über die Strukturhöhe, die Bauungsdichte und den Grad der Oberflächenversiegelung einer Fläche abschätzen. Die Ausprägung dieser Einflussgrößen ist nutzungsabhängig und nimmt bei gleichen Nutzungstypen ähnliche Werte an. Somit ermöglicht die Analyse der Nutzungen im Untersuchungsgebiet eine Abgrenzung von Gebieten ähnlicher stadtstruktureller Ausstattung und damit einhergehender stadtklimatischer Charakteristika. Für die Einordnung dieser Einflussgrößen wurden im vorliegenden Gutachten Nutzungsklassen definiert, die eine unter klimatisch-lufthygienischen Gesichtspunkten sinnvolle Differenzierung der Oberflächenstruktur erlauben [MOSIMANN et al. 1999]. Dabei wurde ein vereinfachter 14-klassiger Nutzungsschlüssel verwendet, dessen Abgrenzung eine Zuweisung des Versiegelungsgrades und der Strukturhöhe auf Basis der in den Eingangs- und Literaturodaten vorkommenden Nutzungsklassifizierungen erlaubt (**Tabelle 8-1**).

Zur Aufbereitung der Nutzungsstrukturen für die Modellrechnung wurde die Flächennutzungskartierung des RVR verwendet [RVR 2012b]. Für die Areale außerhalb des Stadtgebietes, für die keine detaillierten Nutzungsdaten vorlagen, sind Corine-

Landnutzungsinformationen zur Vervollständigung der Geodatenbasis herangezogen worden [DLR-DFD 2009]. Die verwendeten Nutzungskategorien zeigt **Tab. 8-1**.

Klasse	Flächentyp	Beschreibung	Mittlerer Versiegelungsgrad (%)	Mittlere Strukturhöhe (m)
1	Zentrumsbebauung	Kerngebietenutzung, welche durch einen sehr hohen Bebauungs- und Versiegelungsgrad gekennzeichnet ist.	95	25,0
2	Block- und Blockrandbebauung	Vergleichsweise dicht bebaute und häufig auch stark versiegelte Siedlungsfläche. Baustrukturell ist sie meist durch geschlossene Blockinnenhöfe geprägt.	78	15,0
3	Industrie- und Gewerbefläche	Sie weist einen ähnlich hohen Versiegelungsgrad wie die Zentrumsbebauung auf, gleichzeitig ist der versiegelte Flächenanteil oft größer als der mit Gebäuden bestandene.	87	10,0
4	Zeilen- und Hochhausbebauung	Zu diesem Flächentyp zählen sowohl freistehende Punkthochhäuser als auch halboffene Blockrandbebauung und Zeilenbebauung. Gemeinsames Merkmal ist ein relativ hoher Grünflächenanteil, welcher sich durch die zwischen den Gebäudekörpern befindlichen Abstandsflächen ergibt.	55	15,0
5	Einzel- und Reihenhausbauung	Dieser Typ weist unter den Siedlungsräumen den geringsten Überbauungsgrad auf. Der Übergang zwischen dicht ausgeprägter Reihenhausbauung und einer Zeilenbebauung ist fließend.	41	5,0
6	Straßenraum	Ebenerdig versiegelte Fläche des Straßenraums.	95	0,0
7	Gleisfläche	Schienenverkehrsfläche mit geringer Strukturhöhe.	25	0,5
8	Baulich geprägte Grünfläche	Unter diesem Flächentyp sind vegetationsgeprägte Flächen zusammengefasst, welche zugleich auch einen gewissen Anteil an versiegelter Fläche (Zuwegungen) und/oder Bebauung aufweisen. Dazu zählen z.B. Kleingartenanlagen und Gartenbauflächen, sowie Spiel- und Sportplätze. Es überwiegt aber letztlich die Eigenschaft als Grünfläche.	25	5,0
9	Freiland	Beinhaltet vor allem landwirtschaftlich genutzte Wiesen und Weiden sowie ackerbaulich genutzte Flächen. Innerstädtisch handelt es sich meist um Rasenflächen mit geringem Gehölzanteil.	5	1,0
10	Gehölz	Diese Nutzungskategorie umfasst sowohl innerstädtische Parkareale und Gehölzflächen als auch Obstbauflächen, Baumschulen und Straßenbegleitgrün.	5	2,0
11-13	Wald	Größere Waldflächen (Laub-, Misch- bzw. Nadelwald) außerhalb von Städten sowie waldartige Bestände im Siedlungsbereich.	5	12,5
14	Wasserfläche	Still- und Fließgewässer.	0	0

Tabelle 8-1:Nutzungskategorien des Untersuchungsgebietes

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

Modellrechnungen verwenden rasterhafte Repräsentationen von Eingangsvariablen. Für die Bereitstellung der Modelleingangsdaten muss die Flächengeometrie daher auf Rasterzellen

jeweils einheitlicher Nutzungsstruktur – hier mit einer Maschenweite von 50 m – übertragen werden (**Abb. 8- 3**). Da bei dieser Auflösung Einzelgebäude nicht explizit aufgelöst werden können, gehen sie entsprechend parametrisiert durch die Definition der Nutzungsklassen in die Modellierung ein. Sie werden daher je Rasterzelle über eine mittlere Rauigkeit und Hindernishöhe repräsentiert

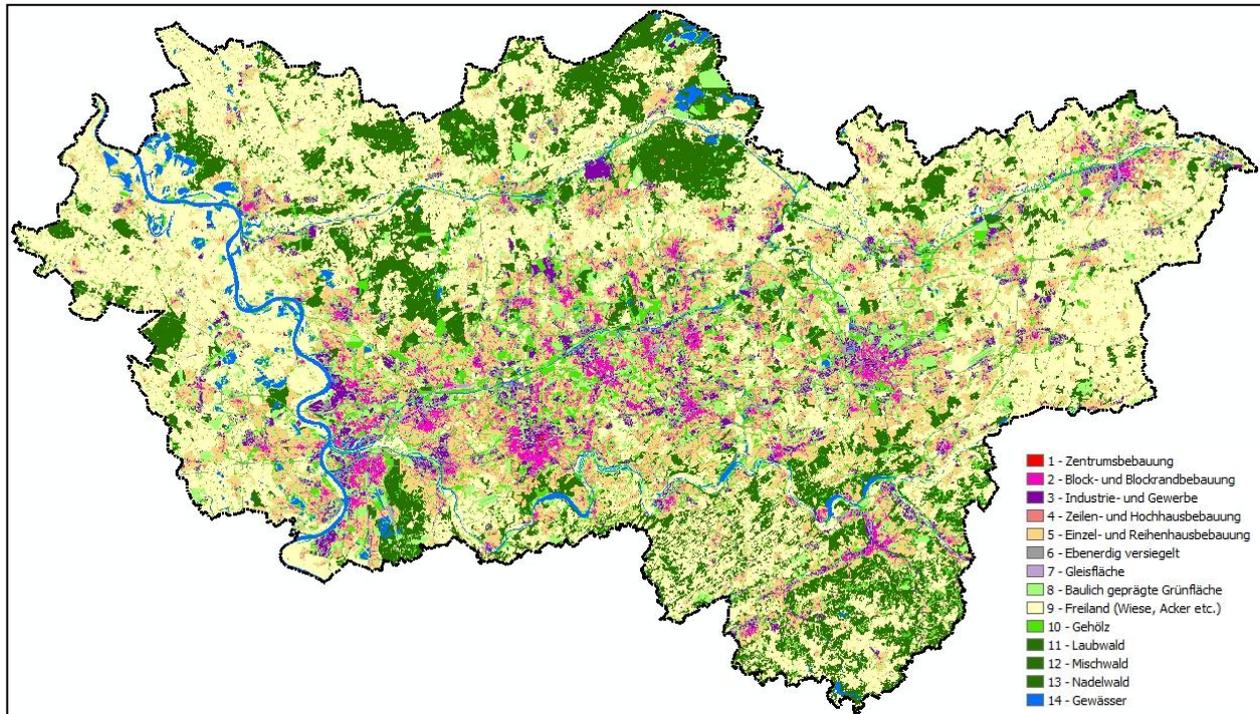


Abbildung 8-3: Nutzungsstruktur im Verbandsgebiet

Im Zuge des hierbei eingesetzten geostatistischen Verfahrens wurden kleinere Nutzungseinheiten, die aufgrund der Maßstabsbeschränkung in der Flächengeometrie nicht enthalten sind (z. B. Straßenräume, Plätze, kleinere Baumgruppen) den einzelnen Rasterzellen mittels umfangreichem Abgleich auf Basis von Luftbildern [RVR 2012c] zugeordnet.

8.3 Methodik

8.3.1 Das Mesoskalenmodell FITNAH

Allgemeines

Neben globalen Klimamodellen und regionalen Wettervorhersagemodellen wie sie zum Beispiel vom Deutschen Wetterdienst für die tägliche Wettervorhersage routinemäßig eingesetzt

werden, nehmen kleinräumige Modellanwendungen für umweltmeteorologische Zusammenhänge im Rahmen von stadt- und landschaftsplanerischen Fragestellungen einen immer breiteren Raum ein. Die hierfür eingesetzten meso- (und mikro-) skaligen Modelle erweitern das Inventar meteorologischer Werkzeuge zur Berechnung atmosphärischer Zustände und Prozesse.

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

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

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

Grundlagen mesoskaliger Modelle

Die Verteilung der lokalklimatisch relevanten Größen wie Wind und Temperatur kann mit Hilfe von Messungen ermittelt werden. Aufgrund der großen räumlichen und zeitlichen Variation der meteorologischen Felder im Bereich einer komplexen Umgebung sind Messungen

allerdings immer nur punktuell repräsentativ und eine Übertragung in benachbarte Räume selten möglich. Mesoskalige Modelle wie FITNAH können zu entscheidenden Verbesserungen dieser Nachteile herangezogen werden, indem sie physikalisch fundiert die räumlichen und/oder zeitlichen Lücken zwischen den Messungen schließen, weitere meteorologische Größen berechnen, die nicht gemessen wurden und Wind- und Temperaturfelder in ihrer raumfüllenden Struktur ermitteln.

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

Grundgleichungen

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

Je nach Problemstellung und gewünschter Anwendung kann dieses Grundgerüst noch erweitert werden um z.B. die Effekte von Niederschlag auf die Verteilung der stadtklimatologisch wichtigen Größen zu berücksichtigen. In diesem Falle müssen weitere Bilanzgleichungen für Wolkenwasser, Regenwasser und feste Niederschlagspartikel gelöst werden. Die Lösung des Gleichungssystems erfolgt in einem numerischen Raster. Die Rasterweite muss dabei so fein gewählt werden, dass die lokalklimatischen Besonderheiten des Untersuchungsraumes vom mesoskaligen Modell erfasst werden können. Je feiner das Raster gewählt wird, umso mehr Details und Strukturen werden aufgelöst (vgl. **Abbildung 8-4**).

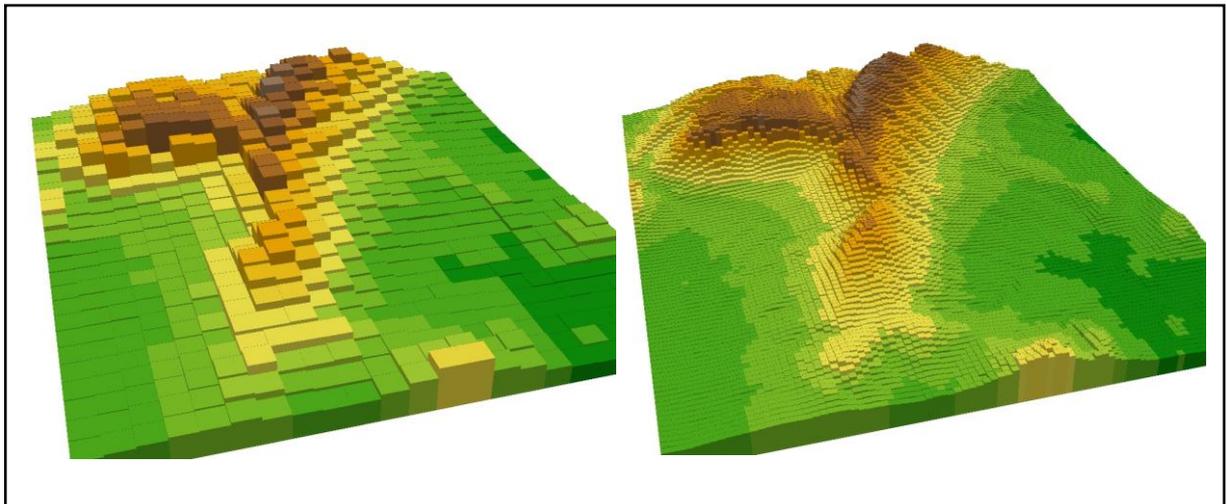


Abbildung 8-4: Unterschiedliche Rasterweiten (links: 500 m x 500 m; rechts: 125 m x 125 m) bei einem digitalem Geländehöhenmodell

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

Eingangsdaten

Bei einem numerischen Modell wie FITNAH muss zur Festlegung und Bearbeitung einer Aufgabenstellung eine Reihe von Eingangsdaten zur Verfügung stehen (**Abb. 8-5**). Diese müssen zum einen die Landschaft charakterisieren, für welche die lokalklimatische Studie durchgeführt werden soll, und zum anderen auch die größerskaligen meteorologischen Rahmenbedingungen wie Wetterlage oder Klimaszenario definieren.

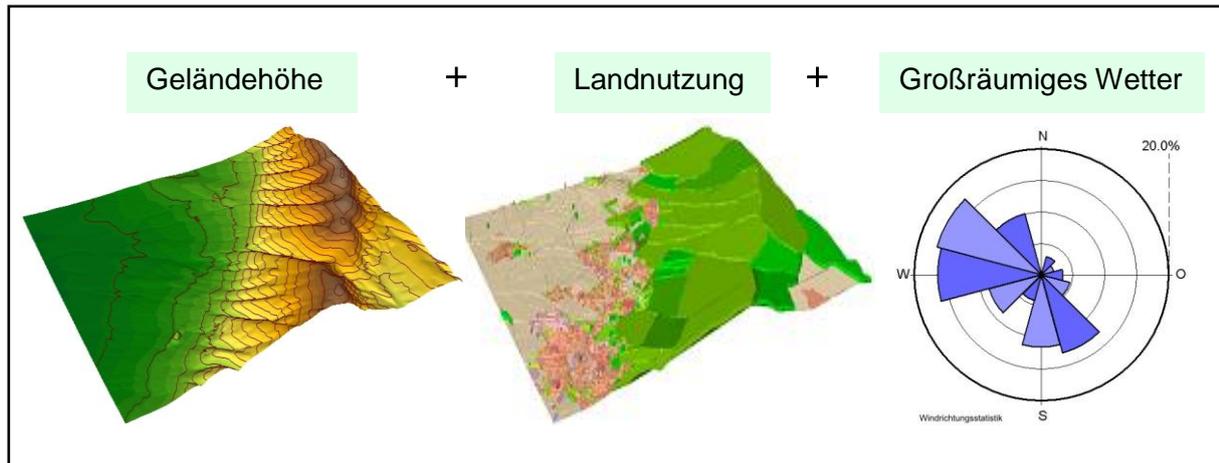


Abbildung 8-5: Eingangsdaten für die Modellrechnung.

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

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

8.3.2 Synoptische Rahmenbedingungen

Während autochthoner Wetterlagen können sich die lokalklimatischen Besonderheiten in einer Stadt besonders gut ausprägen. Eine solche Wetterlage wird durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwachen überlagernden synoptischen Wind gekennzeichnet. Bei den hier durchgeführten numerischen Simulationen wurden die großräumigen synoptischen Rahmenbedingungen entsprechend festgelegt:

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

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

In **Abb. 8-6** sind schematisch die für eine austauscharme sommerliche Wetterlage simulierten tageszeitlichen Veränderungen der Temperatur und Vertikalprofile der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für die Landnutzungen Freiland, Stadt und Wald dargestellt.

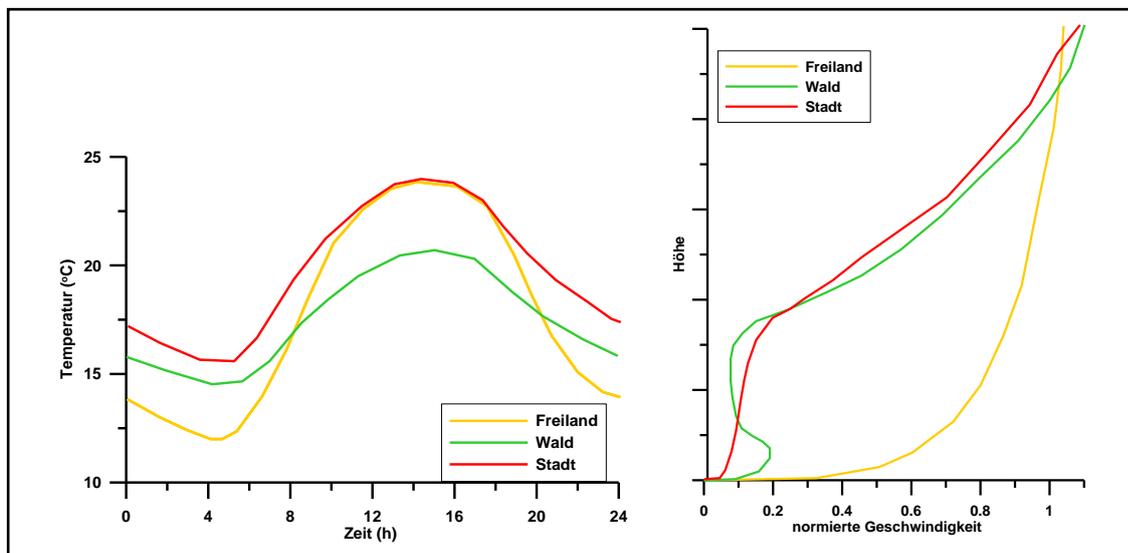


Abbildung 8-6: Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für verschiedene Landnutzungen

Beim Temperaturverlauf zeigt sich, dass sowohl Freiflächen wie z.B. Wiesen als auch Bebauung ähnlich hohe Temperaturen zur Mittagszeit aufweisen können, die nächtliche Abkühlung der Siedlungsflächen vor allem durch die Wärme speichernden Materialien hingegen deutlich geringer ist. Waldflächen nehmen eine vermittelnde Stellung ein, da die nächtliche Auskühlung durch das Kronendach gedämpft wird. Hinsichtlich der Windgeschwindigkeit wird der Einfluss von Bebauung und Vegetationsstrukturen im Vertikalprofil deutlich.

8.4 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der FITNAH-Modellierung zu den verschiedenen meteorologischen Parametern erläutert. Als meteorologische Rahmenbedingung wurde eine austauscharme Wetterlage für die in **Kapitel 8.4.1 bis 8.4.7** beschriebenen Parameter zugrunde gelegt, da sich die stadtklimatischen Effekte vor allem während windschwacher Strahlungswetterlagen im Sommer entwickeln. Auslöser dieser Prozesse sind die Temperaturunterschiede zwischen vergleichsweise warmen Siedlungsräumen und kühleren vegetationsgeprägten Freiflächen.

In **Kapitel 8.4.8** werden die Ergebnisse für eine durchschnittliche Wettersituation wie sie unter einer austauschstarke „Normallage“ auftritt, dargestellt.

Am Beispiel eines Ausschnitts im östlichen Stadtgebiet von Dortmund wird kurz auf den jeweiligen Parameter eingegangen.

8.4.1 Lufttemperatur

Allgemeines: Der Tagesgang der Lufttemperatur ist direkt an die Strahlungsbilanz eines Standortes gekoppelt und zeigt daher in der Regel einen ausgeprägten Abfall während der Abend- und Nachtstunden. Dieser erreicht kurz vor Sonnenaufgang des nächsten Tages ein Maximum. Das Ausmaß der Abkühlung kann dabei – je nach den meteorologischen Verhältnissen, der Lage des Standorts und den landnutzungsabhängigen physikalischen Boden- und Oberflächeneigenschaften – große Unterschiede aufweisen, so dass sich bereits auf kleinem Raum ein differenziertes Temperaturfeld mit mehr als 8 K Temperaturabweichung einstellen kann. Besonders auffällig dabei ist das thermische Sonderklima der Siedlungsräume. Die in Städten gegenüber dem Umland modifizierten klimatischen Verhältnisse lassen sich auf einige wesentliche Faktoren zurückführen.

Hierzu gehören:

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

Damit ist das Ausmaß der Temperaturabweichung im Siedlungsbereich vor allem abhängig von der Größe der Stadt und der Dichte der Überbauung. Doch auch die Luftvolumina über grünpfropfte Flächen weisen untereinander keinen einheitlichen Wärmestand auf. Die Abkühlungsrate von natürlichen Oberflächen wird insbesondere von ihren thermischen Bodeneigenschaften (u.a. ihrer Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität) sowie von eventuell vorhandenen Oberflächenbedeckungen (Bewuchs, Laubstreu usw.) bestimmt. Das Relief (Exposition, Geländeneigung) und die Lage im Mosaik der Nutzungen und ihrer dynami-

schen Luftaustauschprozesse üben einen weiteren Einfluss aus. Eine Sonderstellung nehmen Wald- und Gewässerflächen ein. Der gedämpfte, insgesamt vermittelnde Tagesgang der Temperatur im Wald beruht zu einem großen Teil auf dem zweischichtigen Strahlungsumsatz zwischen Atmosphäre und Kronendach sowie zwischen Kronendach und Stammraum.

Größere Waldgebiete sind wichtige Frischluftproduktionsgebiete, wobei hier sauerstoffreiche, staubfreie und wenig belastete Luft entsteht. Während tagsüber durch Verschattung und Verdunstung relativ niedrige Temperaturen bei hoher Luftfeuchtigkeit im Stammraum vorherrschen, treten nachts, im Vergleich zu nicht mit Gehölz bestandenen Grünflächen, eher milde Temperaturen auf. Stadtnahe Wälder können daher auch am Tage Kaltluft zugunsten des Siedlungsraumes erzeugen. Die Ermittlung des bodennahen Temperaturfeldes ermöglicht es, Bereiche mit potenziellen bioklimatischen Belastungen abzugrenzen, Aussagen zum Auftreten thermisch und/oder orographisch induzierter Ausgleichsströmungen zu treffen und die räumliche Ausprägung und Wirksamkeit von Kalt- bzw. Frischluftströmungen abzuschätzen.

Ergebnisse Temperaturfeld: Das sich um 4 Uhr in der Nacht einstellende Temperaturfeld im Untersuchungsraum umfasst zwischen Minimalwerten von 11°C im Bergland und Maximalwerten von 22°C in den größeren Innenstädten eine Spannweite von etwa 11 Kelvin (K). Die mittlere Temperatur des Untersuchungsgebietes liegt unter den angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen bei etwa 16,4°C.

Beispiel Dortmund

Die Temperaturverteilung ist innerhalb der bebauten Gebiete räumlich differenziert, da Areale mit Wohnbauung, Verkehrsanlagen sowie Grünflächen unterschiedliche Boden- und Oberflächeneigenschaften aufweisen. **Abbildung 8-7** zeigt das mit dem Klimamodell FITNAH simulierte Temperaturfeld in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 4 Uhr. Die höchsten Temperaturen innerhalb der Bebauung treten mit bis zu 22°C im Stadtzentrum von Dortmund sowie den östlich angrenzenden Gewerbeflächen auf und resultieren aus dem großen Bauvolumen und dem hohen Oberflächenversiegelungsgrad (Rot). Innerhalb kleinerer Gewerbeflächen, Stadtteilzentren sowie verdichteter Bebauung entlang von Erschließungsstraßen können Werte von 19°C bis 21°C auftreten (Gelb/Orange).

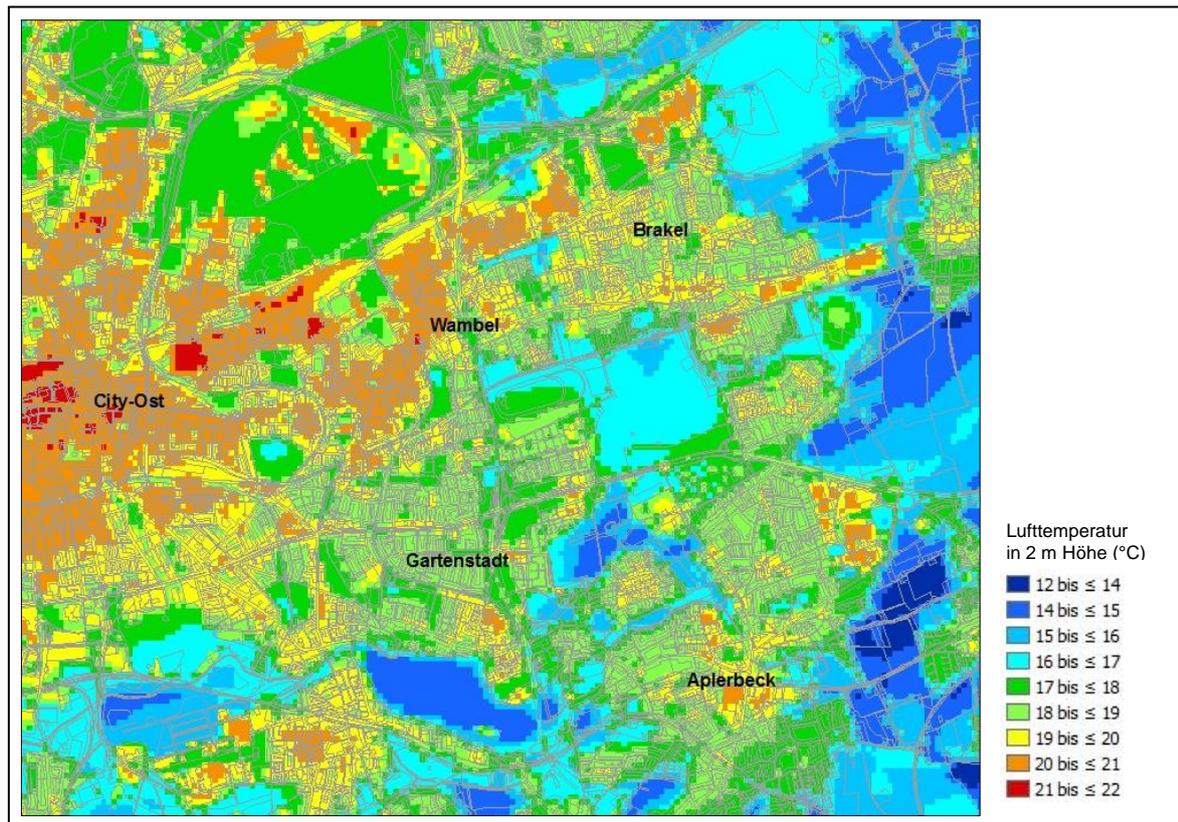


Abbildung 8-7: Bodennahe Lufttemperatur um 04 Uhr.

Weite Teile der durch Einzel- und Reihenhausbebauung geprägten Siedlungsfläche weisen mit 18°C bis 19°C ein geringeres Temperaturniveau auf, was auf den vergleichsweise geringen Überbauungsgrad und den hohen Grünflächenanteil zurückzuführen ist (Grün).

Die niedrigsten Temperaturen im dargestellten Ausschnitt sind mit weniger als 14°C über den ausgedehnten landwirtschaftlich genutzten Arealen im östlichen Stadtgebiet von Dortmund zu verzeichnen, was in ihrer starken langwelligen Ausstrahlung nach Sonnenuntergang begründet liegt (Blau). Ähnlich geringe Werte können auch in Senkenbereichen auftreten, wo sich die Kaltluft aufgrund ihrer, verglichen mit wärmeren Luftmassen, höheren Dichte sammelt. Waldareale besitzen in Abhängigkeit von der Höhenlage ein vergleichsweise hohes Temperaturniveau von 15°C bis 17°C. Hier dämpft das Kronendach die nächtliche Ausstrahlung und damit auch ein stärkeres Absinken der bodennahen Lufttemperatur.

Verglichen mit den weitläufigen Freiräumen des Umlandes weisen die innerstädtischen Grünflächen, abhängig von ihrer Größe und Form, ein höheres Wertespektrum auf, welches meist zwischen 16°C und 18°C liegt. Über den weiteren, kleineren Grünflächen sinkt die Temperatur nur noch selten auf unter 18°C ab. Hier wird deutlich, dass diese Flächen in eine insgesamt wärmere Umgebung eingebettet sind und daher die vergleichsweise geringen Temperaturen des Umlandes nicht mehr erreicht werden.

8.4.2 Nächtliche Abkühlung

Die in **Kap. 8.1** beschriebenen Zusammenhänge werden in der nächtlichen Abkühlungsrate sichtbar. Den Temperaturrückgang von 20 Uhr abends bis 04 Uhr morgens zeigt **Abb. 8-8**, wobei die verdichteten Siedlungsareale verglichen mit dem Freiland nur wenig abkühlen. Während in der Dortmunder Innenstadt die Lufttemperatur nur um 2°C bis 3°C zurückgeht, ist sie in der umgebenden Block- und Blockrandbebauung sowie den Gewerbeflächen mit bis zu 5°C etwas stärker ausgeprägt (Orange). Die locker bebauten Wohnflächen kühlen um etwa 6°C ab (Gelb).

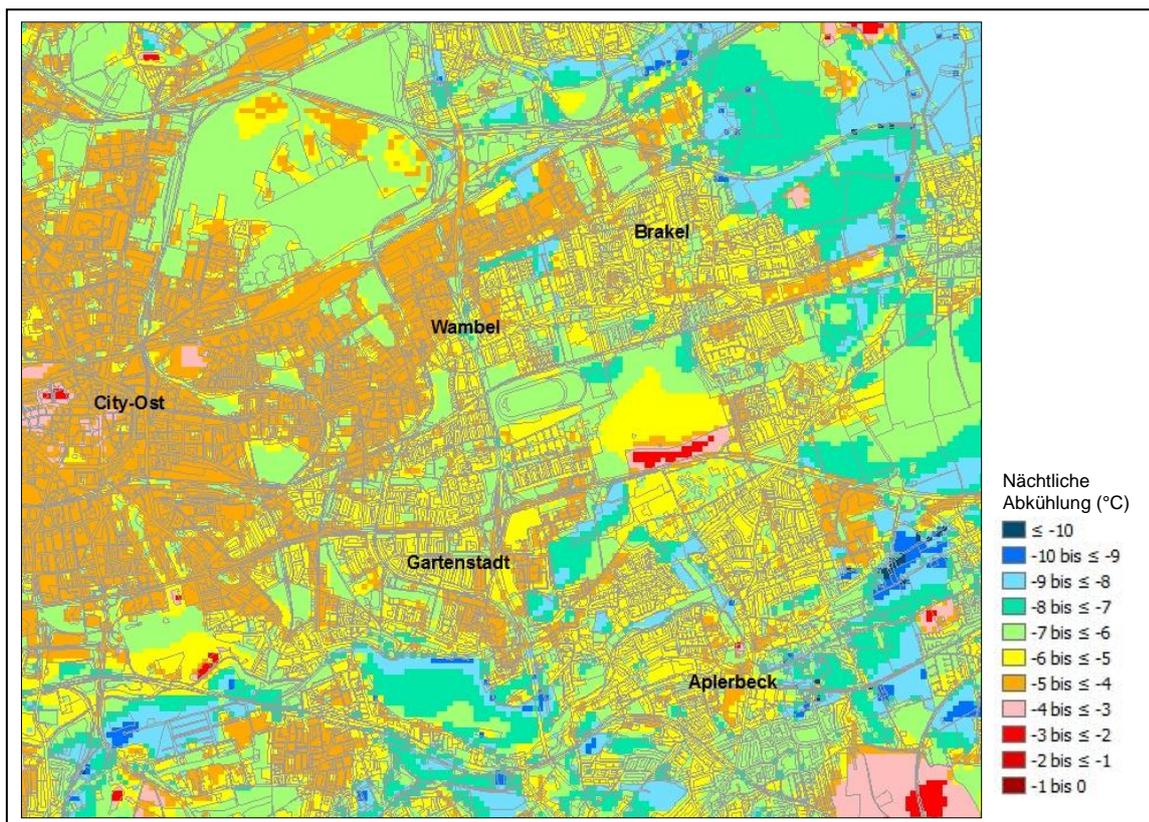


Abbildung 8-8: Nächtliche Abkühlungsrate.

Die Abkühlungsrate von Wald kann dagegen weniger als 4°C betragen, was auf das Bestandsklima und den gedämpften Temperaturverlauf im Tagesgang zurückzuführen ist (vgl. **Abb. 8-6**). Die mit bis zu 10°C höchste Abkühlung findet über den landwirtschaftlich genutzten Freiflächen des östlichen Stadtgebietes statt.

8.4.3 Autochthones Windfeld

Die variable bodennahe Lufttemperaturverteilung bedingt horizontale und vertikale Luftdruckunterschiede, die wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind. Die

wichtigsten nächtlichen Luftströmungen dieser Art sind zum einen die gravitationsbedingten *Berg- und Hangabwinde*, zum anderen die als direkte Ausgleichsströmungen vom hohen zum tiefen Luftdruck aufzufassenden *Flurwinde*.

Ab einer Geländeneigung von ein bis zwei Grad setzen nach Sonnenuntergang über natürlichen Oberflächen abwärtsgerichtete Strömungen ein, weil die hangnahe Luft durch nächtliche Ausstrahlung stärker abkühlt als die freie Luft in gleicher Höhe. Aufgrund ihrer höheren Dichte fließt die kühlere Bodenluft hangabwärts. Die Ausprägung dieses kleinräumigen Phänomens wird in erster Linie durch das Temperaturdefizit zur umgebenden Luft und durch die Neigung des Geländes bestimmt [siehe z. B. MOSIMANN et al. 1999]. *Hangabwinde* erreichen maximale Abflussgeschwindigkeiten von etwa $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, ihre Mächtigkeit liegt zumeist unterhalb von 10 m [HERGERT 1991]. Im Berg- und Bergvorland sind Hangwinde oftmals Teilglieder einer übergeordneten Berg- und Talwind-Zirkulation. Aufgrund ihrer größeren Einzugsgebiete sind nächtliche Bergwinde deutlich stärker ausgeprägt als Hangabwinde und erreichen bei Mächtigkeiten von mehreren Dekametern Strömungsgeschwindigkeiten von über $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ [WERNER 1979].

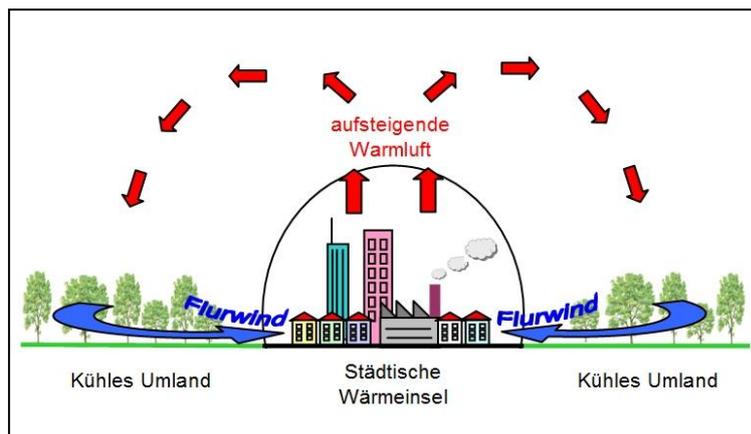


Abbildung 8-9: Prinzipskizze Flurwind.

Neben diesen durch das Relief beeinflussten Strömungen bilden sich in ebenen Lagen unter günstigen Bedingungen sogenannte *Flurwinde* aus. Sie sind radial auf einen überwärmten Raum ausgerichtet und an hindernisarme Leitbahnen gebunden. Flurwinde entstehen, wenn sich infolge der Überwärmung von überbauten oder versiegelten Gebieten – und dem damit verbundenen konvektiven Aufstieg der betroffenen Luftmassen – gegenüber dem Umland ein lokales thermisches Tief aufbaut. Der resultierende Druckgradient kann daraufhin durch einströmende kühlere Luftmassen aus dem Umland ausgeglichen werden [u. a. KIESE et al. 1992]. Die Flurwinde sind eng begrenzte, oftmals nur schwach ausgeprägte Strömungsphänomene, die bereits durch einen schwachen überlagernden Wind überdeckt werden können. Ihre Geschwindigkeit liegt meist deutlich unterhalb von $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Kleinräumige Strömungsphänomene, die zwischen einzelnen strukturellen Elementen innerhalb der Stadt auftreten, werden *Strukturwinde* genannt.

Den hier beschriebenen Phänomenen kommt eine besondere landschaftsplanerische Bedeutung zu: Größere Siedlungen wirken aufgrund ihrer hohen aerodynamischen Rauigkeit als Strömungshindernis. Aus diesem Grund sind die Durchlüftung der Stadtkörper und ihr

Luftaustausch mit dem Umland generell herabgesetzt. Die Abfuhr von schadstoffbelasteten und überwärmten Luftmassen in den Straßenschluchten kann in Abhängigkeit von der Bauart und -dichte deutlich eingeschränkt sein. Speziell bei austauschschwachen Wetterlagen wirken sich diese Faktoren bioklimatisch zumeist ungünstig aus.

Daher können die genannten Strömungssysteme durch die Zufuhr frischer und kühlerer Luft eine bedeutende klima- und immissionsökologische Ausgleichsleistung für die Belastungsräume erbringen.

Beispiel Dortmund

Die Kaltluftströmung ist ein wichtiger Parameter zur Beurteilung des Kaltlufthaushaltes, wobei sich vor allem die Luftaustauschprozesse am Stadtrand erst in der zweiten Nachthälfte vollständig ausgebildet haben. Daher wird im Folgenden auf die Ergebnisse zum Zeitpunkt 4:00 Uhr morgens eingegangen.

Das für den Zeitpunkt 4:00 Uhr modellierte Strömungsfeld, das sich während einer sommerlichen, austauscharmen Strahlungswetternacht autochthon herausgebildet hat, zeigt **Abb. 8-10**. Die momentane Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit wird über die Pfeilrichtung und Pfeillänge in Form von Vektoren dargestellt, wobei die Pfeile für eine übersichtlichere Darstellung in niedriger Auflösung (250 m) abgebildet werden. Die unterlegten Farben stellen die Windgeschwindigkeit flächenhaft dar. Abgebildet sind alle Rasterzellen (50 m x 50 m) mit einer Windgeschwindigkeit von mindestens $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, für die unter Berücksichtigung der gebietstypischen Ausprägung eine potenzielle klimaökologische Wirksamkeit angenommen werden kann.

Die für das 2-m-Niveau wiedergegebenen Strömungsgeschwindigkeiten innerhalb des Verbandsgebietes reichen von vollkommener Windstille bis zu Maximalwerten von $2,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Im dargestellten Ausschnitt treten die höchsten Geschwindigkeiten von mehr als $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ über den ausgedehnten landwirtschaftlich genutzten Freiräumen östlich von Brakel auf. Ähnliche Werte sind auch östlich von Aplerbeck zu beobachten, wobei das Relief mit Hangneigungen von mehr als 1° die Kaltluft lokal beschleunigt. Über den innerstädtischen Grünflächen ohne Bezug zum Umland betragen die Windgeschwindigkeiten dagegen meist weniger als $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

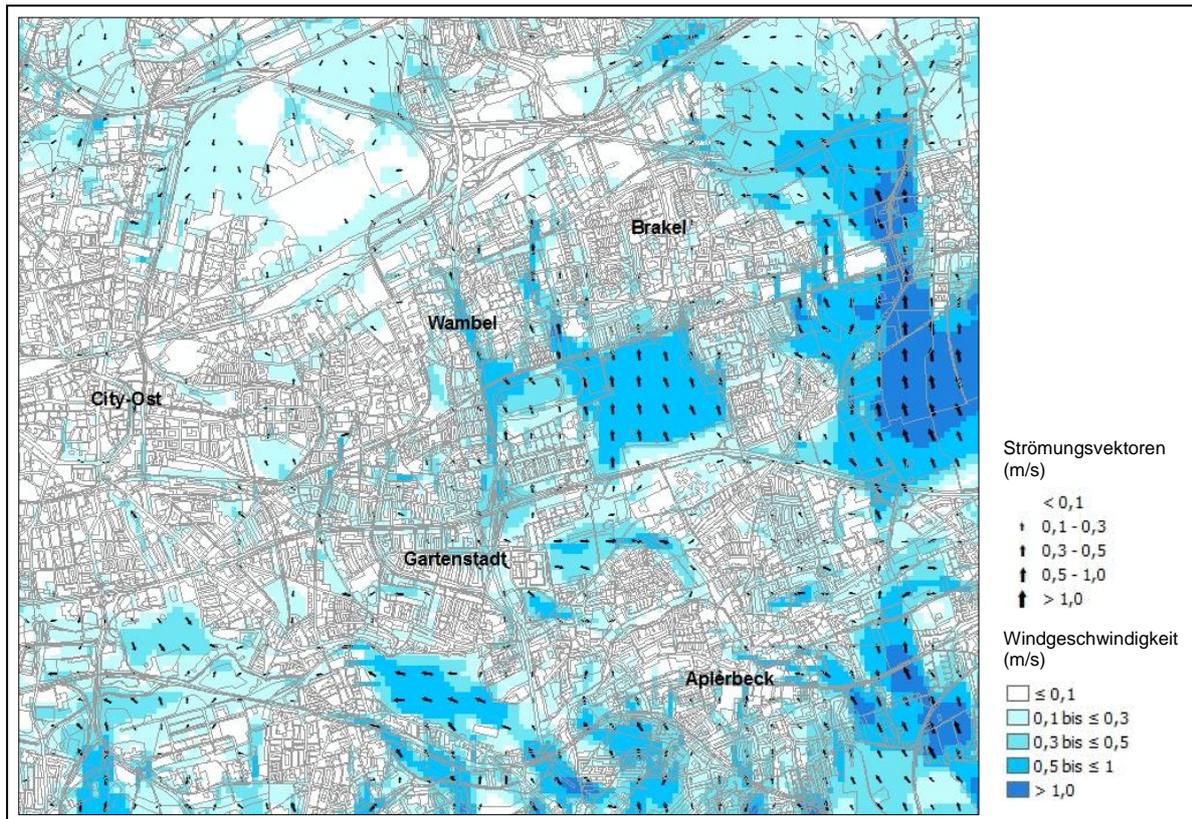


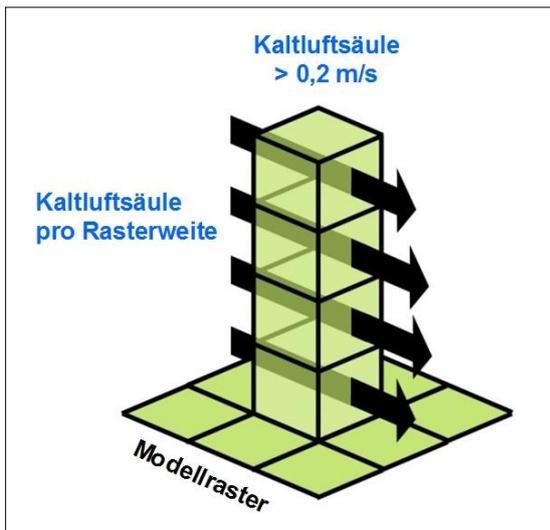
Abbildung 8-10: Kaltluftströmungsfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens. Die Vektoren sind auf eine Auflösung von 250 m aggregiert.

Je nach Dichte der Bebauung und Intensität der Strömungsdynamik kann die Eindringtiefe der Kaltluft in gering überbauten und grünteprägtten Siedlungsräumen – bei zunehmender Verzögerung und Erwärmung – mehr als 1 000 m betragen. In Siedlungsflächen, die von Blockrandbebauung dominiert werden, kann die Kaltluft häufig nur über Straßenräume und Bebauungslücken vordringen. Die Eindringtiefe ist hier generell entsprechend gering, die Erwärmungsrate der Kaltluft hoch. Ähnliches gilt für die Stadt- und Stadtteilzentren sowie Gewerbegebiete.

Daher kommt den Luftaustauschbereichen eine besondere Bedeutung zu, da sie Kaltluftentstehungsgebiete („Ausgleichsräume“) und Belastungsbereiche („Lasträume“) miteinander verbinden. Als geeignete Oberflächenstrukturen, die ein Eindringen von Kaltluft in die Bebauung erleichtern, dienen innerhalb von Siedlungsräumen sowohl gering bebaute vegetationsgeprägte Freiflächen, Kleingärten und Friedhöfe als auch Gleisareale und breite Straßenräume. Da Leitbahnen selbst auch Kaltluft produzieren können, lassen sich Freiflächen, von denen Kaltluft direkt in die Bebauung strömt, nicht immer trennscharf abgrenzen von Leitbahnen, die als mehr oder weniger reine „Transportwege“ fungieren.

8.4.4 Kaltluftvolumenstrom

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



Unter dem Begriff Kaltluftvolumenstrom versteht man, vereinfacht ausgedrückt, das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite). Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit m^3 , die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer Leitbahn fließt. Für die in der **Abb. 8-11** darge-

Abbildung 8-11: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom

stellten Werte bedeutet dies folgendes: Da die Modellergebnisse nicht die Durchströmung eines natürlichen Querschnitts widerspiegeln, sondern den Strömungsdurchgang der gleichbleibenden Rasterzellenbreite (hier 50 m), ist der resultierende Parameter streng genommen nicht als Volumenstrom, sondern als rasterbasierte Volumenstrom-*dichte* aufzufassen. Diesen Wert kann man sich veranschaulichen, indem man sich ein 25 m breites, quer zur Luftströmung hängendes Netz vorstellt, das ausgehend von der Obergrenze der Kaltluftschicht bis hinab auf die Erdoberfläche reicht. Bestimmt man nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft, erhält man die rasterbasierte Volumenstromdichte (**Abb. 8-11**).

Der Volumenstrom ist damit ein Maß für den Zustrom von Kaltluft und bestimmt somit, neben der Strömungsgeschwindigkeit, die Größenordnung des Durchlüftungspotenzials. Die Klassifizierung des Volumenstroms orientiert sich dabei am auftretenden Wertespektrum innerhalb des Untersuchungsgebietes.

Beispiel Dortmund

Abbildung 8-12 zeigt den Kaltluftstrom für den Istzustand in einer qualitativen Abstufung. Analog zur Strömungsgeschwindigkeit treten die höchsten Werte von bis zu $5\,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ östlich von Aplerbeck auf. Ein hohes Wertenniveau von mehr als $3\,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ist im Bereich des Aplerbecker Waldes zu beobachten. Über dem Hauptfriedhof südlich von Brakel sind mehr als $2\,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ anzutreffen.

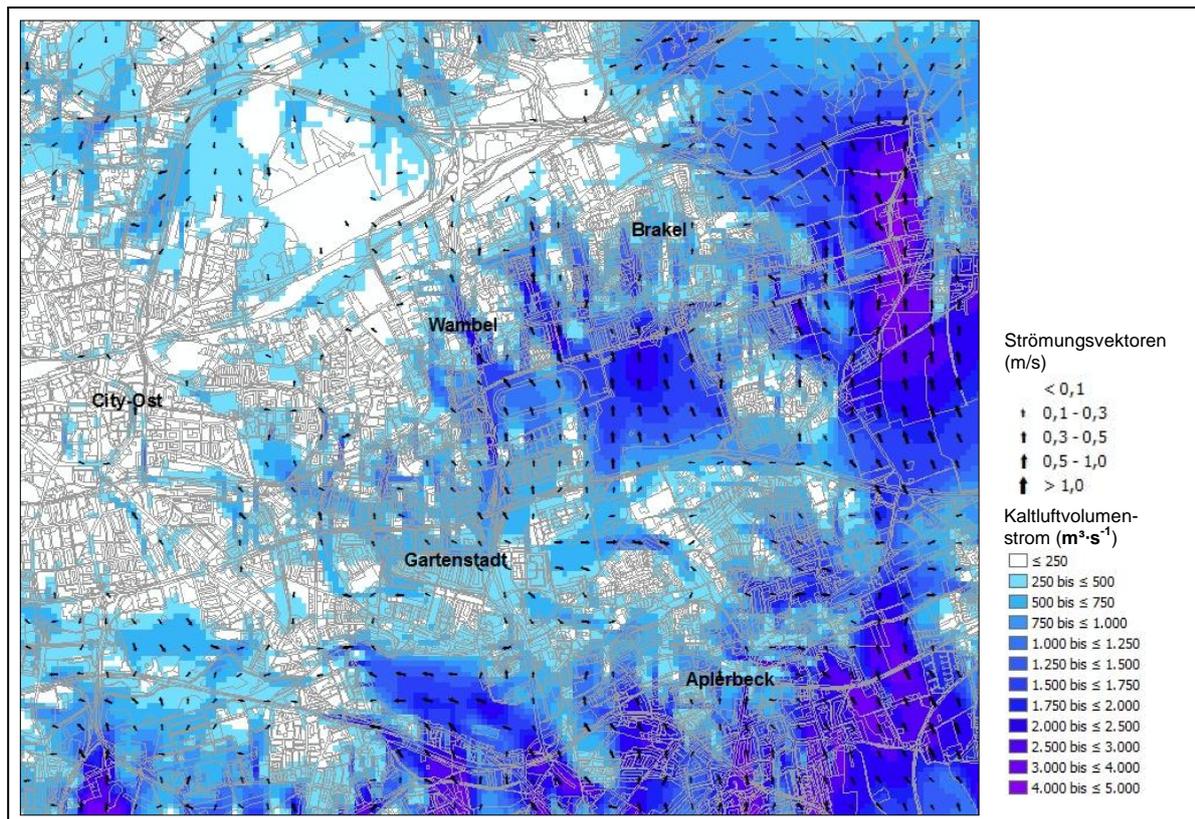


Abbildung 8-12: Kaltluftvolumenstrom zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens in quantitativer Darstellung. Die Vektoren sind auf eine Auflösung von 250 m aggregiert.

Es zeichnen sich auch die Bereiche wie Grünstrukturen oder Gleisareale ab, welche Kaltluft in die größeren Siedlungsflächen hineinführen und somit als Leitbahnbereiche angesprochen werden können. Die dort transportierten Kaltluftvolumina sind geringer als über den großen Freiflächen und betragen häufig weniger als $1\,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.

Die Eindringtiefe von Kaltluft in bebauten Gebiet hängt wesentlich von der Siedlungsgröße, der Bebauungsdichte, der anthropogenen Wärmefreisetzung (die zu einer Erwärmung der Luftmassen führt) sowie von der Menge der einströmenden Kaltluft ab. In den peripheren, dörflich geprägten und vergleichsweise gering überbauten Ortsteilen erfolgt häufig sogar ein vollständiges Durchströmen des Siedlungsraumes ohne Abkopplung vom lokalen Windfeld.

8.4.5 Kaltluftproduktionsrate

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

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

Die Ergebnisse der Analyse umfassen für das Gesamtgebiet des RVR ein Wertespektrum von 0 bis $40 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Die in **Abb. 8-13** dargestellte Kaltluftproduktivität spiegelt die Verteilung der Grünflächen einerseits und der Siedlungsbereiche andererseits wider.

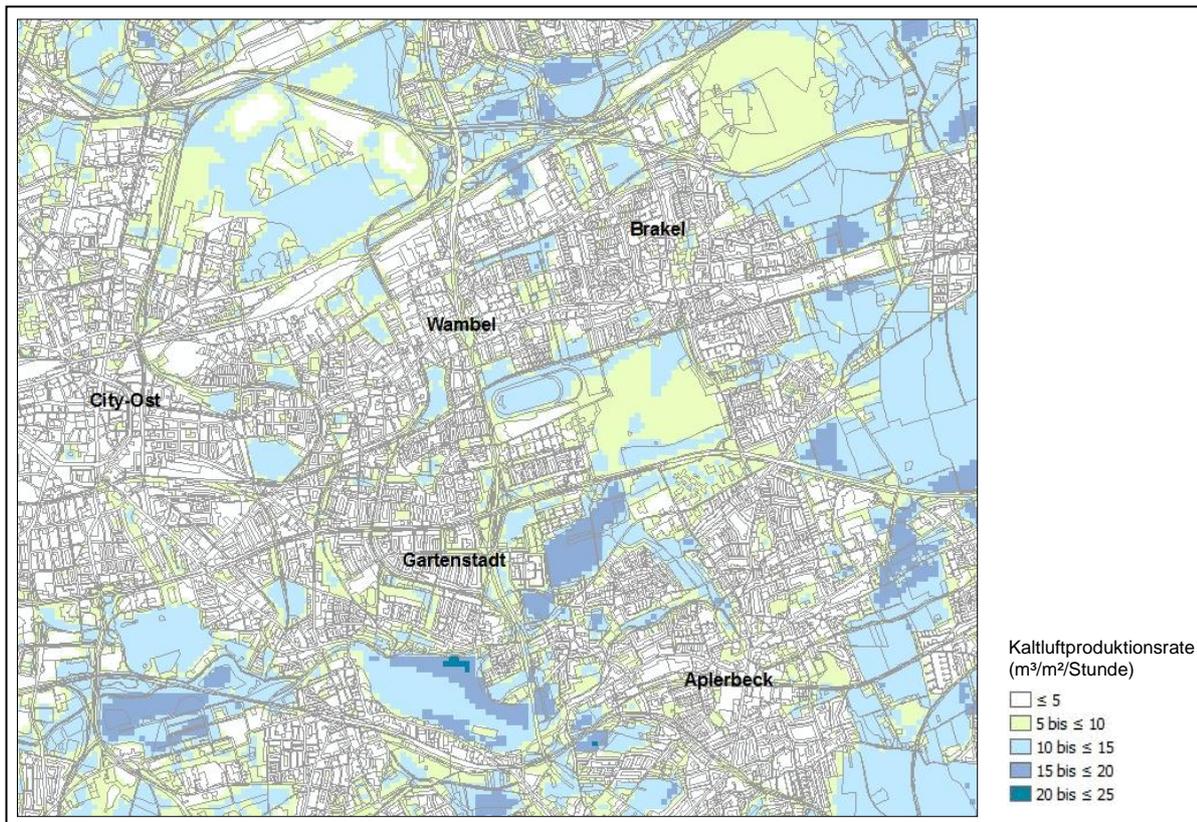


Abbildung 8-13: : Kaltluftproduktionsrate 4 Uhr morgens.

Dabei sind verbreitet Kaltluftproduktionsraten von 10 bis 15 m³·m⁻²·s⁻¹ zu beobachten. Höhere Werte von mehr als 15 m³·m⁻²·s⁻¹ sind kleinräumig auch in direkter Nachbarschaft zu Siedlungsflächen anzutreffen (z.B. Gartenstadt). Bebaute Bereiche haben je nach Grünanteil eine geringe Produktivität oder verhalten sich kontraproduktiv.

8.4.6 Luftaustauschrate

Die Luftaustauschrate ist eine Kennzahl für die Häufigkeit der Erneuerung des Luftvolumens. In urbanen Bereichen ist diese von Bedeutung, da ein Zusammenhang zwischen der Luftaustauschrate und der lufthygienischen Situation oder der thermischen Belastung der Bewohner besteht. Unter Nutzung der berechneten, dreidimensionalen Struktur und der zeitlichen Entwicklung des Windfeldes kann die lokale Luftaustauschrate berechnet werden. Sie bestimmt, wie oft pro (Nacht-) Stunde das bodennahe Luftvolumen (bis 30 m Höhe) an jedem Gitterpunkt ausgetauscht wird. Dieser Nettotransport aus der Umgebung wird über die

vertikale Integration der in das Gitter-Volumen gerichteten Massenflüsse (Geschwindigkeit x Luftdichte) berechnet.

Die räumliche Ausprägung korrespondiert mit der des Kaltluftvolumenstroms. Im Bergland kann die Luftaustauschrate in Bereichen mit intensiven Kaltluftabflüssen über Hangbereichen auf mehr als 200 ansteigen. In dem dargestellten Ausschnitt (**Abb. 8-14**) treten hohe Werte von mehr als 100 östlich von Brakel bzw. Aplerbeck auf (blaue Farbe). Werte von mehr als 50 sind über dem Hauptfriedhof südlich von Brakel zu beobachten.

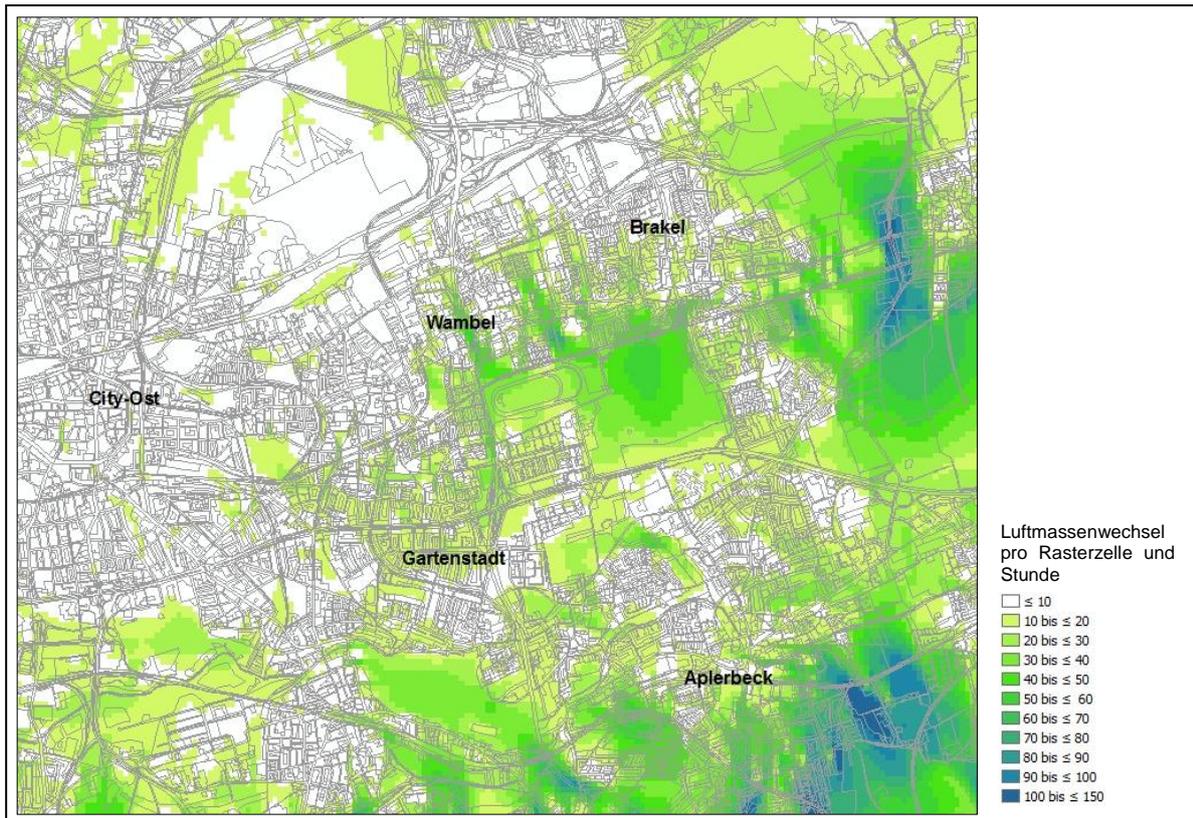


Abbildung 8-14: Luftaustauschrate zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens.

In den Siedlungsflächen geht die Luftaustauschrate aufgrund der abbremsenden Wirkung der Oberflächenstrukturen sowie der allmählichen Erwärmung der Kaltluft auf weniger als 10/Stunde zurück. Werte von mehr als 10 können über Grünflächen sowie Arealen mit einer Funktion als Kaltluftleitbahn auftreten.

8.4.7 Durchlüftung

Die Modellierung der mittleren Durchlüftungssituation bezieht sich im Gegensatz zu den übrigen Parametern auf eine durchschnittliche Wettersituation wie sie während einer austauschstarken „Normallage“ auftritt. Sie ist durch vorwiegend westliche Windrichtungen mit Strömungsgeschwindigkeiten von mehr als $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ geprägt, bei der keine nächtlichen Kaltluftströmungen entstehen.

Die Durchlüftung hat eine hohe Relevanz für die lufthygienische Situation, die im Wesentlichen über den Luftaustausch und damit über die Verdünnung der Luftschadstoffe beeinflusst wird. Aus den vorliegenden Ergebnissen lassen sich flächendeckende Hinweise auf mögliche Durchlüftungsdefizite in den Siedlungsflächen ableiten. Im Rahmen der Modellrechnungen wurde der geostrophische Wind bei Standardatmosphäre so angesetzt, dass sich in 10 m Höhe über Freiland etwa 3 m/s aus der Hauptwindrichtung WSW ergibt. Dabei wurden die Höhenschichten 5 m, 10 m, 15 m, 20 m und 30 m ausgewertet. Da mit zunehmender Höhe der Einfluss von Bebauung abnimmt, ist die Durchlüftung am ehesten im bodennahen Bereich eingeschränkt.

Die Situation in 10 m Höhe zeigt **Abb. 8-16** für den Beispielraum Dortmund. Dabei wird der Zusammenhang zwischen baulicher Dichte und Windgeschwindigkeit innerhalb der Stadtstrukturen sichtbar. Geringe Windgeschwindigkeiten von weniger als $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ sind in den dichteren Siedlungstypen anzutreffen, während innerhalb einer Einzel- und Reihenhausbebauung häufig mehr als $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ vorliegen.

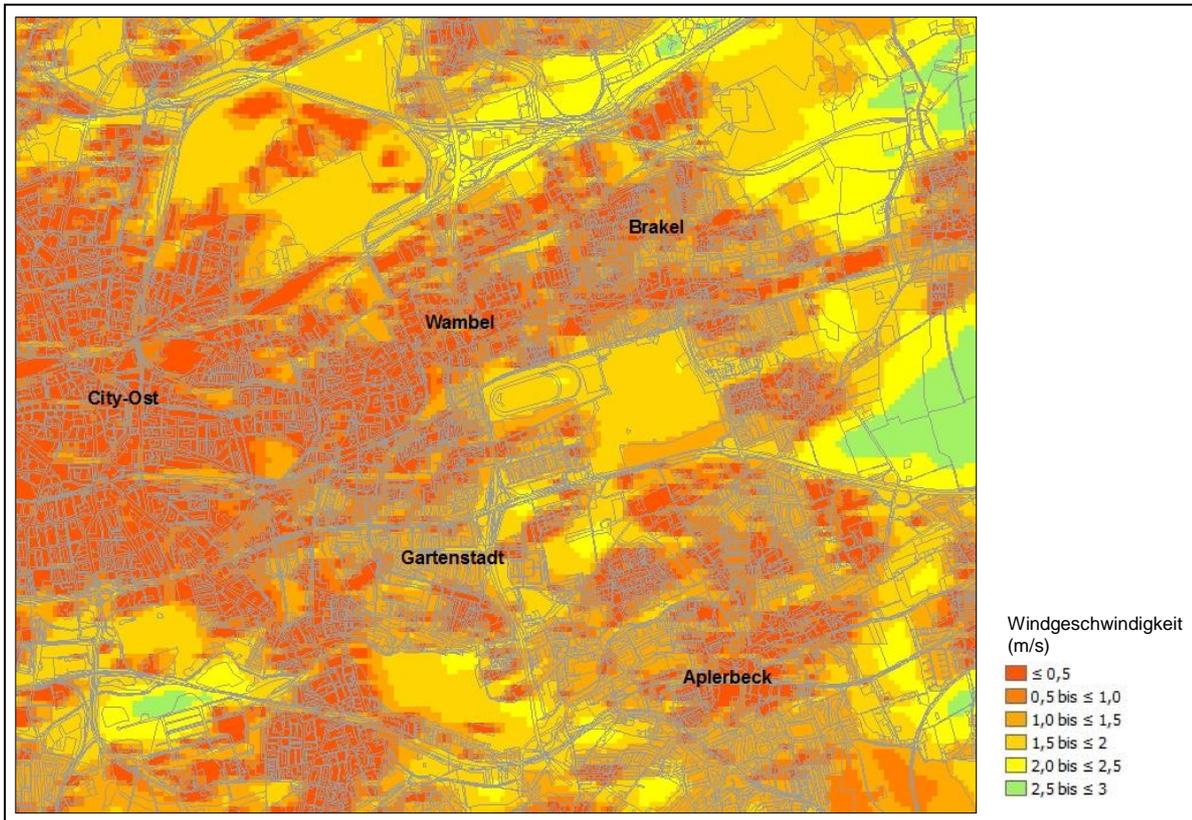


Abbildung 8-15: Durchlüftungssituation in 10 m über Grund (Hauptwindrichtung „Normallage“).

Dabei zeichnen sich auch die Bereiche ab, welche als Luftleit- und Ventilationsbahnen bei austauschstärkeren Wetterlagen angesprochen werden können. Über Grünflächen und Arealen mit geringer Strukturhöhe (z.B. Brachen oder Gleisanlagen) treten deutlich höhere Windgeschwindigkeiten von mehr als $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ auf (Hellgrün). Aus den vorliegenden Informationen ergibt sich somit ein umfassendes Bild der Durchlüftungssituation in den verschiedenen Stadtstrukturen des Verbandsgebietes.

9 Klimaökologische Funktionen

Neben der Klimaanalysekarte, in der eine klimatische Einordnung aller Nutzungsstrukturen dargestellt wird, stellt die Karte der klimaökologischen Funktionen eine weitere wichtige Grundlage für die Flächenbewertung dar. Im Unterschied zur Klimaanalysekarte liegt der Schwerpunkt der Darstellung in der Einstufung der klimaökologischen Funktionen der unbebauten Freiräume. Diese Einstufung basiert auf den Ergebnissen der FITNAH-Modellierung.

Die abgegrenzten klimatischen Funktionsräume sollen dabei die folgenden Hinweise liefern:

- Kaltluftliefervermögen der unbebauten Freiräume
- Beurteilung der bebauten Bereiche hinsichtlich ihrer bioklimatischen Belastungssituation
- Darstellung der Luftaustauschbeziehungen in der Region, differenziert in Luftleitbahnen, Frischluftzufuhrbereiche sowie reliefbedingten Kaltluftabflüssen und nutzungsbedingten Ausgleichsströmungen

In den nachfolgenden Abschnitten wird auf die konkreten Inhalte der Karte der klimaökologischen Funktionen eingegangen.

9.1 Siedlungsräume

In der Karte der klimaökologischen Funktionen werden die Siedlungsbereiche und Park- bzw. Grünanlagen hinsichtlich ihrer bioklimatischen Verhältnisse unter Berücksichtigung der Klimatopausweisung, die bereits in der regionalen Klimaanalysekarte vorgenommen wurde (s. **Kapitel 7**), in vier Beurteilungskriterien (sehr günstig bis sehr ungünstig) eingeteilt. Sehr ungünstige bioklimatische Verhältnisse ergeben sich demnach für die Gewerbe-/Industrieklimatope und die Innenstadtklimatope, während die als Stadtklimatope ausgewiesenen Flächen ungünstig und die Stadtrandklimatope als günstig einzustufen sind. Die innerstädtischen bzw. an die Siedlungen angrenzenden Park- und Grünanlagen werden als sehr günstig hinsichtlich der bioklimatischen Verhältnisse bewertet.

In einigen Bereichen ergibt sich eine (z.T. nur geringfügige) Aufwertung der Flächen durch den Einfluss von Kaltluftmassen, die bis in die Siedlungsräume vordringen. Diese Gebiete sind durch eine Punktsignatur „Einwirkungsbereich der Kaltluft in die Siedlungsräume“ gesondert hervorgehoben. Es handelt sich dabei um lokale Strömungssysteme mit einer Mindestströmungsgeschwindigkeit von 0,1m/s, die während windschwacher Strahlungswetterlagen auftreten und durch die Zufuhr von kühleren Luftmassen eine klimaökologische Ausgleichsleistung für die Lasträume bewirken können.

Bei zukünftigen Planungen der im Kaltluftereinflussbereich liegenden Flächen ist diese Funktion besonders zu berücksichtigen.

Die Reichweite der Kaltluftströmungen in die Bebauung hinein ist vom Ausmaß der Kaltluftdynamik abhängig und ist insbesondere in Gebieten mit großräumigen Kaltluftentstehungsgebieten und ausgeprägten Kaltluftabflüssen bzw. Flurwinden zu finden. Zusätzlich ist die angrenzende Bebauungsdichte entscheidend. Bei aufgelockerter Einzel- und Reihenhausbauung (in der Regel Stadtrandklima) ist diese vergleichsweise gering, bei innenstadtnaher Bebauung und in Gewerbegebieten in der Regel am stärksten ausgeprägt. Eine Sonderstellung nehmen einzelne Gewerbegebiete mit einer aufgelockerten Bebauung und einem hohen Anteil an Frei- bzw. Brachflächen ein, da diese eine günstigere Durchströmbarkeit aufweisen und zum Teil sogar als Kaltluftproduktionsflächen in Erscheinung treten können.

Die Eindringtiefe der Kaltluft in die Bebauung kann bei günstigen Bedingungen einige hundert Meter betragen. Sehr kleine Siedlungen, die in den ländlichen Regionen der Metropole Ruhr liegen, können vollständig durchströmt werden, so dass hier auch während sommerlicher Hochdruckwetterlagen eine Belüftung gewährleistet ist.

9.2 Grün- und Freiflächen

Die Grundlage zur Einstufung der Grün- und Freiflächen hinsichtlich ihres Kaltluftliefervermögens bilden die modellierten Ergebnisse zum Kaltluftvolumenstrom. Die Herangehensweise zur Bewertung der Kaltluftvolumenströme auf den Freiflächen basiert dabei auf den Absprachen und Festlegungen, die im Rahmen eines eintägigen Workshops beim Regionalverband Ruhr am 26.03.2013 getroffen wurden. Teilnehmer des Workshops waren Klimaexperten aus den Bereichen Klimaforschung (Universität Duisburg-Essen, Deutscher Wetterdienst und RVR), Landesverwaltungen (LANUV und MKULNV), Regionalplanung (RVR) und Ingenieurbüro (GEO-NET Hannover).

Im Rahmen des Workshops wurden zwei Möglichkeiten der Flächenbewertungen diskutiert:

1. Die auf Grundlage der Gebietsmittelwerte basierende Flächenbewertung nach VDI-Richtlinie 3785 Blatt 1 (VDI 2008)
2. Die Definition und Abgrenzung von Flächen anhand von Schwellenwerten

Vor dem Hintergrund der allgemeingültigen Anwendbarkeit der im Rahmen des vorliegenden Fachbeitrags entwickelten Methodik zur Flächenbewertung wurde entschieden, die Abgrenzung der Flächen anhand von Schwellenwerten vorzunehmen. Damit ist gewährleistet, dass

eine Vergleichbarkeit von Flächen über die Grenzen der Metropole Ruhr hinaus möglich ist und theoretisch eine landesweit einheitliche Bewertung klimaökologisch relevanter Flächen vorgenommen werden kann.

Als Schwellenwert wurde von der Expertengruppe ein Kaltluftvolumenstrom von mind. 1.000 m³/s als relevant eingestuft. Dieser Wert orientiert sich auch an dem in der Schriftenreihe des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau („Regionale Luftaustauschprozesse und ihre Bedeutung für die räumliche Planung“) von 1979 aufgeführten Werte.

Die weitere Unterteilung in die Bewertungsklassen „mittel“, „gering“ und „unbedeutend“ wurde vom RVR in Absprache mit dem Expertengremium vorgenommen.

Neben der Höhe des Kaltluftvolumenstroms ermöglicht die Darstellung von Flächen mit einer Mindestkaltluftproduktionsrate von 16m³/m²/h eine grobe Lokalisierung besonders klimarelevanter Räume. Aus diesem Grund sind Flächen mit einer hohen Kaltluftproduktionsrate durch eine Schraffur gesondert hervorgehoben

In Form von Pfeilsignaturen werden darüber hinaus – vergleichbar der regionalen Klimaanalysekarte – Aussagen zum Windfeld getroffen.

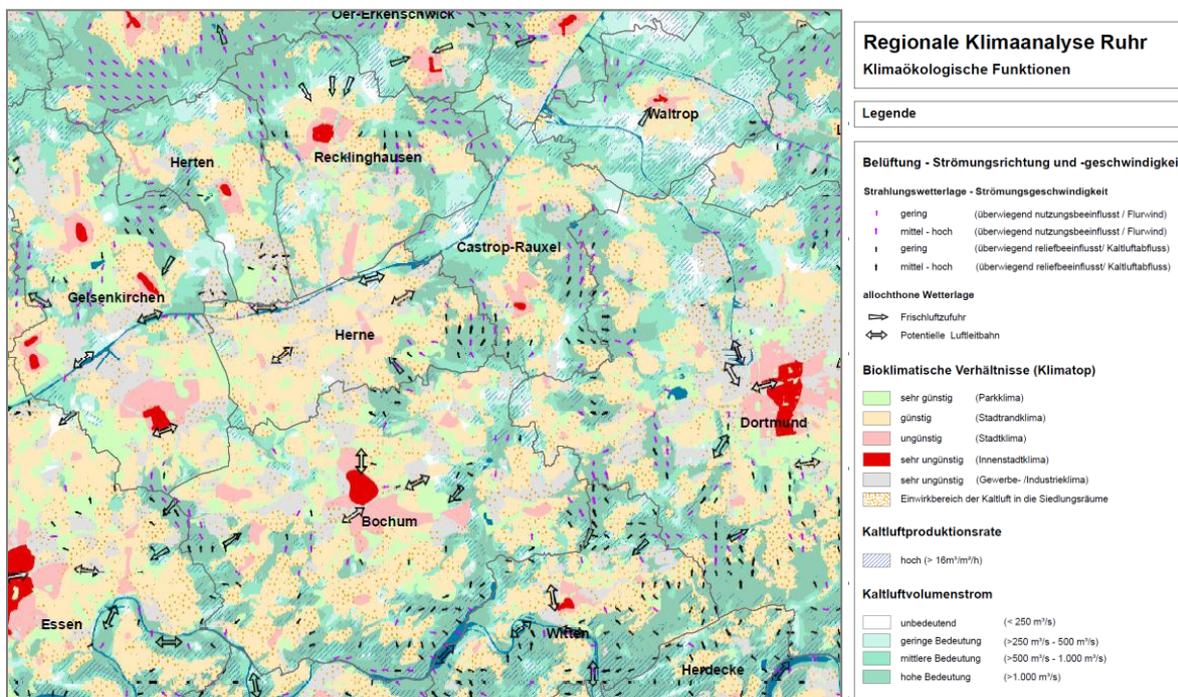


Abbildung 9-1: Ausschnitt aus der Karte der klimaökologischen Funktionen für die Metropole Ruhr.

10 Problemgebiete – Gebiete mit erhöhtem Anpassungsbedarf

Auf der Grundlage umfangreicher Methoden wurde die Ist-Situation der klimatischen Verhältnisse in der Region anhand der Klimaanalysekarte (s. **Kapitel 7**) und der FITNAH-Modellierung (s. **Kapitel 8**) dargestellt. Dabei wurde festgestellt, dass die städtische Überwärmung und damit die potentielle Hitzebelastung in den dicht bebauten Stadtquartieren am größten ist. Diese Gebiete sind räumlich identisch mit den Innenstadt- und den Stadtklimatopen. Der vorrangige Handlungsbedarf sollte daher dahingehend ausgerichtet sein, diese Wärmeinselsektoren klimatisch aufzuwerten und Überwärmungen abzubauen. Auf regionaler Ebene sind dazu als Instrumente geeignet:

- der Schutz belüftungsrelevanter und kaltluftproduzierender Flächen
- das Freihalten von Flächen als Regenerationsräume

Maßnahmen, die zur kleinräumigen Verbesserung der Situation beitragen (z.B. kleinräumige Begrünungsmaßnahmen), sind auf kommunaler Ebene umzusetzen.

In Zukunft wird auf Flächen, die heute aus klimatischer Sicht als noch moderat bis günstig einzustufen sind (Stadtrandklimatope), eine Häufung von Hitzephasen auftreten. Diese Einschätzung basiert auf der Tatsache, dass die mittleren Temperaturdifferenzen zwischen den heutigen Wärmeinselsektoren (Innenstadt- / Stadtklimatopen) und den Stadtrandklimatopen maximal 2 K betragen, der zukünftig zu erwartenden mittlere Temperaturanstieg aber über 2 K [s. hierzu auch KUTTLER et al. 2013]. Eine vergleichbare Herangehensweise zur Ausweisung von gegenwärtigen und zukünftigen Problemgebieten haben Kuttler et al. (2013) für die Stadt Oberhausen gewählt.

Auf das Gebiet der Metropole Ruhr bezogen sind in erster Linie die in der Kernzone der Metropole Ruhr (Abgrenzung: RVR) liegenden Stadtrandsiedlungen aufgrund ihres großflächigen Zusammenhangs und der damit verbundenen erhöhten Wärmebelastung sowie der allgemein ungünstigen Austauschbedingungen als zukünftige Problemgebiete einzustufen. Die Darstellung der Problemgebiete gegenwärtig und zukünftig wird für die spätere Freiflächenbewertung in **Kapitel 11** herangezogen.

Problemgebiete – Gebiete mit erhöhtem Anpassungsbedarf

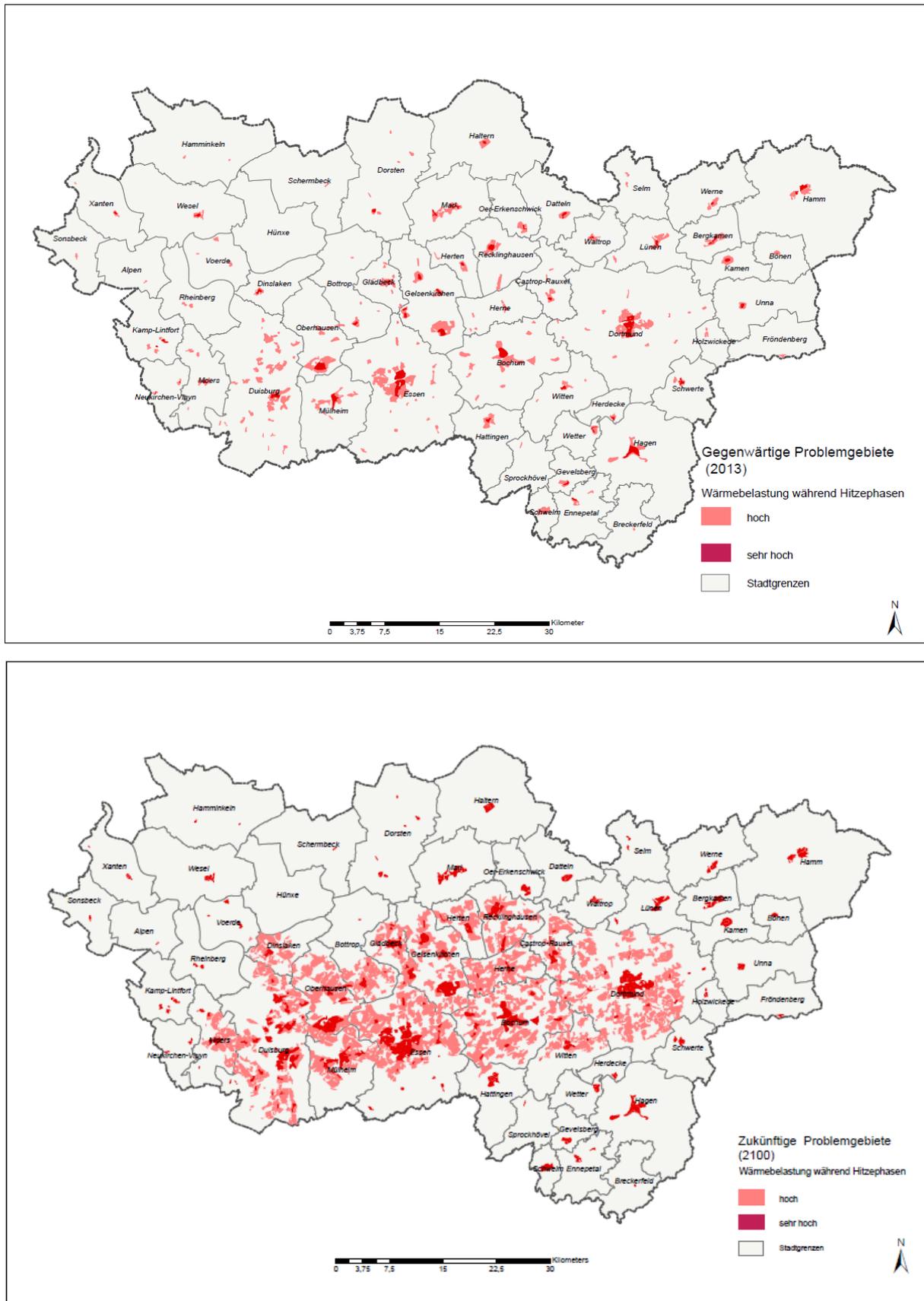


Abbildung 10-1: Gegenwärtige (2013) und zukünftige Problemgebiete (2100) in der Metro-pole Ruhr.

11 Grün- und Freiflächenbewertung aus klimaökologischer Sicht

Auf der Basis der Regionalen Klimaanalysekarte sowie der Ergebnisse der FITNAH-Modellierung wird im Folgenden eine Flächenbewertung aus bioklimatischer Sicht für das Gebiet der Metropole Ruhr abgeleitet und in Textform Handlungsempfehlungen für die unterschiedlichen Flächenkategorien gegeben.

11.1 Methodik der Flächenbewertung

Voraussetzung für eine Bewertung der klimaökologischen Bedeutung von Freiflächen ist eine Analyse der Wirkungszusammenhänge zwischen den Lasträumen und den angrenzenden Ausgleichsräumen. Kühle Luftmassen, die sich in den unbebauten Freilandbereichen während einer Strahlungsnacht bilden, sind nur dann von Belang, wenn ihnen ein entsprechender Siedlungsraum zugeordnet werden kann, der von der ausgleichenden Wirkung profitiert [GEO-NET 2009].

Zur Bewertung der an die Siedlungen angrenzenden Freilandflächen wurde ein teilautomatisiertes Bewertungsverfahren in Anlehnung an GEO-NET (2009 für die Metropolregion Rhein-Neckar) entwickelt.

Dabei wurde eine Flächenbewertung unter Berücksichtigung der im vorangegangenen Kapitel definierten gegenwärtigen und zukünftigen Problemgebiete und der daran angrenzenden unbebauten Flächen vorgenommen. Betrachtet und bewertet wurden dabei die an die Problemgebiete angrenzenden Kaltlufteinzugsgebiete. *„Kaltlufteinzugsgebiete sind das Ergebnis einer Reliefanalyse, bei der nach dem Wasserscheidenprinzip eine Berechnung der Abflussbahnen mit ihren Abflussrichtungen durchgeführt wurde (nach KING 1973). Als Abflussbahnen können vor allem Tiefenlinien wie z. B. Fließgewässer dienen, in denen sich die Kaltluftströmungen kanalisieren. Aus der gegenseitigen Abgrenzung ergeben sich Areale gleichsinnig auf eine Abflussbahn gerichteter Neigung, aus denen die auf Freiflächen produzierte Kaltluft abfließen kann. Die gemeinsame Darstellung von Freiräumen und Einzugsgebieten erlaubt es, die administrativ oder nutzungsbedingt abgegrenzten Flächen in einen übergeordneten topographischen Kontext zusammengehöriger Areale einzuordnen“* [Definition und Berechnung durch GEO-NET 2013].

Bezogen auf die Siedlungen mit gegenwärtigen Problemgebieten (Innenstadt- und Stadtklimatopen) wurden sowohl die direkt angrenzenden als auch die wiederum daran angrenzenden Kaltlufteinzugsgebiete bewertet. Für die Bewertung der an die zukünftigen Problemge-

biere angrenzenden Freiflächen wurden nur die unmittelbar an die Siedlungsräume angrenzenden Kaltlufteinzugsgebiete herangezogen.

Im Einzelnen wurde ein mehrstufiges Bewertungsverfahren entwickelt, bei dem wie folgt vorgegangen wurde:

Schritt 1:

Die Siedlungsflächen wurden im ersten Schritt auf der Grundlage der Klimatope in der Klimaanalysekarte als Lasträume ausgewiesen, so dass für diese Bereiche eine Bewertung aus klimaökologischer Sicht entfiel.

Schritte 2 bis 4:

Drei Arten von Flächen wurden grundsätzlich mit einer **sehr hohen klimaökologischen Bedeutung** belegt:

- Flächen im Bereich von Luftleitbahnen (Schritt 2)
- Innerstädtische Grünanlagen (Schritt 3)
- Kaltlufteinzugsgebiete, die an innerstädtische Wärmeinseln angrenzen (Schritt 4)

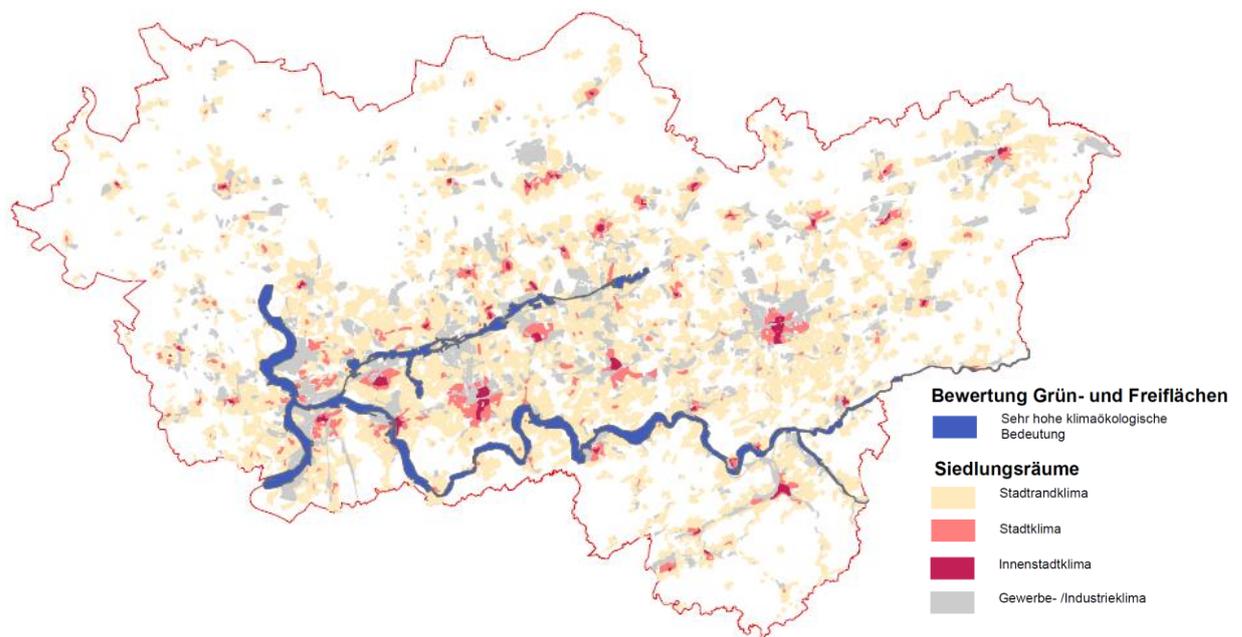


Abbildung 11-1: Luftleitbahnen mit der Bewertung „sehr hohe klimaökologischen Bedeutung“.

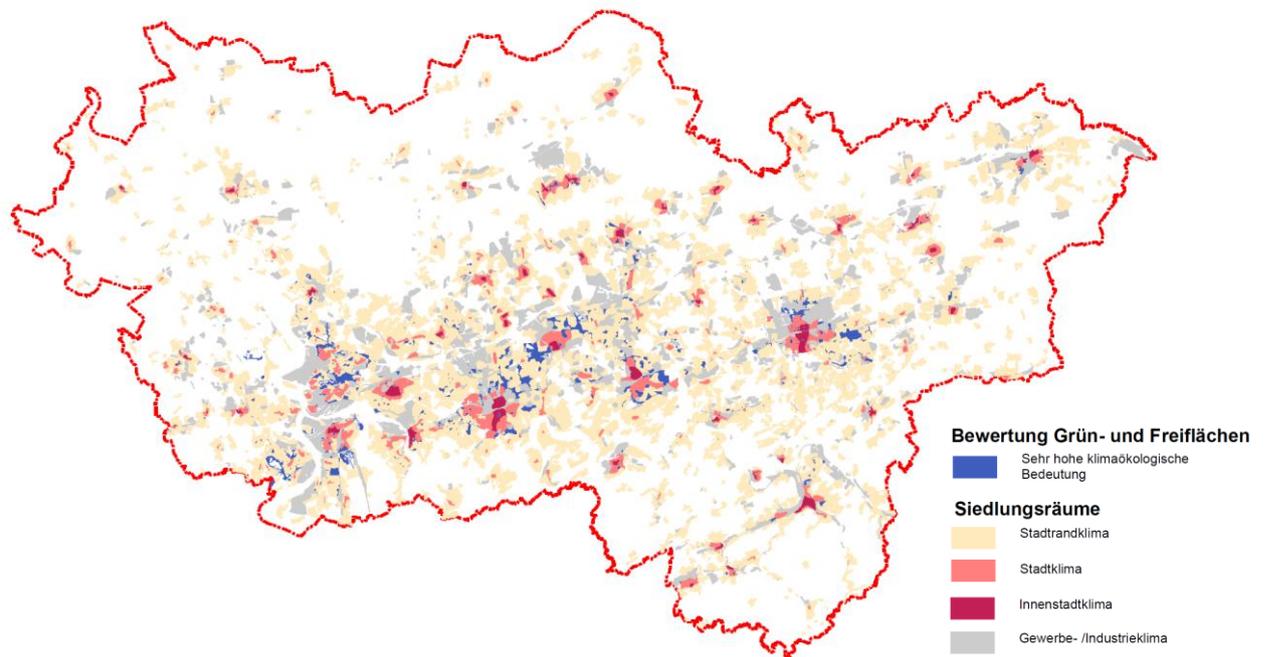


Abbildung 11-2: Innerstädtische Park- und Grünanlagen, die keinen Zusammenhang zum Freiland haben mit der Bewertung „sehr hohe klimaökologische Bedeutung“ (Schritt 3).

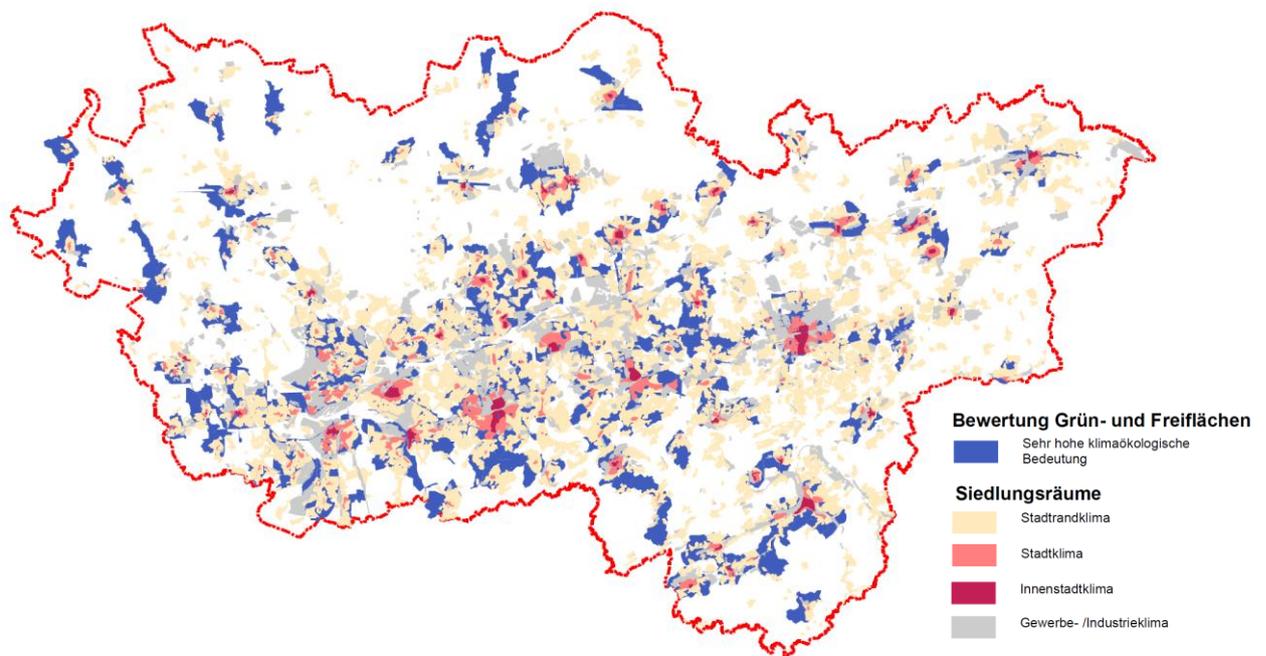


Abbildung 11-3: direkt an Innenstadt- und Stadtklimatope angrenzende Kaltlufteinzugsgebiete mit der Bewertung „sehr hohe klimaökologische Bedeutung“ (Schritt 4).

Erläuterung:

Luftleitbahnen sind geeignet, frische und kühle Luftmassen in die Lasträume zu transportieren. Aus diesem Grund wurden Freiflächen im Bereich von Luftleitbahnen grundsätzlich mit einer sehr hohen Bedeutung belegt. Zur Identifizierung der Luftleitbahnen war eine manuelle Abgrenzung erforderlich, da eine räumliche Analyse im GIS nicht möglich war (**Schritt 2**).

Den innerstädtischen Park- und Grünanlagen ohne Bezug zum Freiland wurde grundsätzlich eine sehr hohe Bedeutung zugewiesen (**Schritt 3**). Grund ist die lokale Ausgleichswirkung auch kleiner Grünflächen innerhalb der Belastungsräume und die Möglichkeit, im Nahfeld von Wohnungen Entlastung zu erfahren.

Das Bewertungsverfahren zur Beurteilung der bioklimatischen Bedeutung der an die Siedlungen angrenzenden Freiflächen stützt sich überwiegend auf ihr Kaltluftliefervermögen und damit ihre Ausgleichswirkung. Dieser Parameter ist allerdings nicht überall gleichmäßig aussagekräftig [s. auch GEO-NET 2009]. So kann beispielsweise ein geringes Kaltluftliefervermögen insbesondere dort von großer Bedeutung sein, wo ein unmittelbarer Bezug zu hoch belasteten Siedlungsräumen (Innenstadt- und Stadtklimatope) besteht. Aus diesem Grund wurden Kaltlufteinzugsgebiete, die unmittelbar an Innenstadt- und Stadtklimatope (Wärmeinseln) angrenzen, unabhängig von ihrem Kaltluftvolumenstrom grundsätzlich mit einer sehr hohen bioklimatischen Bedeutung belegt (**Schritt 4**).

Schritt 5:

Im nächsten Schritt wurden alle Kaltlufteinzugsgebiete, die an zusammenhängende Siedlungen mit Innenstadt- und Stadtklimatopen angrenzen (**Kaltlufteinzugsgebiete Kategorie 1**, s. Ablaufschema in Abbildung 11-8), nach der unten aufgeführten Bewertungsmatrix beurteilt.

Bewertungsmatrix

Sehr hohe bioklimatische Bedeutung (Bewertung: 1)

- a) $KVS^1 > 1.000 \text{ m}^3/\text{s}$
- b) $KVS > 500 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $\leq 1.000 \text{ m}^3/\text{s}$ und hohe $KLR^2 (\geq 16 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h})$

Hohe bioklimatische Bedeutung (Bewertung: 2)

- c) $KVS \geq 500 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $< 1.000 \text{ m}^3/\text{s}$ und $KLR < 16 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$
- d) $KVS < 500 \text{ m}^3/\text{s}$ und hohe $KLR (\geq 16 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h})$

¹Kaltluftvolumenstrom

² Kaltluftproduktionsrate

mittlere bioklimatische Bedeutung (Bewertung: 3)

alle übrigen Flächen

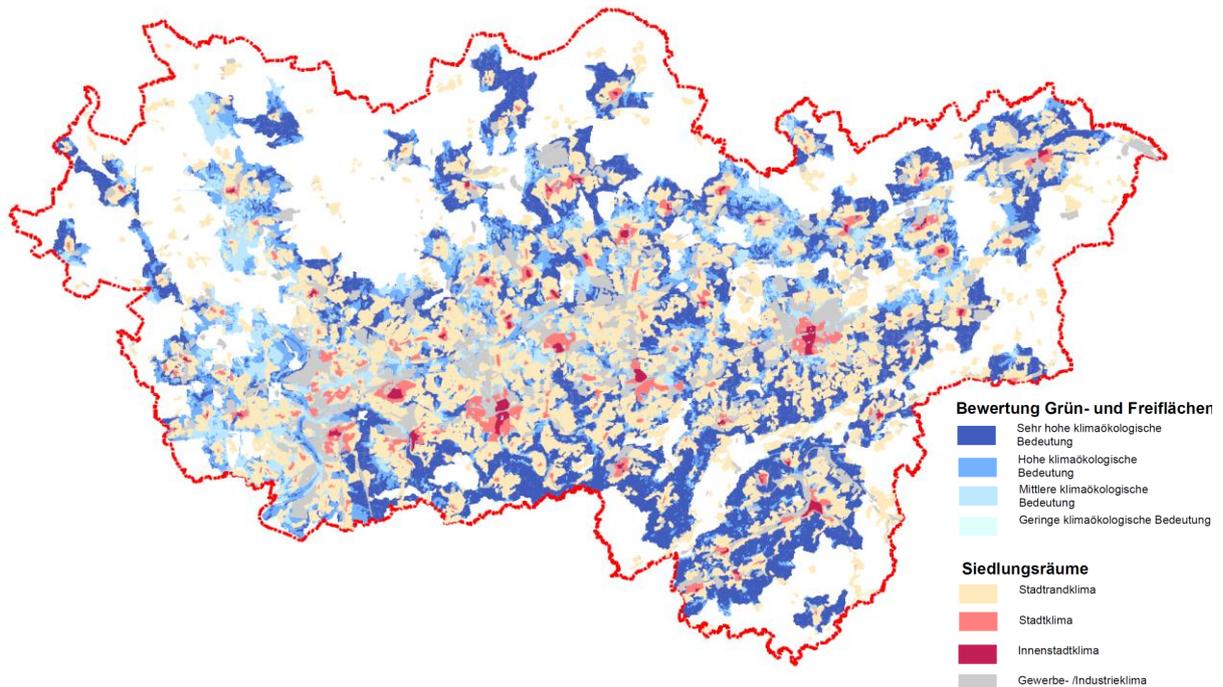


Abbildung 11-4: Bewertung von Kaltlufteinzugsgebieten, die an zusammenhängende Siedlungen mit Innenstadt- und/oder Stadtklima angrenzen.

Für die Bewertung der Freiflächen war neben dem Kaltluftvolumenstrom die Höhe der Kaltluftproduktion von Bedeutung. So wurden Flächen mit einem mittleren Kaltluftvolumenstrom aufgewertet, wenn sie eine hohe Kaltluftproduktionsrate aufwiesen.

Schritt 6:

Im nächsten Schritt wurden die an die bereits im Schritt 5 beurteilten Flächen angrenzenden Kaltlufteinzugsgebiete (**Kaltlufteinzugsgebiete Kategorie 2**, s. Ablaufschema in Abbildung 11-8), bewertet. Aufgrund der größeren Entfernung zu den heutigen Lasträumen haben sie eine geringere Bedeutung als die direkt an die Siedlungen angrenzenden Einzugsgebiete, so dass ihre Bewertung zum Teil eine Stufe herabgesetzt wurde (mit Ausnahme der Luftleitbahnen).

Bewertungsmatrix

Hohe bioklimatische Bedeutung (Bewertung: 2)

- KVS > 1.000 m³/s
- KVS > 500 m³/s bis ≤ 1.000 m³/s und hohe KLR (≥ 16m³/m²/h)

mittlere bioklimatische Bedeutung (Bewertung: 3)

c) $KVS \geq 500 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $< 1.000 \text{ m}^3/\text{s}$ und $KLR < 16 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$

d) $KVS < 500 \text{ m}^3/\text{s}$ und hohe $KLR (\geq 16 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h})$

geringe bioklimatische Bedeutung (Bewertung: 4)

alle übrigen Flächen

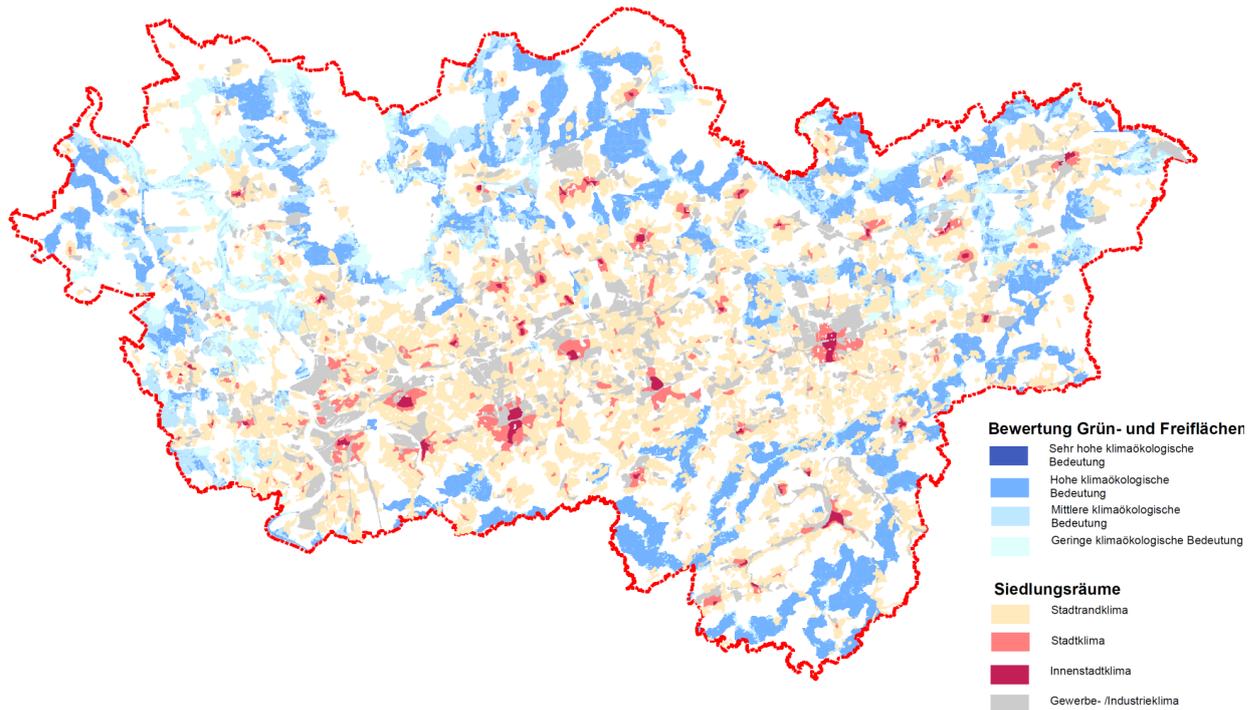


Abbildung 11-5: Bewertung der Kaltlufteinzugsgebiete, die an die bereits unter Schritt 5 bewerteten Flächen angrenzen.

Schritt 7:

Im siebten Schritt wurden alle innerhalb der Kernzone sowie innerhalb des Übergangsbereiches liegenden Siedlungen, die klimatisch dem Stadttrandklima zugeordnet wurden und keinen räumlichen Bezug zu Innenstadt- und Stadtklimatopen aufweisen, herangezogen und ihre direkt angrenzenden Kaltlufteinzugsgebiete (**Kaltlufteinzugsgebiete Kategorie 3**, s. Ablaufschema in **Abbildung 11-8**) bewertet.

Bewertungsmatrix

mittlere bioklimatische Bedeutung (Bewertung: 3)

a) $KVS > 1.000 \text{ m}^3/\text{s}$

b) $KVS > 500 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $\leq 1.000 \text{ m}^3/\text{s}$ und hohe $KLR (\geq 16 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h})$

geringe bioklimatische Bedeutung (Bewertung: 4)
alle übrigen Flächen

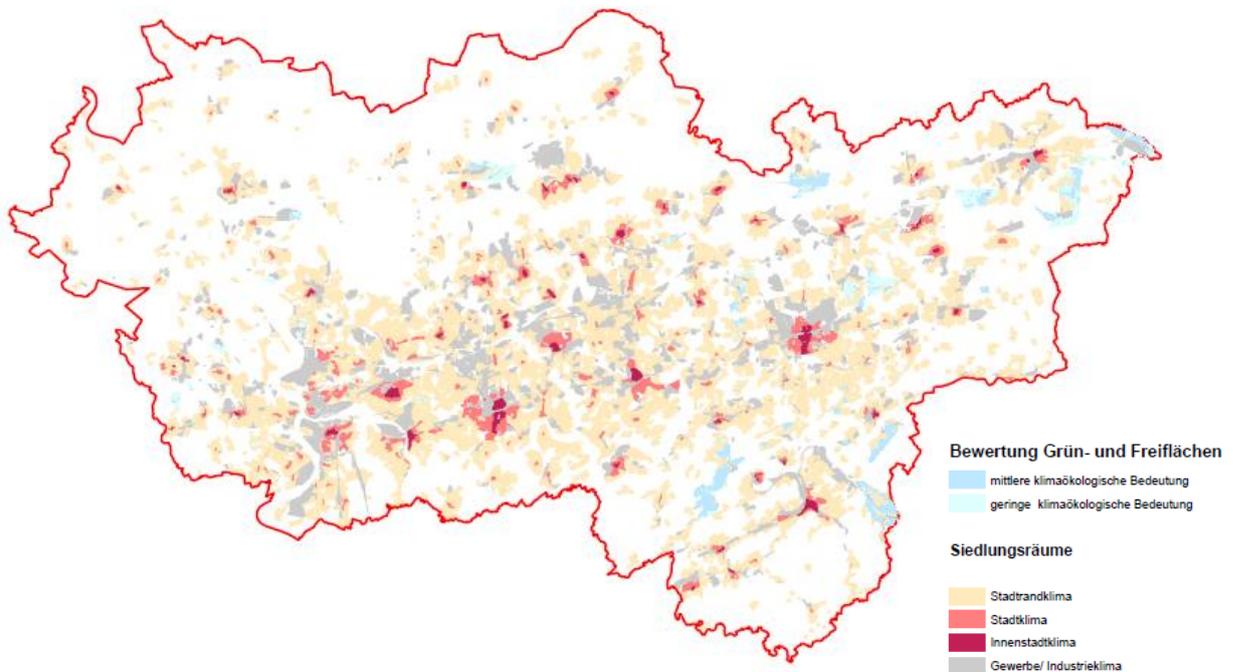


Abbildung 11-6: Bewertung aller Einzugsgebiete, die an Siedlungen des Typs „Stadtrandklima“ innerhalb der Kernzone und der Übergangszone der Metropole Ruhr angrenzen und in den vorangegangenen Schritten noch nicht betrachtet wurden.

Schritt 8:

Im letzten Schritt wurden Flächen ausgewiesen, denen erst in Zukunft eine höhere Relevanz beizumessen ist. Dabei handelt es sich um die unmittelbar an die Stadtrandklimatope (= zukünftige Problemgebiete, vgl. **Kapitel 10**) angrenzenden Kaltlufteinzugsgebiete innerhalb des Kernbereichs der Metropole Ruhr (**Kaltlufteinzugsgebiete Kategorie 4**). Diese Freiflächen sind zukünftig grundsätzlich als Ausgleichsräume mit sehr hoher Bedeutung zu werten. Zur Identifizierung dieser Flächen wurde eine dunkelblaue Schraffur gewählt.

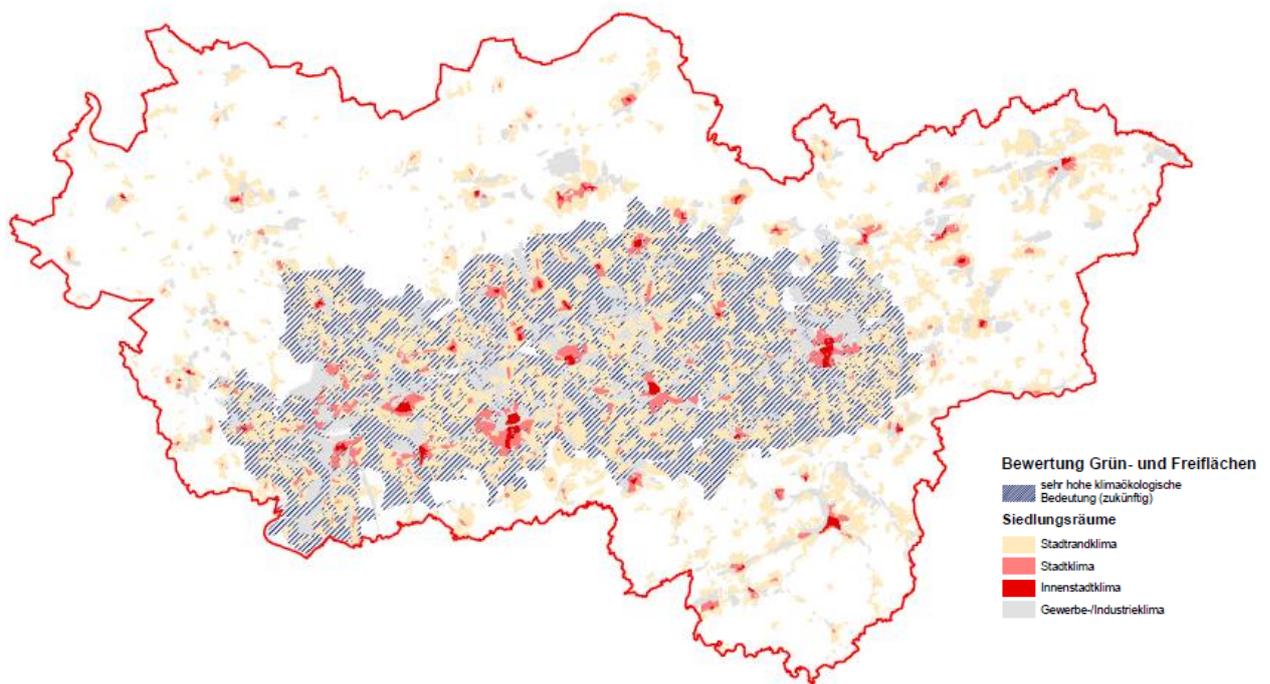


Abbildung 11-7: Bewertung der Kaltlufteinzugsgebiete mit zukünftig höherer Relevanz.

Eine Zusammenfassung über die einzelnen Verfahrensschritte zur Ableitung der Flächenbewertung ergibt sich aus **Abbildung 11-8**.

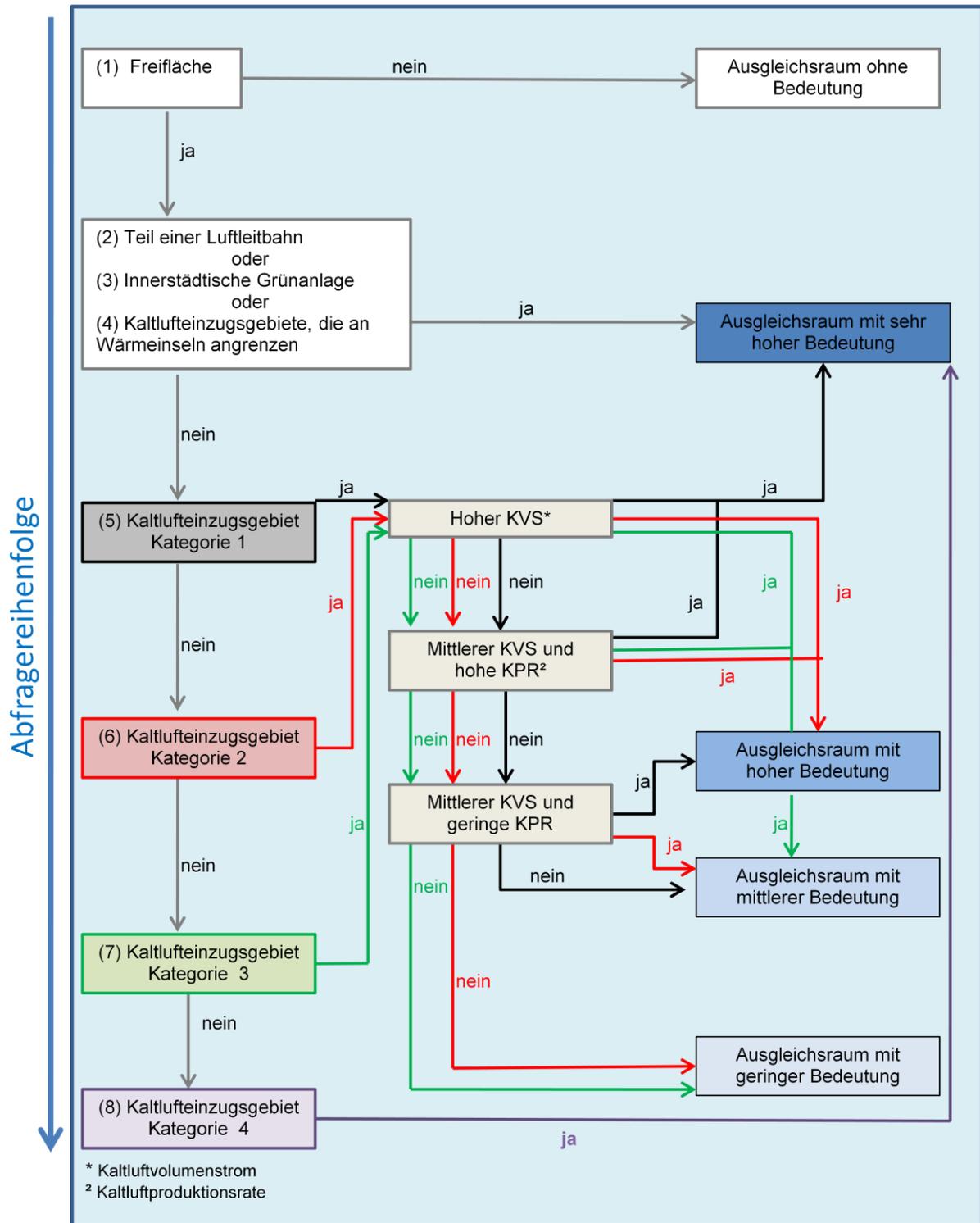


Abbildung 11-8: Ablaufdiagramm zur Flächenbewertung aus klimaökologischer Sicht.

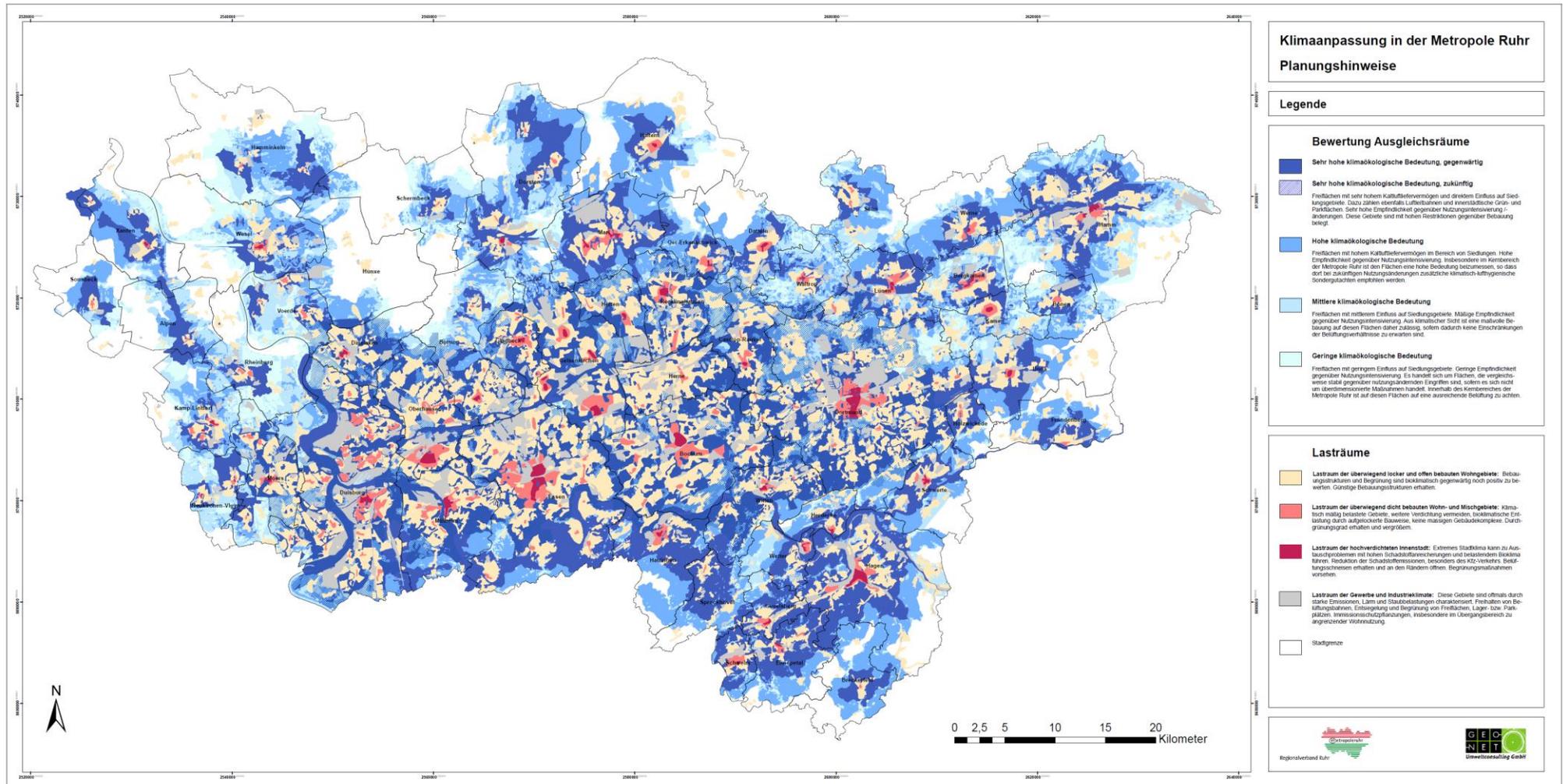


Abbildung 11-9: Planungshinweiskarte für die Metropole Ruhr.

11.2 Qualität und Grenzen der Darstellungen

Abgrenzung der Klimatope

Die Klimatope resultieren aus zahlreichen Klimauntersuchungen sowie der Auswertung von Luftbildern und der Flächennutzungskartierung des RVR.

Bei der Auswertung und Interpretation der Klimatopabgrenzungen ist zu berücksichtigen, dass fließende Übergänge zwischen den Klimatopen bestehen, die kartographisch schwer darstellbar sind. Aus diesem Grund dürfen die Abgrenzungen der Klimatope in den Kartendarstellungen nicht als flächenscharfe Grenzziehungen aufgefasst werden.

Darstellung der Belüftungsverhältnisse (FITNAH-Ergebnisse)

Die Überlagerung von Flurwindssystemen und Kaltluftabflüssen im Ballungsraum der Metropole Ruhr ist für die Ausbildung von Strömungssystemen, die den Siedlungsbereich mit Frischluft aus dem Umland versorgen, von großer Bedeutung.

Aufgrund des in weiten Bereichen der Region nur sanft geneigten Reliefs kann jedoch oftmals keiner der beiden meteorologischen Prozesse als dominierend bezeichnet werden. Daher ist die Verwendung eines Simulationsmodells, das beide Phänomene parallel berechnet, sinnvoll.

Mit dem Modell FITNAH steht ein Modell zur Verfügung, das diese Anforderung erfüllt.

FITNAH berechnet die Produktion von Kaltluft über den Freiflächen mit Hilfe der Energiebilanz am Erdboden und die sukzessive Abkühlung der darüber liegenden Luft.

Die Ergebnisse der Modellsimulationen gelten zunächst einmal nur für die angenommenen Bedingungen. Wie weit sie verallgemeinerbar sind, ist in jedem Einzelfall zu prüfen. In der vorliegenden Untersuchung wurde das Strömungsfeld für die beiden häufigsten Witterungsbedingungen untersucht:

- Windschwache Strahlungswetterlage
- Normallage mit WSW-Anströmrichtung

Bei der Interpretation der modellierten Ergebnisse ist ferner zu bedenken, dass Modellrechnungen gegenüber den in der Realität ablaufenden Vorgängen stets vereinfachend sind. So können sich z.B. lokale Besonderheiten, die im Modell nicht erfasst werden, auch nicht in den Ergebnissen widerspiegeln.

Aus diesem Grund müssen die Modellergebnisse auf ihre Plausibilität hin überprüft werden. Dies geschieht am besten, indem sie mit Messergebnissen abgeglichen werden. Im Fall der vorliegenden Untersuchung ist dies anhand zahlreicher durch den RVR erhobenen Messdaten geschehen.

Weiterhin ist zu beachten, dass für die Modellierung der regionalen Belüftungsverhältnisse in der Metropole Ruhr die Bebauung nicht in Einzelgebäuden aufgelöst wurde. Das bedeutet, dass für jede Gitterzelle (50 m x 50 m) eine mittlere Durchlässigkeit (Porosität) angenommen wurde. Vor allem bei der Interpretation des Einwirkbereichs der Kaltluft in die Siedlungsräume ist diese Vorgehensweise zu berücksichtigen. Vielfach ist durch diese generalisierte und grobe Betrachtung von einer Überschätzung der Eindringtiefe der Kaltluft in die Bebauung hinein auszugehen.

Insbesondere bei einer kleinräumigen Betrachtung der Ergebnisse, z.B. auf der Ebene der Bebauungsplanung, sind daher weitergehende Untersuchungen heranzuziehen bzw. die im Modell ermittelten Ergebnisse mit Hilfe kleinräumiger Simulationsmodelle zu prüfen und ggf. zu ersetzen.

Die für die regionale Ebene modellierten Daten (Maßstab 1: 50.000) können vielfach nur Anhaltspunkte liefern und sind in jedem Fall kritisch zu hinterfragen. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, bei der Bewertung von Einzelflächen neben den Modellergebnissen auf die Vielzahl der in der vorliegenden Untersuchung aufgeführten Aussagen zurückzugreifen, um sich ein Gesamtbild über die klimatischen Verhältnisse zu verschaffen. In einigen Fällen jedoch wird es nötig sein, tiefergehende Aussagen durch geeignete Messungen und mikroskalige Untersuchungen zu treffen, um Einzelflächen detailliert bewerten zu können.

Beurteilung des Bewertungsverfahrens für Grün- und Freiflächen

Die Freiflächen wurden im Rahmen des vorliegenden Gutachtens u.a. anhand der modellierten Kriterien Kaltluftvolumenstrom und Kaltluftproduktionsrate bewertet (s. **Kapitel 11**). Als Bezugsflächen wurden dabei die durch eine GIS-Analyse identifizierten Kaltlufteinzugsgebiete, die direkt an die Siedlungsräume angrenzen, gewählt.

Dies ist insofern als kritisch zu bewerten, als dass vor allem in den ländlich geprägten Kommunen ein geringerer Bedarf an Ausgleichsflächen besteht als in den großen Städten der Region, jedoch in allen Kommunen die Einzugsgebiete gleichermaßen betrachtet und bewertet wurden.

Der Grund für die unterschiedliche Bedeutung der Kaltlufteinzugsgebiete ist, dass sich in den kleinen, ländlich geprägten Kommunen geringere stadtklimatologische Probleme auf vergleichsweise kleinen Innenstadtbereichen konzentrieren und daher auch weniger Frischluftzufuhr zur Kompensation der Belastungssituation erforderlich ist.

Da es sich bei der Interpretation der Darstellung um ein (teil-) automatisiertes Bewertungsverfahren handelt, war jedoch eine detailliertere Betrachtungsweise der ländlich geprägten Regionen nicht möglich. Die Flächenbewertung v.a. in den ländlichen Bereichen ist daher im Einzelfall kritisch zu prüfen.

12 Regionale Planungshinweise

Auf der Basis der regionalen Klimaanalysekarte sowie der Ergebnisse der FITNAH-Modellierung wurde im vorangegangenen Kapitel eine Flächenbewertung aus bioklimatischer Sicht für das Gebiet der Metropole Ruhr abgeleitet. Im folgenden Kapitel werden Handlungsempfehlungen für die unterschiedlichen Flächenkategorien gegeben. Sie leiten sich aus der Analyse der klimatischen Situation in der Region ab mit dem Ziel der Stabilisierung positiver und der Aufhebung negativer Raumstrukturen. Dabei gilt zu berücksichtigen, dass nur der Umweltaspekt Klima herangezogen wurde, um die Planungsempfehlungen abzuleiten. Eine Abwägung mit anderen ökologischen oder der Raumentwicklung dienenden Vorgaben ist nicht erfolgt und wäre bei allen Vorhaben zusätzlich zu berücksichtigen.

Das Ziel der auf die Flächenkategorien bezogenen allgemeinen Planungsempfehlungen ist die Schaffung einer klimatisch-lufthygienischen Situation, die nicht zu extremen Belastungen führt bzw. solche abbaut. Die Empfehlungen bilden eine wichtige Basis für die Anpassung der Region an den Klimawandel, dessen Auswirkungen in **Kapitel 5** ausführlich erläutert wurden.

Auf der Karte der Planungshinweise sind Siedlungsräume hinsichtlich ihrer bioklimatischen Belastungssituation als Lasträume ausgewiesen. Die Freiflächen sind in Abhängigkeit ihrer klimaökologischen Funktion für die mit ihnen in Zusammenhang stehenden Siedlungsräume bewertet. Für die verschiedenen Raumtypen werden im Folgenden Hinweise zur Ausgestaltung gegeben, die zum Ziel haben, die klimatische und lufthygienische Situation zu verbessern und günstige Bedingungen zu schützen und zu erhalten. Die Hinweise geben dabei Auskunft über die Empfindlichkeit von Freiflächen gegenüber Nutzungsänderungen. Da es sich um ein überwiegend automatisiertes Verfahren zur Flächenbewertung handelt und somit aufgrund der Größe des Untersuchungsgebietes spezifische Wirkungsraum-Ausgleichsraum-Systeme nicht im Detail untersucht werden konnten, sollten zur umfassenderen Einschätzung von Freiflächen zusätzlich alle vorliegenden Untersuchungsergebnisse zu den unterschiedlichen Einzelparametern, die im vorliegenden Fachbeitrag beschrieben sind, zu Rate gezogen werden. Die Planungshinweiskarte stellt den Versuch dar, anhand einer einheitlichen Bewertungsmethode eine grobe Einschätzung der Bedeutung und Empfindlichkeit von Freiflächen vorzunehmen.

12.1 Planungshinweise für die Ausgleichsräume (Grün- und Freiflächen)

Zahlreiche Flächen in der Metropole Ruhr erfüllen aufgrund ihrer Ausstattung und Größe eine Ausgleichsfunktion zu klimatischen bzw. lufthygienischen Belastungen in den Siedlungsräumen, hierzu zählen insbesondere größere Grün- und Freiflächen.

Im Einzelnen sind folgende positive Eigenschaften dieser Flächen hervorzuheben:

- geringer Emissionsanteil und die Fähigkeit, Luftschadstoffe zu filtern, woraus eine Absenkung der Immissionsbelastungen resultieren kann
- geringe Oberflächenrauigkeit, die zu einer Verbesserung der Belüftungssituation beiträgt
- Produktion von Frischluft durch starke verdunstungsbedingte Abkühlungen an warmen und heißen Tagen im Sommer

Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, werden die Frei- und Grünflächen in Abhängigkeit von ihrer klimaökologischen Bedeutung für die angrenzenden Siedlungsräume in vier Klassen mit unterschiedlicher Bewertung eingeteilt (von Flächen mit sehr hoher bis Flächen mit geringer klimaökologischer Bedeutung). Als Flächenabgrenzung werden dabei die durch GIS-Analyse ermittelten Kaltlufteinzugsgebiete herangezogen. Neben der Bewertung der gegenwärtig relevanten Räume wird eine Beurteilung der in Zukunft an Bedeutung gewinnenden Ausgleichsräume vorgenommen (Darstellung als Schraffur) (Bewertungsverfahren s. **Kapitel 11**).

Stufe 1 – Ausgleichsraum mit sehr hoher Bedeutung

Hierbei handelt es sich um klimaaktive Flächen mit direktem Bezug zum hoch belasteten Siedlungsraum (differenziert in gegenwärtige und zukünftige Problemgebiete), innerstädtische Park- und Grünanlagen und Luftleitbahnen mit wichtiger Funktion für die angrenzenden Siedlungsräume. Diese Gruppe umfasst weiterhin unbebaute Flächen, die direkt an die Wärmeinselbereiche innerhalb der Metropole Ruhr angrenzen. Insgesamt handelt es sich um Flächen, die aus klimatischen und lufthygienischen Gründen für den Ballungsraum von großer Wichtigkeit sind. Daher sind diese Gebiete mit hohen Restriktionen gegenüber Bebauung belegt.

Alle Ausgleichsräume mit sehr hoher Bedeutung sind mit einer hohen Empfindlichkeit gegenüber nutzungsverändernden Eingriffen bewertet. Dies bedeutet, dass eine Bebauung und Versiegelung dieser Flächen zu einer erheblichen Funktionseinschränkung und Beeinträchtigung

gungen führen kann. Auch Maßnahmen, die den Luftaustausch einschränken können (dazu zählen u.a. dichte und hohe Anpflanzungen, z.B. Wälder) sind insbesondere im Bereich der Luftleitbahnen oder in Gebieten, die zur Belüftung beitragen (z.B. Frischluftzufuhrbereiche, Kaltluftabflüsse und Flurwinde) zu vermeiden. Sollten in diesen Gebieten Nutzungsänderungen geplant werden, ist es ratsam, diese Flächen aus klimatischer (und lufthygienischer) Sicht detaillierter in Sondergutachten zu bewerten.

Als Puffer- und Regenerationsräume erfüllen Waldflächen und dichte Anpflanzungen dagegen in vielen Bereichen auch eine wichtige Funktion und sind daher zu erhalten. Insbesondere dort, wo hoch belastete Areale an sensible Wohnbereiche angrenzen, können Aufforstungsmaßnahmen eine bedeutsame Trennfunktion der unterschiedlichen Nutzungsansprüche erfüllen.

Stufe 2 – Ausgleichsraum mit hoher Bedeutung

Zu den Ausgleichsräumen mit hoher Bedeutung gehören Flächen mit einer noch hohen, aber im Vergleich zu Stufe 1 geringeren Klimaaktivität. Ebenfalls zählen hierzu Flächen mit einer größeren Entfernung zu den eigentlichen Lasträumen, so dass eine geringere Ausgleichsleistung resultiert. Jedoch ist diesen Flächen insbesondere im Kernbereich der Metropole Ruhr eine hohe Bedeutung beizumessen, so dass dort bei zukünftigen Nutzungsänderungen zusätzliche klimatisch-lufthygienische Sondergutachten empfohlen werden. Dadurch können mögliche Funktionseinschränkungen eingeschätzt werden und ggf. durch alternative Bauformen oder Ausgleichsmaßnahmen vor Ort einer negativen Entwicklung entgegengewirkt werden.

Stufe 3 – Ausgleichsraum mit mittlerer Bedeutung

Hierbei handelt es sich um Flächen, die keinen direkten Bezug zu den hochbelasteten Siedlungsräumen haben bzw. Flächen mit einer geringeren Klimaaktivität. Aus diesem Grund besitzen diese Flächen eine mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen und Versiegelungen. Aus klimatischer Sicht ist eine maßvolle Bebauung auf diesen Flächen daher zulässig, sofern dadurch keine Einschränkungen der Belüftungsverhältnisse zu erwarten sind. Um die klimatischen Beeinträchtigungen auf diesen Flächen durch Versiegelungsmaßnahmen so gering wie möglich zu halten, ist die Anlage von Dach- und Fassadenbegrünungen, der Bau von möglichst niedrigen Gebäuden sowie windoffenen Gebäudeanordnungen zu empfehlen. Hinsichtlich der Dimensionierung und der Gebäudeanordnung sind klimatisch-lufthygienische Gutachten durchzuführen.

Stufe 4 – Ausgleichsraum mit geringer Bedeutung

Zu den Ausgleichsräumen mit geringer Bedeutung zählen Freiflächen, die im Zusammenhang mit weitgehend unbelasteten Siedlungsräumen stehen bzw. die aufgrund ihrer Lage und der geringen Kaltluftproduktion bzw. ihres geringen Kaltluftliefervermögens eine relativ unbedeutende Ausgleichsfunktion übernehmen. Bedingt durch diese Eigenschaften sind bauliche Eingriffe auf diesen Flächen mit nur geringen klimatischen Veränderung verbunden. Es handelt sich also um Flächen, die vergleichsweise stabil gegenüber nutzungsändernden Eingriffen sind, sofern es sich nicht um überdimensionierte Maßnahmen handelt.

Da auch innerhalb des Kernbereichs der Metropole Ruhr Gebiete als Ausgleichsräume mit geringer Bedeutung bewertet wurden, ist bei Maßnahmen auf diesen Flächen auf eine ausreichende Belüftung zu achten. Bei der tiefergehenden Beurteilung der Flächen ist auch der Zusammenhang zum weiteren Umfeld in die Betrachtung einzubeziehen, so dass für Maßnahmen auf diesen Flächen eine detaillierte Betrachtung der möglichen Auswirkungen erforderlich wird.

12.2 Planungshinweise für die Lasträume

Neben den Ausgleichsräumen wird die Metropole Ruhr durch Lasträume geprägt. Hierbei kann in Abhängigkeit vom Versiegelungsgrad, der Bebauungsdichte und der Höhe der Gebäude zwischen unterschiedlich stark ausgeprägten Lasträumen unterschieden werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass gegenwärtig noch günstige Bedingungen aufgrund des Klimawandels zukünftig stärkere Belastungssituationen aufweisen (s. hierzu **Kapitel 10**).

Im Folgenden sollen die unterschiedlichen Arten der Lasträume charakterisiert, ihre Wirkungen auf das Stadtklima dargestellt sowie raum- und nutzungsbezogene Planungsempfehlungen aufgezeigt werden.

Lastraum der überwiegend locker und offen bebauten Wohngebiete

Zu den Flächen der lockeren Bebauung zählen unterschiedliche Baugebiete. Dazu gehören reine Wohngebiete (außer Blockrandbebauung), aufgelockerte allgemeine Wohngebiete, aufgelockerte Mischgebiete und Kleinsiedlungsgebiete sowie Dorfgebiete. Kennzeichnend für diese Flächen ist die aufgelockerte und offene Bauweise mit einer guten Durchgrünung.

Aufgrund der aufgelockerten Bauweise und dem hohen Anteil an Grünstrukturen ist in diesen Bereichen von einer nur geringen bis mäßigen Änderung der Klimatelemente auszugehen.

Daher sind lufthygienische und bioklimatische Probleme in diesen Bereichen meist gering ausgeprägt.

Flächen, die dem Lastraum der überwiegend locker und offen bebauten Wohngebiete zuzuordnen sind, nehmen in der Metropole Ruhr ca. 64% der gesamten Baufläche ein (Stand: 2009).

Da die Flächen einen Großteil der Siedlungsfläche einnehmen und durch relativ günstige Bedingungen gekennzeichnet sind, kann die klimatische Situation in weiten Teilen der Metropole Ruhr im Allgemeinen als relativ günstig eingestuft werden. Begünstigt werden die klimatischen Verhältnisse durch eine Vielzahl an Grün- und Waldflächen, die die Siedlungsräume durchziehen.

Um die klimatische Situation in diesem Lastraum zu sichern, sollten die Bebauungsstrukturen in weiten Teilen des Stadtgebietes nicht weiter verdichtet werden. Dies gilt insbesondere für locker bebaute Wohngebiete, die an dichter bebaute Gebiete angrenzen. Somit kann eine zukünftige weitere Ausdehnung von überwärmten Bereichen vermieden werden.

Weitere wichtige Entwicklungsziele für diesen Lastraum sind:

- Erhalt bzw. Verbesserung der Grünausstattung u.a. mit großkronigen Laubbäumen
- Maßvolle Nachverdichtung
- Sicherung und Anlage von Grünflächen zur Verbesserung bzw. zum Erhalt der Belüftung
- Begrenzung der Neuversiegelung sowie Entsiegelung bzw. Belagsänderung oder Rückbau (überdimensionierter) Erschließungs- und Stellplatzflächen
- Reduzierung der Emissionen durch Hausbrand (z.B. durch Bau von Niedrigenergiehäusern, Isolierung alter Gebäudesubstanz, Nutzung von Abwärme und Solarenergie)

Lastraum der überwiegend dicht bebauten Wohn- und Mischgebiete

Der Lastraum der überwiegend dicht bebauten Wohn- und Mischgebiete entspricht hinsichtlich seiner räumlichen Ausdehnung dem Klimatotyp Stadtklima in der Klimaanalysekarte. Neben der bioklimatischen Belastung in diesen Bereichen meist ein hohes lufthygienisches Belastungspotential nachgewiesen.

Anders als in der hoch verdichteten Innenstadt ist die Bebauung auf diesen Flächen zwar etwas weniger stark verdichtet, führt aber dennoch zu einer deutlichen Veränderung der mikroklimatischen Verhältnisse. Dazu zählen insbesondere eine erhöhte thermische und zugleich bioklimatische Belastung sowie verschlechterte Luftaustauschbedingungen. Beson-

ders problematische Verhältnisse entstehen dort, wo bodennahe Emittenten (Kfz-Verkehr und Industrie) zu einer Schadstoffanreicherung führen.

Zu den Entwicklungszielen in den dicht bebauten Wohn- und Mischgebieten zählen:

- Begrünungsmaßnahmen mit dem Schwerpunkt der Anpflanzung höherer Vegetation und großkroniger Bäume in Bereichen, die sich nicht durch einen Straßenschluchtcharakter auszeichnen
- Rückbau und Begrünung der Straßenräume
- Herabsetzung des Versiegelungsgrades
- Verkehrsreduzierung und Minimierung des Hausbrands
- Aufwertung von Innenhöfen durch Begrünung

Aufgrund der vielseitigen Bebauungsstrukturen auf diesen Flächen, die unterschiedliche Formen geschlossener und dichter Bebauung wie Zeilen- und Blockrandbebauung sowie Reihenhausbebauung umfassen können, kann auch eine Vielzahl von Maßnahmen als Planungshinweise genannt werden.

Der Anteil an Vegetationsstrukturen schwankt stark, da die Nutzungsstrukturen in diesem Lastraumtyp stark variabel sind.

Als Maßnahmen zur Verbesserung der lufthygienischen Situation in den überwiegend dicht bebauten Wohn- und Mischgebieten sind die Auflockerung der vorhandenen Bebauungsstrukturen sowie ein Verbot von weiteren massiven Gebäudekomplexen zu nennen. Zusätzlich sollten vorhandene Grün- und Freiflächen erhalten bzw. neu geschaffen werden, um die mikroklimatischen Verhältnisse abzumildern.

Zusätzlich sollte im Bereich der Innenhöfe eine Erweiterung der Grünausstattung vorgenommen werden. Um das Bestandsklima der Innenhöfe in den dicht bebauten Bereichen zu verbessern, bietet es sich an, bei ausreichender Größe der Innenhöfe locker stehende Baumbestände anzulegen.

Nicht alle Innenhöfe lassen sich entkernen und als Grünflächen nutzbar machen. Einzelne der Stadtversorgung dienende Gewerbebetriebe sollten erhalten bleiben, was den Bestrebungen zur Minimierung des Flächenverbrauchs in den Außenbereichen zugute kommt und somit indirekt positive Wirkungen auf das Stadtklima hat. Dach- und Fassadenbegrünungen sind weitere Möglichkeiten, um in den Hinterhofbereichen eine Verbesserung der stadtklimatischen Bedingungen zu erzielen.

Geschwindigkeitsbeschränkungen (Einrichtung von Tempo 30 – Zonen), die Ausweisung von Wohnstraßen sowie die Reduzierung von Kfz-Stellplätzen bieten Möglichkeiten, verkehrsbedingte Emissionen erheblich zu reduzieren.

Die klimatische und lufthygienische Situation in den Straßenzügen kann durch die Anpflanzung von Laubbäumen verbessert werden. Hierbei bietet sich bei schmaleren Straßen an, kleinkronige Bäume anzupflanzen, um eine ausreichende Belüftung zu gewährleisten. Bei breiteren Straßen bzw. Straßen mit geringen Emissionen ist die Anpflanzung großkroniger Bäume empfehlenswert.

Lastraum der hoch verdichteten Innenstadt

Zahlreiche, auch kleinere Kommunen in der Metropole Ruhr weisen hochverdichtete Innenstädte auf, die sich durch eine dichte Bebauungsstruktur mit z.T. hohen Gebäuden, einen hohen Versiegelungsgrad und einen nur geringen Grünflächenanteil auszeichnen. Ein weiteres charakteristisches Merkmal ist die Ausbildung von Straßenschluchten, d.h. die Gebäudehöhe übertrifft deutlich die Straßenbreite.

Typisch ist auch die starke Verkehrsbelastung auf den Straßenzügen innerhalb dieses Lastraums. Überschreitungen der NO₂- und der PM10-Grenzwerte kommen in diesen Bereichen häufig vor. Diese Eigenschaften zusammen bewirken die stärkste Ausprägung des Stadtklimas, was sich durch erhöhte Lufttemperaturen insbesondere in den Sommermonaten bemerkbar macht. Verschlechterte Belüftungsverhältnisse sowie hohe lufthygienische Belastungen sind ebenso die Folge der starken anthropogenen Überformung. Besonders nachteilig in klimatischer und lufthygienischer Hinsicht wirkt sich die geringe Anzahl an Grünanlagen aus.

Die im Folgenden aufgeführten Hinweise können zu einer Verbesserung des Mikroklimas führen.

Die Überwärmung im Bereich großflächiger, versiegelter Plätze sollte durch Schattenelemente bzw. die Anpflanzung großkroniger Bäume entschärft werden.

Ergänzende Fassaden- und Dachbegrünungen sollten nicht nur aus ästhetischen Gründen durchgeführt werden, sondern auch aus klimatischer Sicht.

Die Vorteile von Fassadenbegrünungen bestehen in erster Linie in folgenden Eigenschaften:

- Verbesserung der Wärmedämmung des Gebäudes
- Verringerung des Wärmeverlustes des Gebäudes
- Kühlwirkung durch Verdunstung, Absorption und Reflexion der Strahlung im Blattwerk
- Verdunstungsbedingte Feuchteanreicherung
- Schutz der Fassade

Durch Dachbegrünungen können folgende positive Veränderungen erreicht werden:

- Verbesserung des Mikroklimas durch eine Minderung der Temperaturextreme im Jahresverlauf (bis zu 60 °C geringere Oberflächentemperaturen am Mittag und um bis zu 20 °C höhere Oberflächentemperaturen in der Nacht)
- Verbesserte Speicherung von Feuchtigkeit und erhöhte Abgabe an die Luft (50 – 70 % des Niederschlags werden bei begrünten Dächern zusätzlich an die Stadtluft abgegeben und gelangen nicht in die Kanalisation) [HELBIG et al. 1999].

Dachbegrünungen sind vor allem dort effektiv, wo niedrige Flachdächer klimatisch auf umstehende, höhere Gebäude wirken können (etwa in bebauten Innenhöfen). Bei ausreichender Größe der angelegten Dachbegrünung kann so der Wärme- und Feuchtehaushalt spürbar verbessert werden. Hochgelegene Dachgärten wirken sich im Gegensatz dazu nicht auf die bodennahen Klimaverhältnisse aus.

12.3 Planungshinweise für Industrie- und Gewerbeflächen sowie Gewerbe- und Industriebrachen

Lastraum der Gewerbe- und Industrieklimate

Zu den stadtklimatischen Auswirkungen der Industrie- und Gewerbeflächen zählen eine hohe thermische Belastung und oft eine schlechte Belüftungssituation. Damit gekoppelt ist auch eine erhöhte bioklimatische Belastung und aufgrund der hohen Emissionen eine deutliche Verschlechterung der lufthygienischen Situation, wobei zwischen Immissionen mit lokaler und Immissionen mit regionaler Bedeutung unterschieden werden muss. Emittenten mit lokaler Bedeutung weisen niedrige Schornsteinhöhen auf, so dass insbesondere in deren Umfeld die Schadstoffbelastungen hoch sind. Quellen mit regionaler Bedeutung weisen dagegen höhere Schornsteine auf, wodurch die mit Schadstoffen angereicherten Luftmassen weiter transportiert werden und sich erst in entfernteren Gebieten auswirken.

Zu den Entwicklungszielen für die Industrie- und Gewerbeflächen zählen neben der Reduzierung nachteiliger Wirkungen auf die umliegenden Gebiete die Optimierung der lufthygienischen Situation sowie die Vermeidung großflächiger Wärmeinseln.

Weiterhin ist die Entwicklung von akzeptablen Aufenthaltsqualitäten im Gewerbeumfeld tagsüber anzustreben.

Maßnahmen, die zu einer Verbesserung der Situation in den Lasträumen der Gewerbe- und Industriegebiete führen, bestehen in erster Linie in der Entsiegelung und dem Erhalt sowie der Erweiterung von Grün- und Brachflächen. Eine weitere sinnvolle Maßnahme ist die Begrünung von Fassaden und Dächern.

Die hoch verdichteten Bauflächen sowie Lager- und Freiflächen sollten durch die Anpflanzung breiter Pflanzstreifen gegliedert werden. Darüber hinaus bieten sich Stellplatzanlagen und das Umfeld von Verwaltungsgebäuden für Begrünungsmaßnahmen an.

Um den Kern der Gewerbebezonen herum sollte ein bepflanzter Freiraum als Puffer zu angrenzenden Flächen eingehalten werden.

Zur Gestaltung von neuen Gewerbe-, Industrie- und Sonderflächen sind als weitere geeignete Maßnahmen, die zu einer Verbesserung der klimatischen Situation beitragen, im Folgenden zu nennen:

- Wahl eines geeigneten Standortes zur Sicherung einer hinreichenden Be- und Entlüftung
- Verringerung der Kfz-Emissionen durch einen guten ÖPNV-Anschluss
- Flächensparendes Bauen und Flächenrecycling
- Entsiegelung betrieblich nicht mehr genutzter Flächen und deren Begrünung
- Sicherung und Erweiterung von Grünflächen zur Optimierung der Aufenthaltsqualität
- Soweit möglich Reduzierung produktionsbedingter Emissionen auf ein unvermeidbares Maß
- Abwärmenutzung von Industrieanlagen
- Begrünung von Fassaden und Dächern

Für alle Gewerbe- und Industriebrachen auf Freiflächen mit einer Mindestgröße von 8 ha werden im Anhang anhand einer Detailanalyse Steckbriefe erstellt, um den Handlungs- und Planungsbedarf auf den Flächen einschätzen zu können. Die Steckbriefe umfassen neben den Angaben zur Nutzung und den klimarelevanten Faktoren detaillierte Aussagen zur Belüftungssituation sowie der thermischen und bioklimatischen Verhältnisse. Zusätzlich wird der klimatische Ausprägungsgrad für die gegenwärtige und zukünftige Situation aufgeführt. Auf der Grundlage der Beschreibung und Bewertung der Flächen wird anschließend der Planungsbedarf für die Flächen stichwortartig genannt.

13 Literatur

BBSR (2009): Klimawandelgerechte Stadtentwicklung. Wirkfolgen des Klimawandels. BBSR-Online-Publikation, Nr. 23/2009.

Bongardt, B. (2005): Stadtklimatologische Bedeutung kleiner Parkanlagen – dargestellt am Beispiel des Dortmunder Westparks. Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades an der Universität Duisburg-Essen.

Bundesministerium der Justiz: Raumordnungsgesetz vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986), das zuletzt durch Artikel 9 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585) geändert worden ist"

Bundeskabinett (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel, beschlossen vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008. Kurzzusammenfassung.

Deutscher Wetterdienst (2004): Amtliches Gutachten zu den klimatologischen Auswirkungen durch den Ausbau des Flughafens Frankfurt Main. Offenbach.

DLR-DFD (2009): Coordination of Information on the Environment CORINE Land Cover CLC2006; Umwelt-bundesamt, DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt 2009.

GEO-NET (2009): Analyse der klimaökologischen Funktionen für das Gebiet des Metropolregion Rhein-Neckar. Gutachten im Auftrag der Metropolregion Rhein-Neckar.

GROSS, G. (1989): Numerical simulation of the nocturnal flow systems in the Freiburg area for different topographies. Beitr. Phys. Atmosph. , H 62 , S. 57-72.

GROSS, G. (1993): Numerical Simulation of canopy flows. Springer Verlag Heidelberg

GROSS, G. (2002): The exploration of boundary layer phenomena using a nonhydrostatic mesoscale model. Meteor. Z.schr. Vol. 11 Nr. 5., S. 701-710.

King, E. (1973): Untersuchungen über kleinräumige Änderungen des Kaltluftabflusses und der Frostgefährdung durch Straßenbauten. Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 130 (Band 17). Offenbach a. M.

KIESE, O. (1988): Die Bedeutung verschiedenartiger Freiflächen für die Kaltluftproduktion und die Frischluftversorgung von Städten. Landschaft + Stadt 20, H. 2: 67-71

Kuttler, W.; Dütemeyer, D.; Barlag, A.-B. (2013): Handlungsleitfaden – Steuerungswerkzeug zur städtebaulichen Anpassung an thermische Belastungen im Klimawandel. Dynaklim-Publikation.

KVR (2001): Das Ruhrgebiet. Zahlen, Daten, Fakten.

MOSIMANN, Th., P. TRUTE & Th. FREY (1999): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, Heft 4/99, S. 202-275.

MUNLV (2009): Anpassung an den Klimawandel. Eine Strategie für Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf.

REGIONALVERBAND RUHR (2012a): Digitale Geländehöhe für das Gebiet des RVR.

REGIONALVERBAND RUHR (2012b): Digitale Flächennutzungskartierung für das Gebiet des RVR.

REGIONALVERBAND RUHR (2012c): Digitale Orthofotos für das Gebiet des RVR.

Sustainability Center Bremen (?): Klimaanpassung in Planungsverfahren. Leitfaden für die Stadt- und Regionalplanung. Bremen.

USGS (2000): SRTM-3-Höhendaten, The Shuttle Radar Topography Mission digital topographic data, U.S. Geological Survey, nachbearbeitete und korrigierte Version: Esri Data & Maps

VDI (1997): Richtlinie VDI 3787 Blatt 1. Umweltmeteorologie – Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

VDI (2003): Richtlinie VDI 3787 Blatt 5 Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

VDI (2004): Richtlinie VDI 3787 Blatt 9 Umweltmeteorologie – Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene in der räumlichen Planung. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

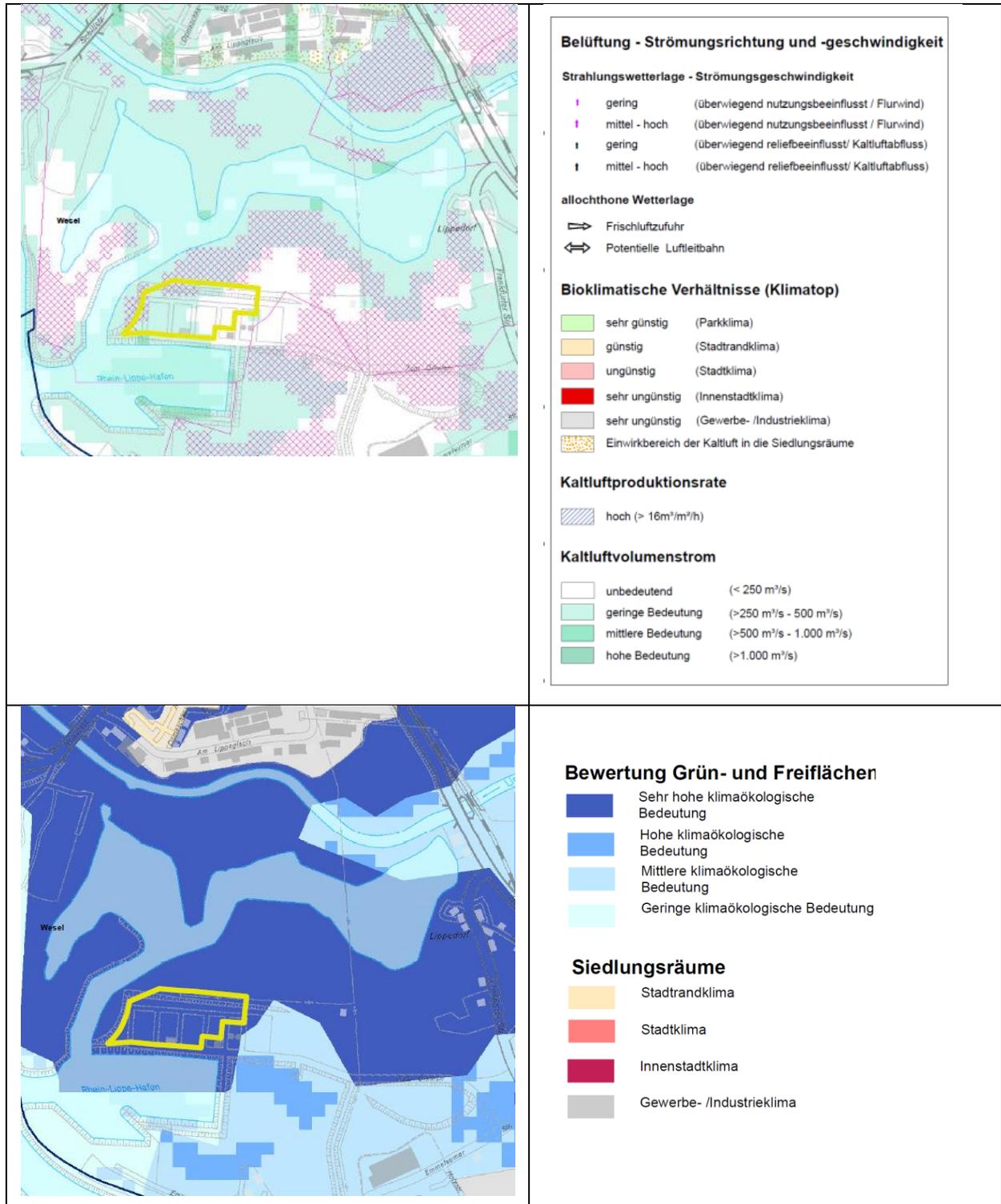
VDI (2008a): Richtlinie VDI 3787 Blatt 2. Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung - Teil I: Klima. VDI Verein Deutscher Ingenieure Düsseldorf.

VDI (2008b): Richtlinie VDI 3785, Blatt 1, Umweltmeteorologie – Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

Zebisch, M.; Grothmann, T.; Schröter, D.; Hasse, C.; Fritsch, U.; Cramer, W.(2005): Klimawandel in Deutschland -Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Forschungsbericht 201 41 253, UBA-FB 000844

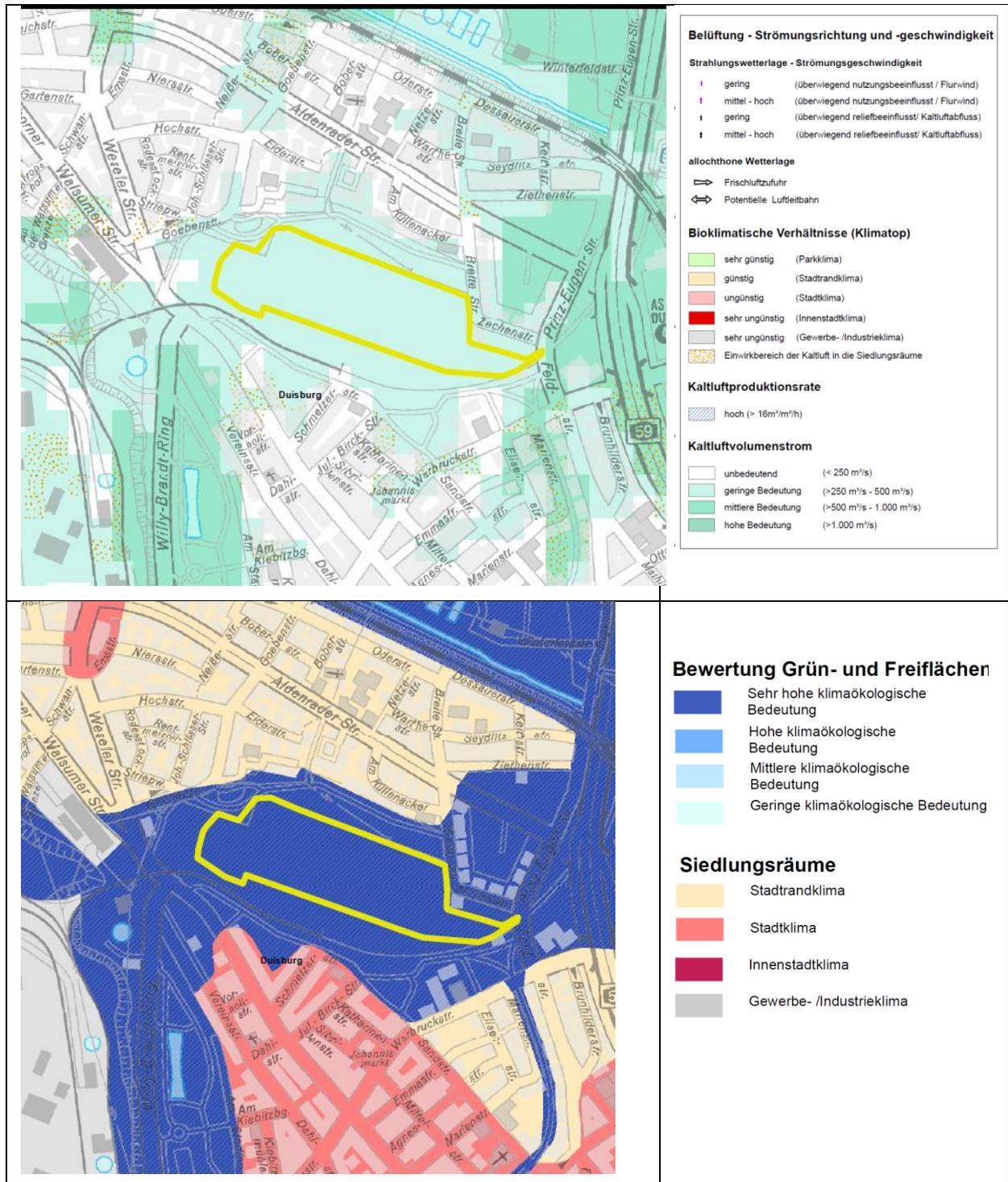
14 Anhang - Steckbriefe für Gewerbe- und Industriebranchen

14.1 Wesel – Rhein-Lippe-Hafen



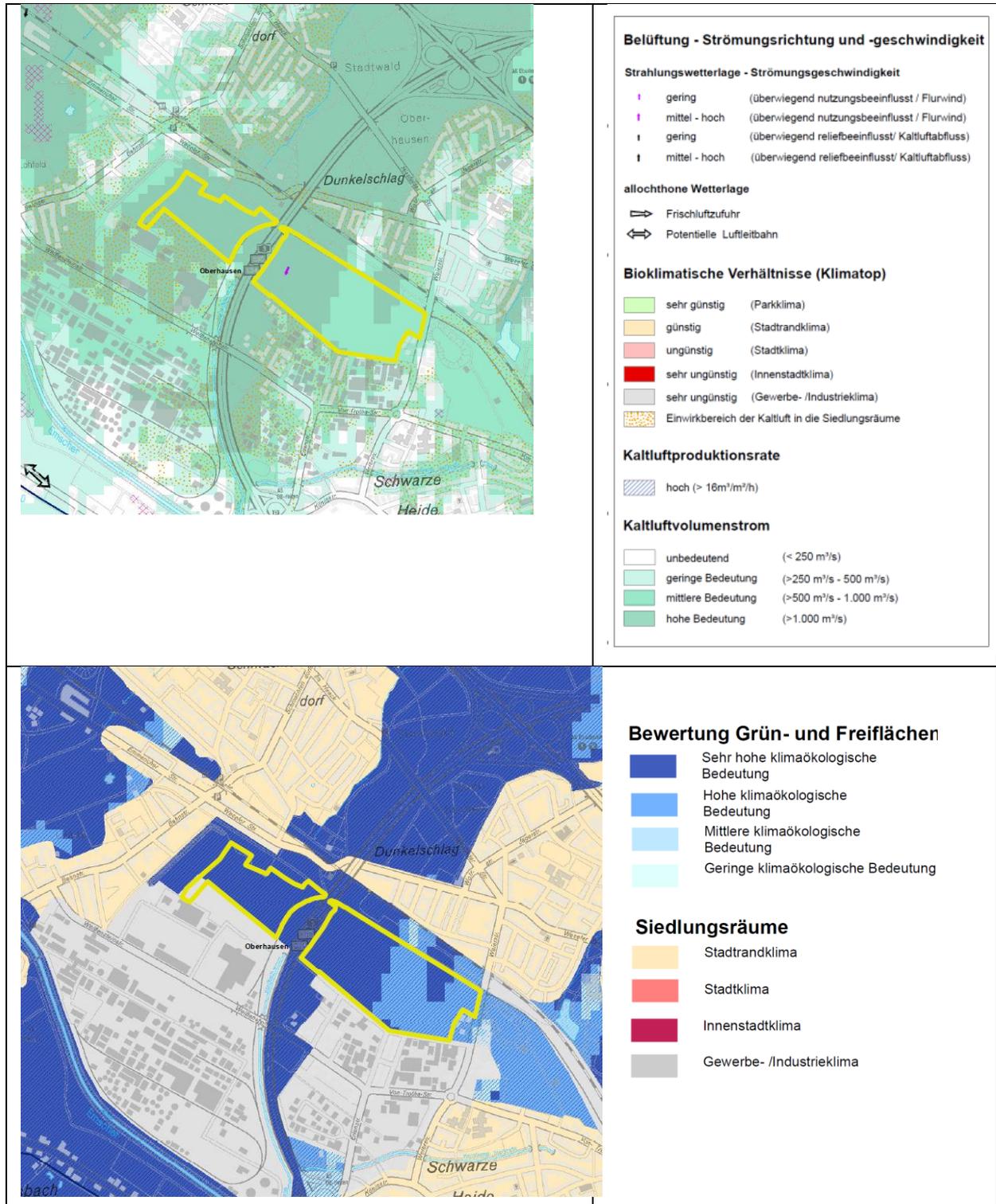
Wesel – Rhein-Lippe-Hafen	
Nutzung und klimarelevante Faktoren	
Klimarelevante Faktoren: (Relief, Umfeld)	Bestandteil eines großen zusammenhängenden unbebauten Freiraums mit Ausgleichsfunktion in ebener Lage
Belüftung	
Luftleitbahn:	nein
Kaltluftabfluss:	nein
Ausgleichsströmung:	nein
Kaltluftvolumenstrom:	nicht relevant bis geringe Bedeutung (je ca. 50 % der Fläche)
Kaltluftproduktionsrate hoch:	ja
Eindringtiefe der Kaltluft:	bis in die Randbereiche der Gewerbegebiete im Süden von Wesel, geringe Fernwirkung
Temperatur und Bioklima	
Nächtl. Abkühlung bei Strahlungswetter:	6 K bis 9 K (mittel bis hoch)
Luftaustauschrate (pro Zelle und Stunde):	0-20 (gering)
Bioklimatische Einstufung:	günstig bis sehr günstig
Bewertung klimatischer Ausprägungsgrad	
Bewertungsstufe heute:	Ausgleichsraum mit sehr hoher Bedeutung (Grund für die Bewertung: Kaltlufteinzugsgebiet grenzt direkt an innerstädtische Lasträume)
Bewertungsstufe zukünftig:	Ausgleichsraum mit sehr hoher Bedeutung
Planungshinweise	
<ul style="list-style-type: none"> • Erhalt und Schutz der Freifläche als zusammenhängender Ausgleichsraum • Keine Bebauung, keine Versiegelung 	

14.2 Duisburg-Fahrn, Weseler Str.



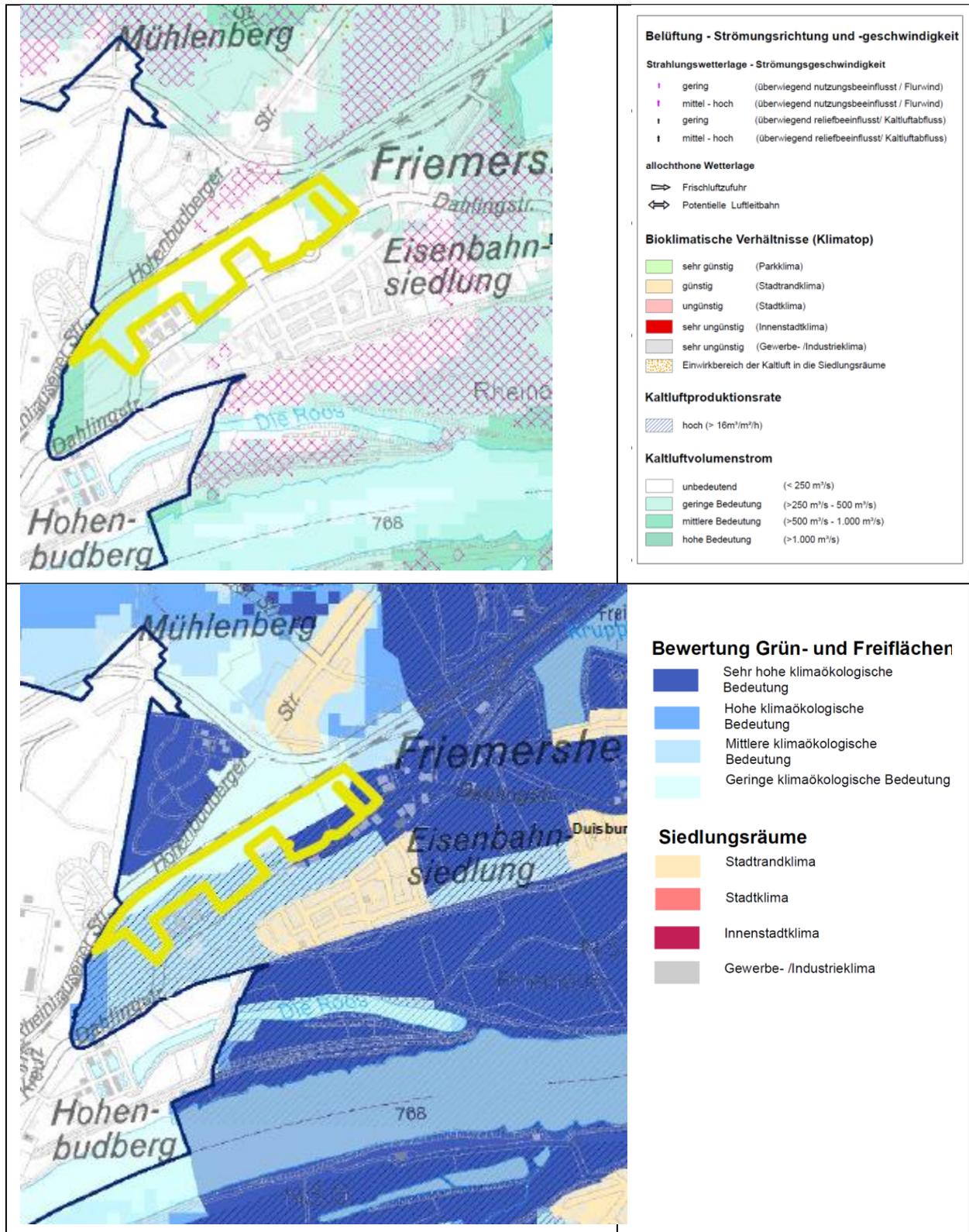
Duisburg-Fahrn, Weseler Str.	
Nutzung und klimarelevante Faktoren	
Klimarelevante Faktoren: (Relief, Umfeld)	Innerstädtische Brachfläche, die im Verbund mit weiteren Grün- und Freiflächen einen vom Rhein bis Holten (Oberhausen) durchgängigen Grüngürtel bildet
Belüftung	
Luftleitbahn:	nein
Kaltluftabfluss:	nein
Ausgleichsströmung:	nein
Kaltluftvolumenstrom:	geringe Bedeutung
Kaltluftproduktionsrate hoch:	nein
Eindringtiefe der Kaltluft:	randlich in die angrenzende Bebauung
Temperatur und Bioklima	
Nächtl. Abkühlung bei Strahlungswetter:	6 K bis 7 K (mittel bis hoch)
Luftaustauschrate (pro Zelle und Stunde):	nicht relevant
Bioklimatische Einstufung:	günstig
Bewertung klimatischer Ausprägungsgrad	
Bewertungsstufe heute:	Ausgleichsraum mit sehr hoher Bedeutung (Grund für die Bewertung: Kaltlufteinzugsgebiet grenzt direkt an innerstädtische Lasträume)
Bewertungsstufe zukünftig:	Ausgleichsraum mit sehr hoher Bedeutung
Planungshinweise	
<ul style="list-style-type: none"> • Erhalt und Schutz der Freifläche als Bestandteil des Grünverbundsystems mit Trenn- und Ausgleichsfunktion • Keine Bebauung, Entsiegelung und Begrünung 	

14.3 Oberhausen-Sterkrade an der B 3



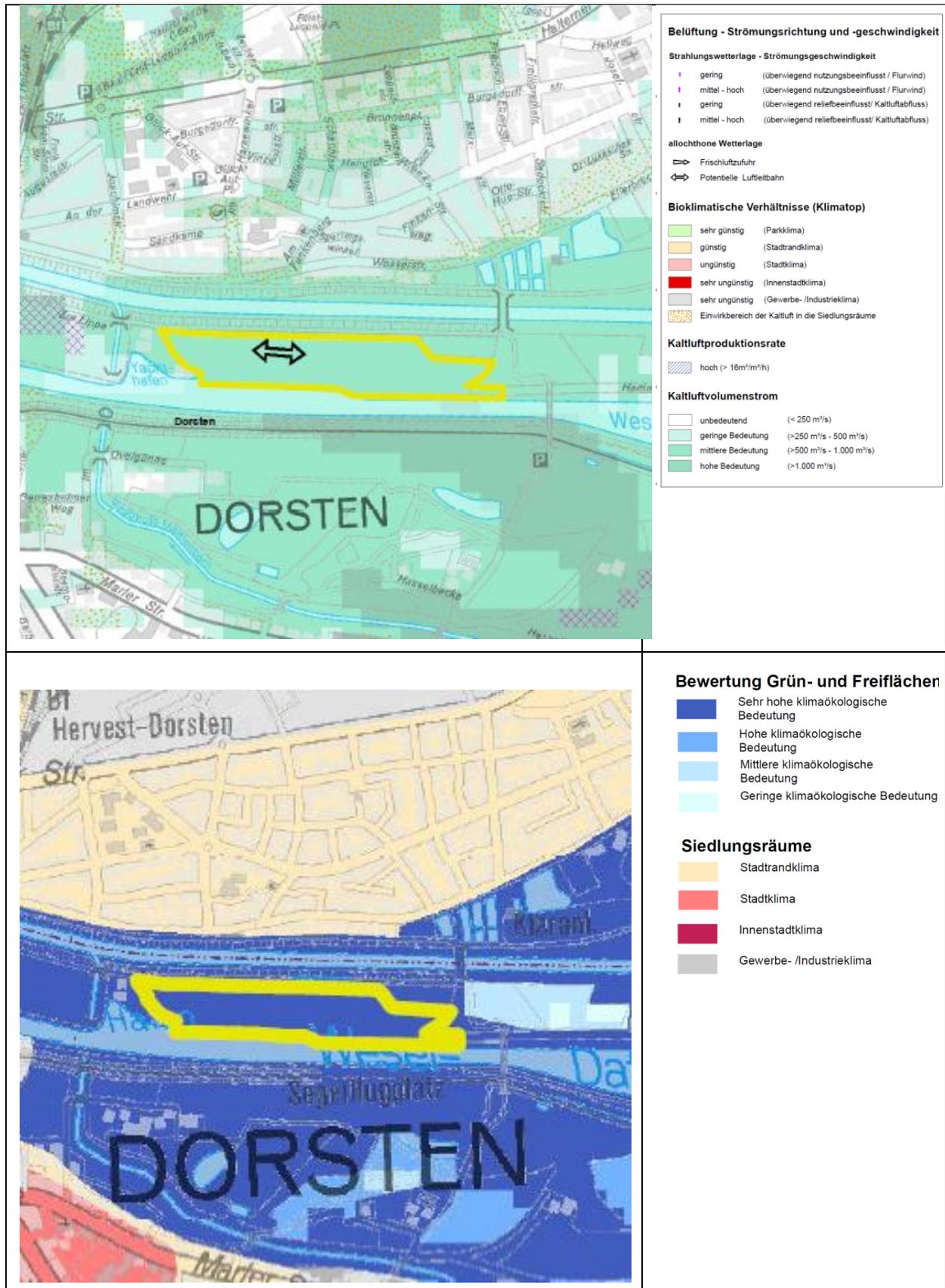
Oberhausen-Sterkrade an der B 3	
Nutzung und klimarelevante Faktoren	
Klimarelevante Faktoren: (Relief, Umfeld)	Innerstädtische Brachfläche zwischen Gewerbefläche der Ruhrchemie und dem Staatsforst Wesel; Höhenlage um 40 m ü. NN; Fläche wird durch B 3 zerschnitten, hohe Luftbelastung
Belüftung	
Luftleitbahn:	nein
Kaltluftabfluss:	nein
Ausgleichsströmung:	gering
Kaltluftvolumenstrom:	mittlere bis hohe Bedeutung
Kaltluftproduktionsrate hoch:	nein
Eindringtiefe der Kaltluft:	bis in die angrenzenden Gewerbegebiete
Temperatur und Bioklima	
Nächtl. Abkühlung bei Strahlungswetter:	6 K bis 9 K (mittel bis hoch)
Luftaustauschrate (pro Zelle und Stunde):	10 bis 50 (gering bis mittel)
Bioklimatische Einstufung:	Günstig bis sehr günstig
Bewertung klimatischer Ausprägungsgrad	
Bewertungsstufe heute:	Ausgleichsraum mit hoher bis sehr hoher Bedeutung
Bewertungsstufe zukünftig:	Ausgleichsraum mit sehr hoher Bedeutung
Planungshinweise	
<ul style="list-style-type: none"> • Als innerstädtischer Ausgleichsraum mit Wirkung über die Fläche hinaus möglichst nicht vollständig bebauen • Im Falle einer Teilbebauung umfassende Begrünungsmaßnahmen beachten (Dach- und Fassadenbegrünung, Begrünung von Flächen und Plätzen) 	

14.4 Duisburg-Rheinhausen, Hohenbudberger Str.



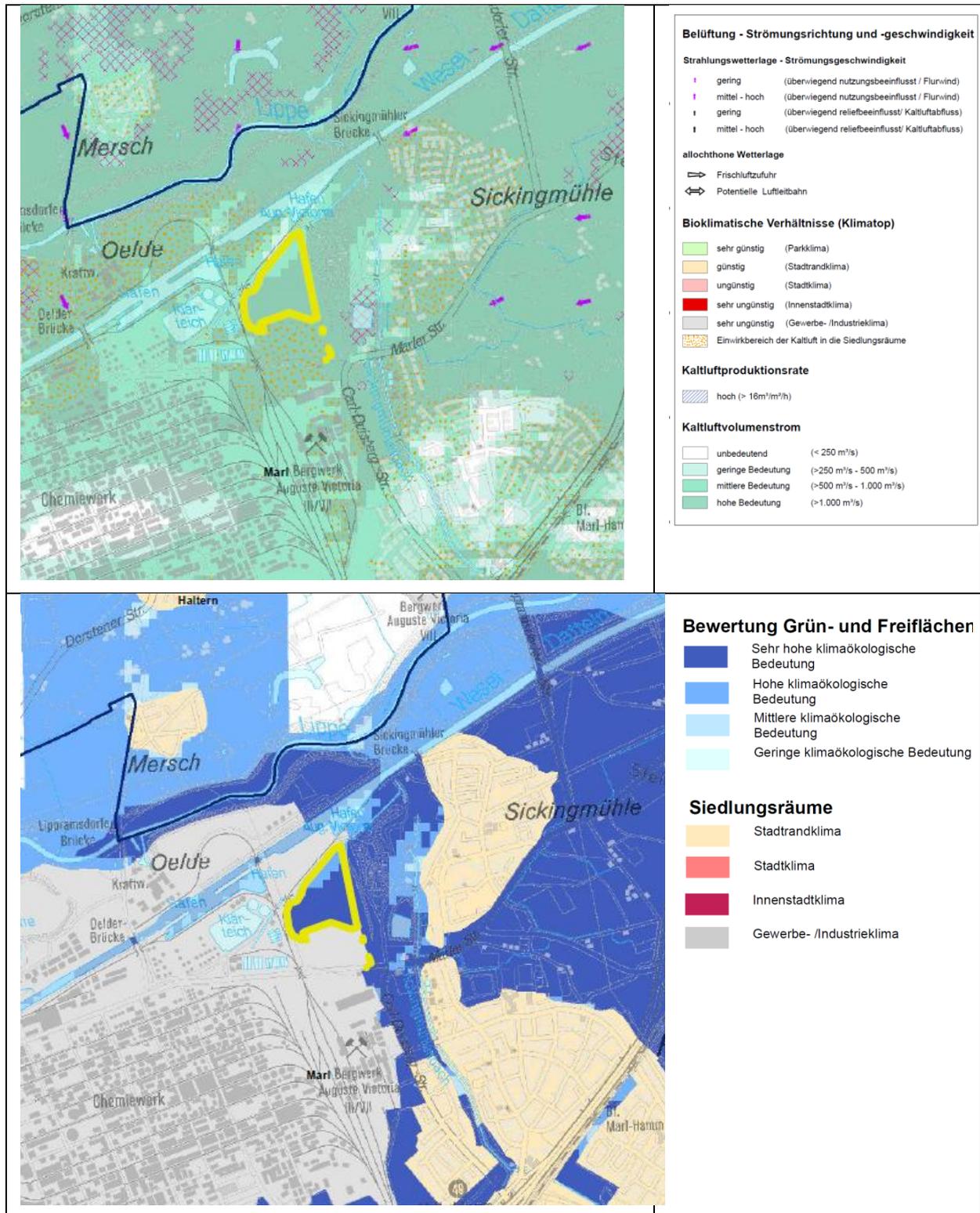
Duisburg-Rheinhausen, Hohenbudberger Str.	
Nutzung und klimarelevante Faktoren	
Klimarelevante Faktoren: (Relief, Umfeld)	Brachfläche im Südwesten der Metropole Ruhr im Übergangsbereich zu Gewerbegebieten auf Krefelder Stadtgebiet; Niederungsbereich der Ruhr
Belüftung	
Luftleitbahn:	nein (aber Belüftung entlang der nordwestlich anschließenden Bahntrasse bei Hauptwindrichtung möglich)
Kaltluftabfluss:	nein
Ausgleichsströmung:	nein
Kaltluftvolumenstrom:	nicht relevant bis geringe Bedeutung
Kaltluftproduktionsrate hoch:	nein
Eindringtiefe der Kaltluft:	nicht relevant
Temperatur und Bioklima	
Nächtl. Abkühlung bei Strahlungswetter:	6 K bis 8 K (mittel bis hoch)
Luftaustauschrate (pro Zelle und Stunde):	nicht relevant
Bioklimatische Einstufung:	günstig
Bewertung klimatischer Ausprägungsgrad	
Bewertungsstufe heute:	Ausgleichsraum mit überwiegend geringer bis mittlerer Bedeutung, im Nordteil teilw. sehr hohe Bedeutung
Bewertungsstufe zukünftig:	Ausgleichsraum mit geringer bis sehr hoher Bedeutung (je ca. 50% der Fläche)
Planungshinweise	
<ul style="list-style-type: none"> • Im Falle einer Bebauung SW-orientierte Ventilation durch entsprechende Gebäudeausrichtung aufrecht erhalten • Geringen Versiegelungsgrad mit einem hohen Grünanteil anstreben 	

14.5 Dorsten Lippeaue



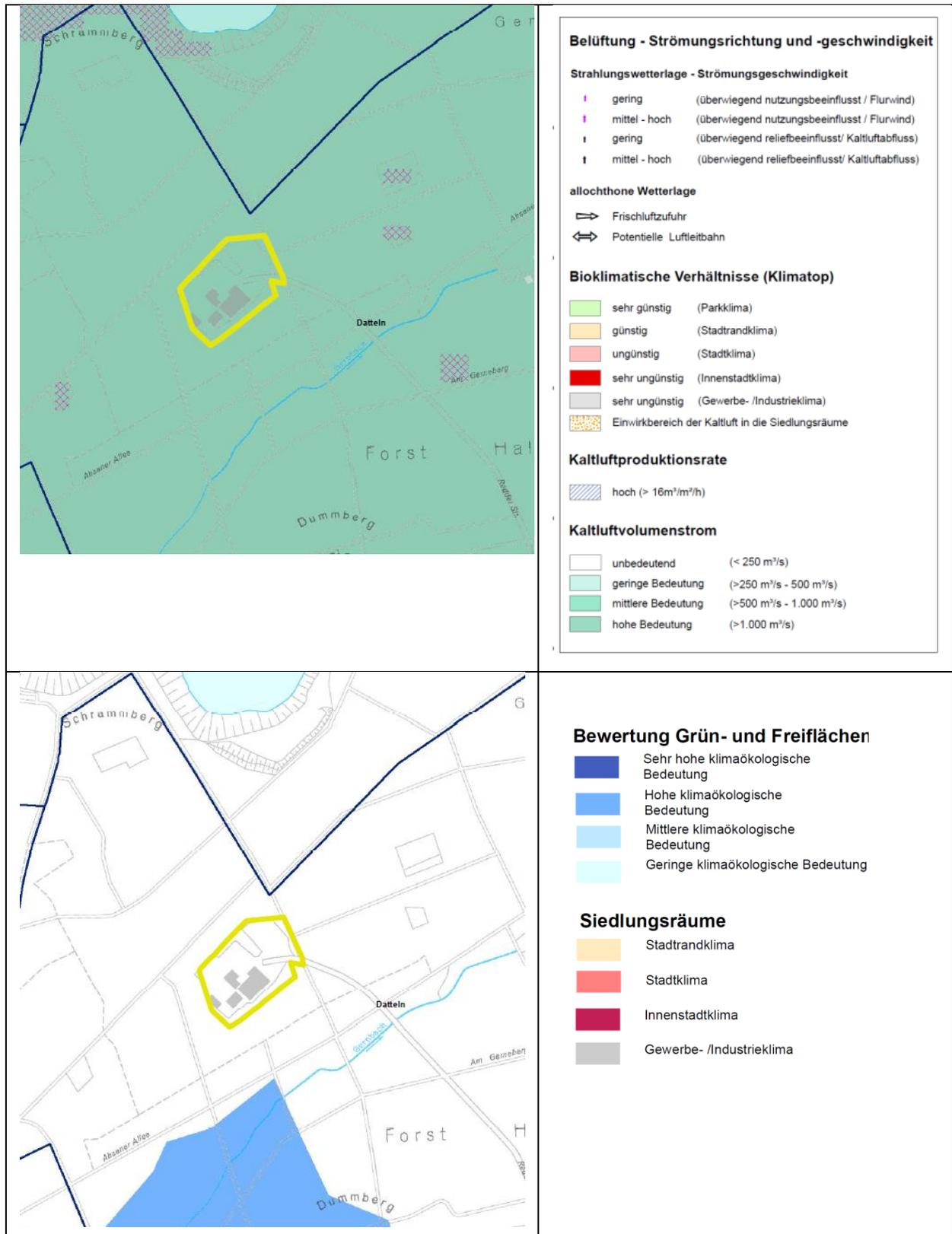
Dorsten Lippeaue	
Nutzung und klimarelevante Faktoren	
Klimarelevante Faktoren: (Relief, Umfeld)	Brachfläche im Niederungsbereich zwischen Wesel Dateln-Kanal und Lippe, Teil einer Luftleitbahn
Belüftung	
Luftleitbahn:	ja
Kaltluftabfluss:	nein
Ausgleichsströmung:	nein
Kaltluftvolumenstrom:	mittlere Bedeutung
Kaltluftproduktionsrate hoch:	nein
Eindringtiefe der Kaltluft:	bis weit in die Bebauung hinein
Temperatur und Bioklima	
Nächtl. Abkühlung bei Strahlungswetter:	6 K bis 7 K (mittel bis hoch)
Luftaustauschrate (pro Zelle und Stunde):	10 bis 30 (gering)
Bioklimatische Einstufung:	sehr günstig bis günstig
Bewertung klimatischer Ausprägungsgrad	
Bewertungsstufe heute:	Ausgleichsraum mit sehr hoher Bedeutung
Bewertungsstufe zukünftig:	Ausgleichsraum mit sehr hoher Bedeutung
Planungshinweise	
<ul style="list-style-type: none"> Als lokal bedeutsame Luftleitbahn von Bebauung freihalten, keine dichte hohe Vegetation anlegen, um die Belüftungsfunktion weiterhin zu gewährleisten 	

14.6 Brachfläche östlich Chemiepark Marl



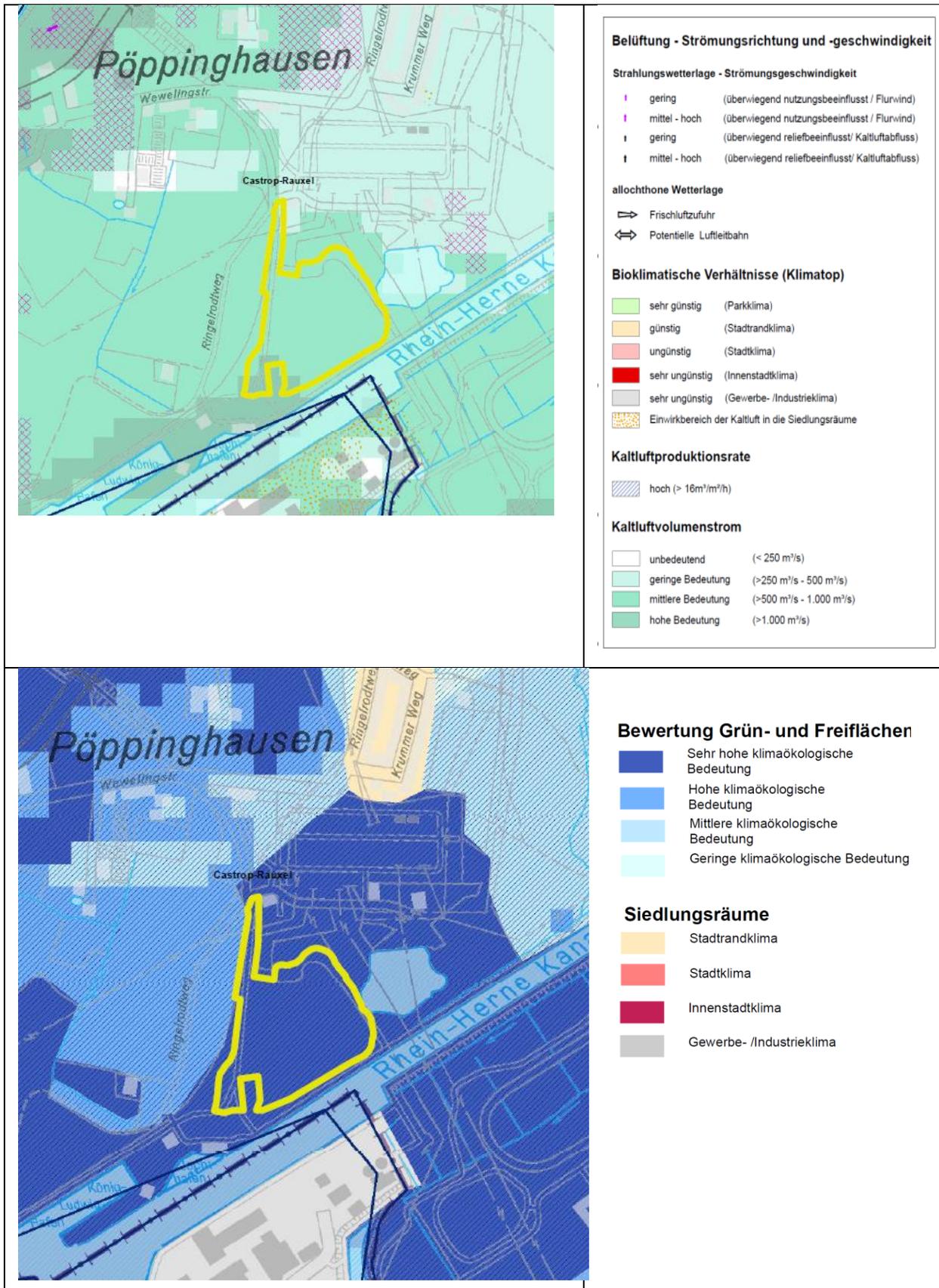
Brachfläche östlich Chemiepark Marl	
Nutzung und klimarelevante Faktoren	
Klimarelevante Faktoren: (Relief, Umfeld)	Östlich des Chemieparks Marl angrenzende Waldfläche als Immissionsschutzpflanzung
Belüftung	
Luftleitbahn:	nein
Kaltluftabfluss:	nein
Ausgleichsströmung:	nein
Kaltluftvolumenstrom:	mit überwiegend hoher Bedeutung
Kaltluftproduktionsrate hoch:	nein
Eindringtiefe der Kaltluft:	nicht relevant
Temperatur und Bioklima	
Nächtl. Abkühlung bei Strahlungswetter:	2 K bis 3 K (gering, Grund: Waldklimatop)
Luftaustauschrate (pro Zelle und Stunde):	20 bis 30 (gering)
Bioklimatische Einstufung:	günstig
Bewertung klimatischer Ausprägungsgrad	
Bewertungsstufe heute:	Ausgleichsraum mit überwiegend sehr hoher Bedeutung
Bewertungsstufe zukünftig:	Ausgleichsraum mit überwiegend sehr hoher Bedeutung
Planungshinweise	
<ul style="list-style-type: none"> • Als Abstandsfläche und Immissionsschutzpflanzung zwischen Bebauung und Chemiepark erhalten 	

14.7 Brachfläche im Forst Haltern, Schacht an der Haard



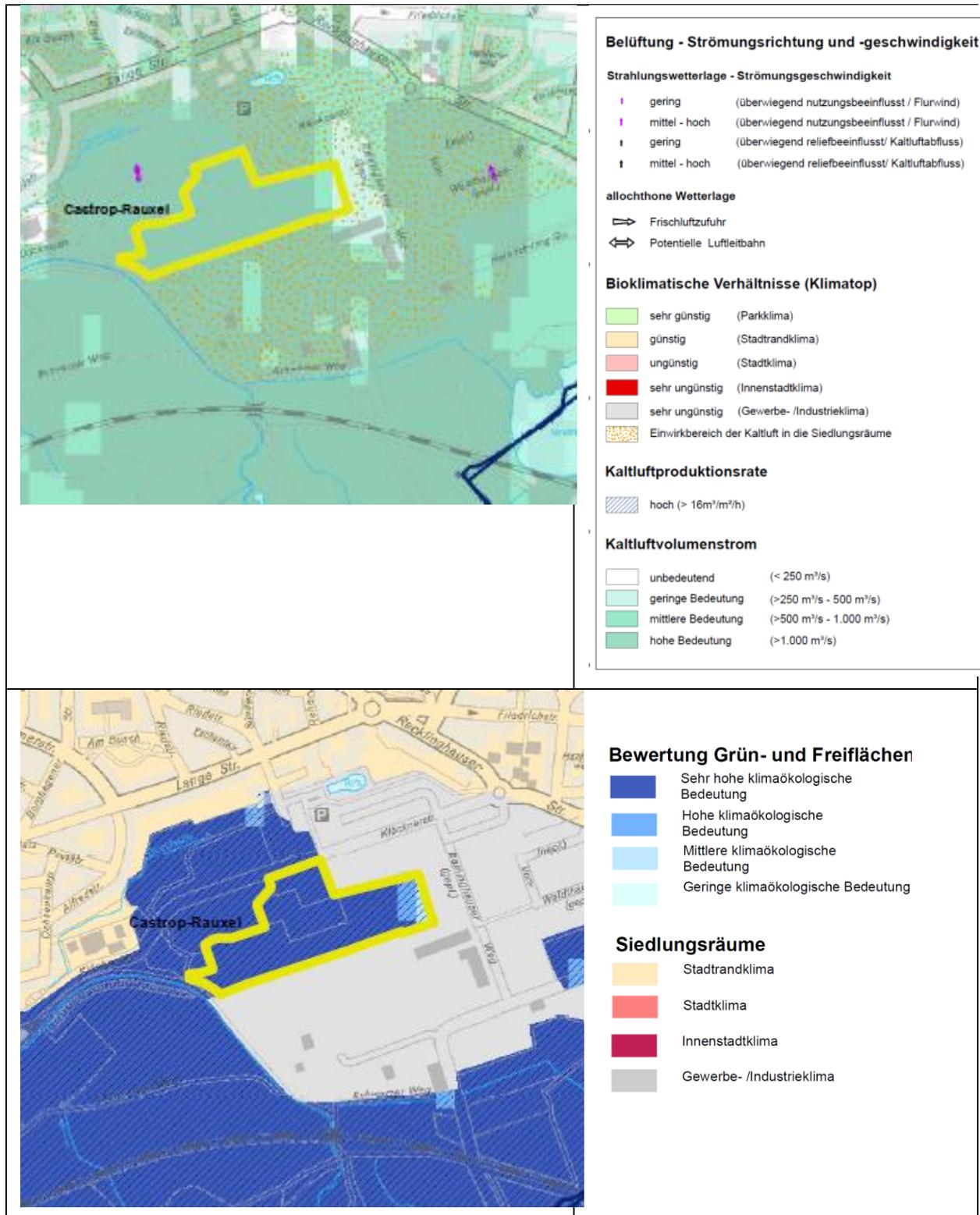
Brachfläche im Forst Haltern, Schacht an der Haard	
Nutzung und klimarelevante Faktoren	
Klimarelevante Faktoren: (Relief, Umfeld)	Ehemalige Schachtanlage im Forst Haltern, umgeben von großen Waldflächen
Belüftung	
Luftleitbahn:	nein
Kaltluftabfluss:	nein
Ausgleichsströmung:	nein
Kaltluftvolumenstrom:	hohe Bedeutung
Kaltluftproduktionsrate hoch:	nein
Eindringtiefe der Kaltluft:	keine Bedeutung
Temperatur und Bioklima	
Nächtl. Abkühlung bei Strahlungswetter:	6 K bis 8 K (mittel bis hoch)
Luftaustauschrate (pro Zelle und Stunde):	60 – 70 (mittel bis hoch)
Bioklimatische Einstufung:	sehr günstig
Bewertung klimatischer Ausprägungsgrad	
Bewertungsstufe heute:	keine
Bewertungsstufe zukünftig:	keine
Planungshinweise	
<ul style="list-style-type: none"> • Aus klimatischer Sicht hat die Fläche keine hohe Bedeutung; ggf. Nutzung als Windenergiestandort prüfen 	

14.8 Castrop-Rauxel, Pöppinghausen



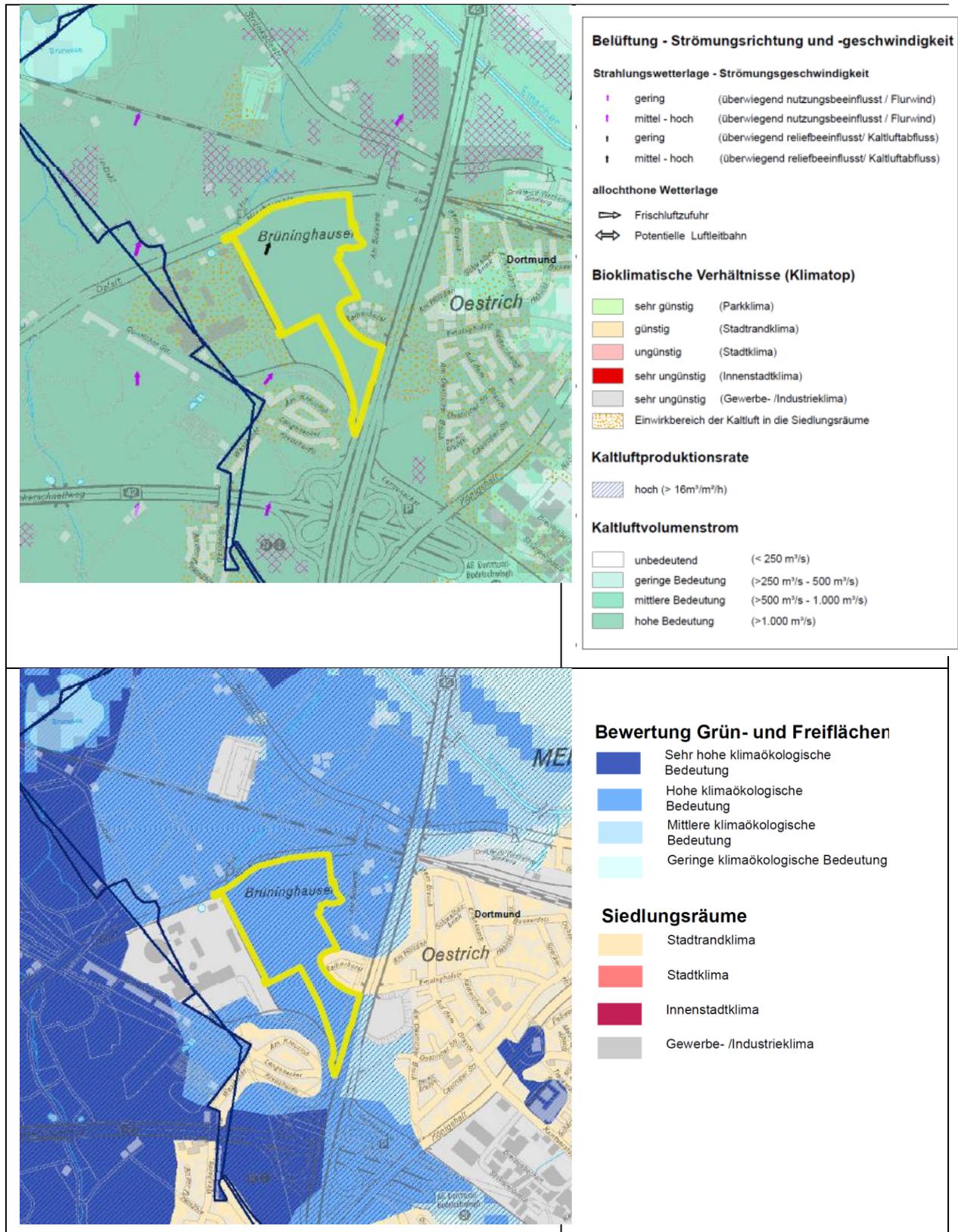
Castrop-Rauxel, Pöppinghausen	
Nutzung und klimarelevante Faktoren	
Klimarelevante Faktoren: (Relief, Umfeld)	Brachfläche am Rhein-Herne-Kanal, umgeben von Auf- forstungsflächen
Belüftung	
Luftleitbahn:	ja
Kaltluftabfluss:	nein
Ausgleichsströmung:	nein
Kaltluftvolumenstrom:	mittlere Bedeutung
Kaltluftproduktionsrate hoch:	nein
Eindringtiefe der Kaltluft:	bis in die südlich angrenzenden Gewerbegebiete
Temperatur und Bioklima	
Nächtl. Abkühlung bei Strahlungs- wetter:	5 K bis 7 K (mittel bis hoch)
Luftaustauschrate (pro Zelle und Stunde):	10 – 30 (gering)
Bioklimatische Einstufung:	günstig
Bewertung klimatischer Ausprägungsgrad	
Bewertungsstufe heute:	Ausgleichsraum mit sehr hoher Bedeutung
Bewertungsstufe zukünftig:	Ausgleichsraum mit sehr hoher Bedeutung
Planungshinweise	
<ul style="list-style-type: none"> • Aus klimatischer Sicht hat die Fläche eine sehr hohe Bedeutung; Erhalt als Bestandteil der Luftleitbahn, möglichst keine hohe, dichte Bepflanzung anlegen (=Belüftungshindernis) 	

14.9 Recycling- und Entsorgungszentrum Castrop-Rauxel



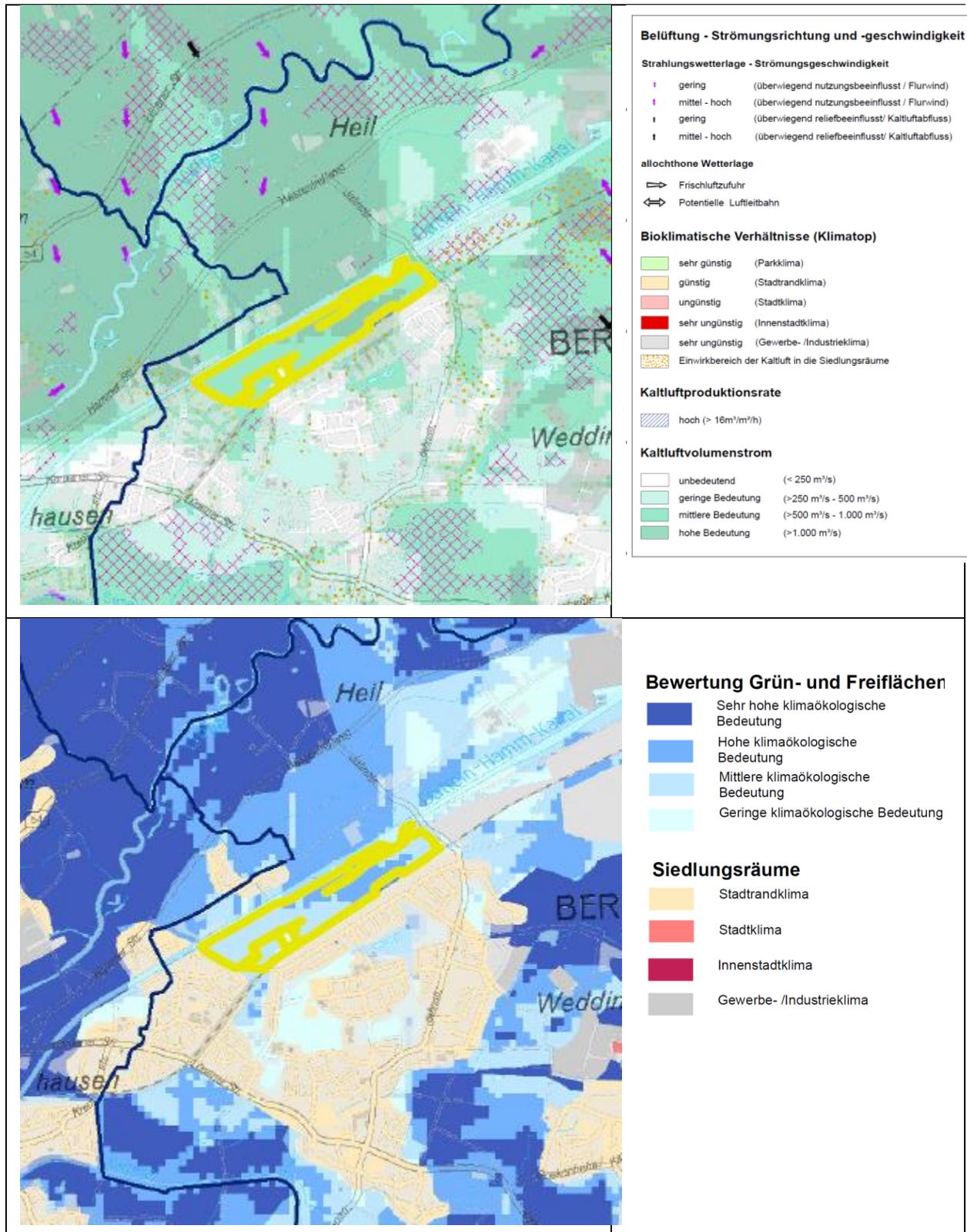
Recycling- und Entsorgungszentrum Castrop-Rauxel	
Nutzung und klimarelevante Faktoren	
Klimarelevante Faktoren: (Relief, Umfeld)	Brachfläche südlich Ickern, südlich angrenzend einzelne Gebäude und größere Waldflächen
Belüftung	
Luftleitbahn:	nein
Kaltluftabfluss:	nein
Ausgleichsströmung:	ja, in Richtung Norden
Kaltluftvolumenstrom:	hohe Bedeutung
Kaltluftproduktionsrate hoch:	nein
Eindringtiefe der Kaltluft:	ca. 400 m, bis in die nördlich angrenzenden Wohngebiete
Temperatur und Bioklima	
Nächtl. Abkühlung bei Strahlungswetter:	7 K bis 8 K (hoch)
Luftaustauschrate (pro Zelle und Stunde):	20 – 30 (gering)
Bioklimatische Einstufung:	sehr günstig
Bewertung klimatischer Ausprägungsgrad	
Bewertungsstufe heute:	Ausgleichsraum mit sehr hoher Bedeutung
Bewertungsstufe zukünftig:	Ausgleichsraum mit sehr hoher Bedeutung
Planungshinweise	
<ul style="list-style-type: none"> • Aus klimatischer Sicht hat die Fläche eine sehr hohe Bedeutung und trägt zur Belüftung der nördlich angrenzenden Wohngebiete bei • Möglichst keine Bebauung und Versiegelung, Erhalt als kaltluftproduzierende Flächen mit Fernwirkung 	

14.10 Dortmund-Brüninghausen



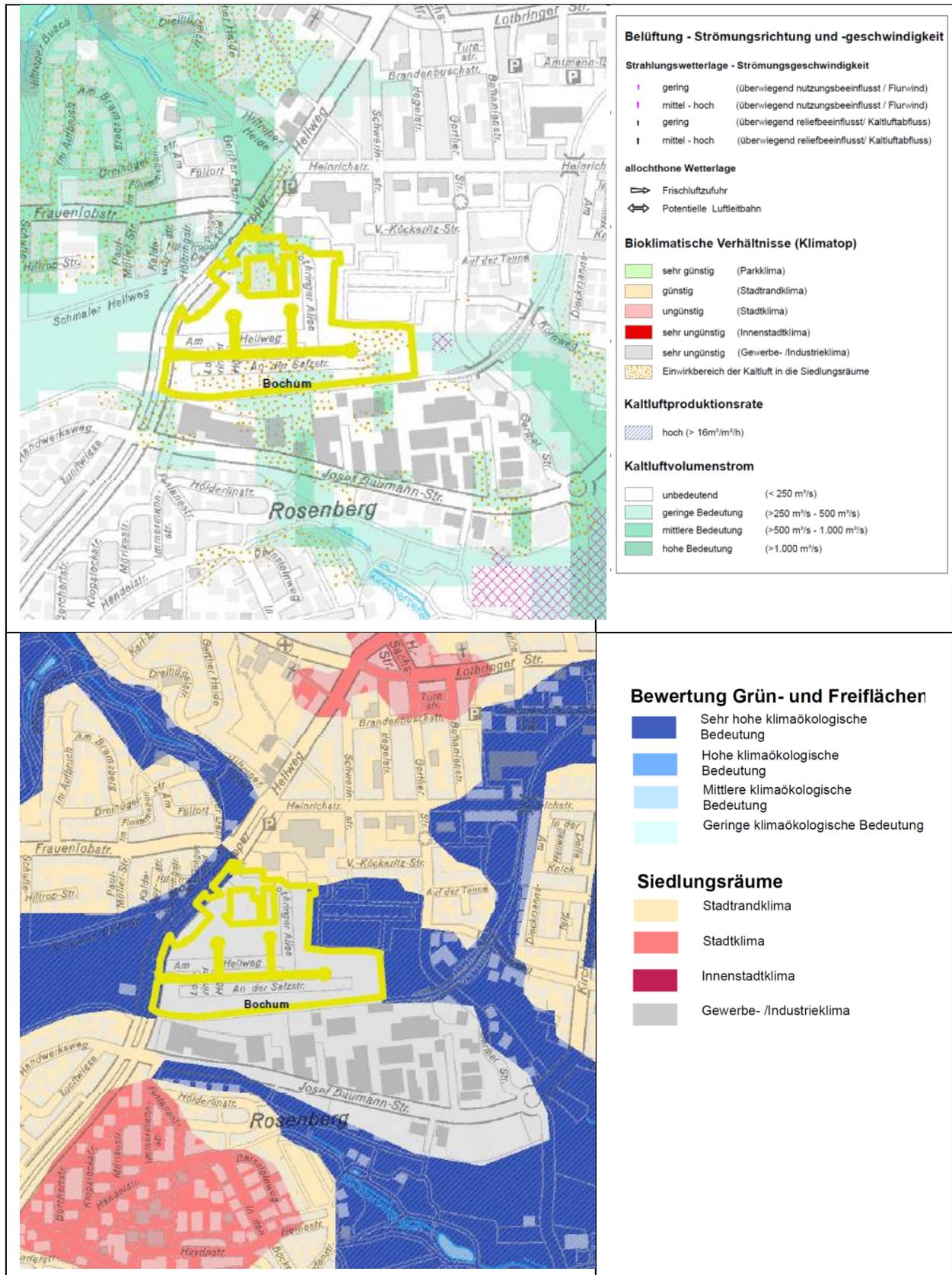
Dortmund-Brüninghausen	
Nutzung und klimarelevante Faktoren	
Klimarelevante Faktoren: (Relief, Umfeld)	Brachfläche im nordwestlichen Stadtrandbereich, teilweise bewaldet, teilweise unbewachsen; Nahe der A 45
Belüftung	
Luftleitbahn:	nein
Kaltluftabfluss:	nein
Ausgleichsströmung:	nein
Kaltluftvolumenstrom:	hohe Bedeutung
Kaltluftproduktionsrate hoch:	nein
Eindringtiefe der Kaltluft:	bis in das westlich angrenzende Industriegebiet (Kraftwerk)
Temperatur und Bioklima	
Nächtl. Abkühlung bei Strahlungswetter:	7 K bis 8 K (hoch)
Luftaustauschrate (pro Zelle und Stunde):	40 – 50 (mittel)
Bioklimatische Einstufung:	sehr günstig
Bewertung klimatischer Ausprägungsgrad	
Bewertungsstufe heute:	Ausgleichsraum mit hoher Bedeutung
Bewertungsstufe zukünftig:	Ausgleichsraum mit sehr hoher Bedeutung
Planungshinweise	
<ul style="list-style-type: none"> • Als Pufferraum zur östlich anschließenden Bebauung möglichst nicht versiegeln, Immissionsschutzpflanzungen anlegen • Im Übergang zum westlich anschließenden Castrop-Rauxel möglichst keine weitere Bebauung, um ein Zusammenwachsen von Lasträumen zu vermeiden 	

14.11 Bergkamen, Datteln-Hamm-Kanal



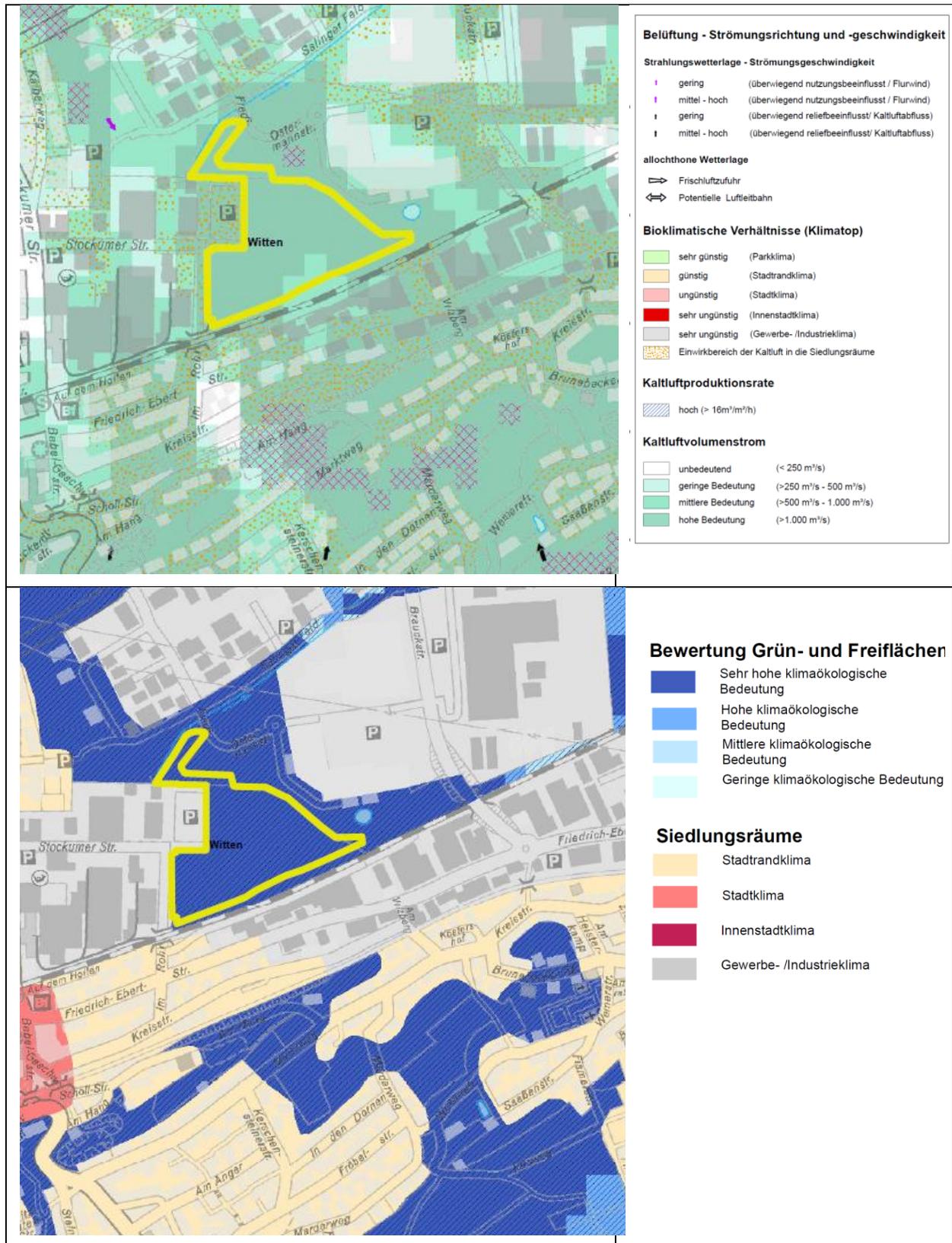
Bergkamen, Datteln-Hamm-Kanal	
Nutzung und klimarelevante Faktoren	
Klimarelevante Faktoren: (Relief, Umfeld)	Gewerbebrache am Datteln-Hamm-Kanal, nördlich anschließend unbebauten Freiland- und kleinere Waldflächen, nach Süden lockere Bebauung
Belüftung	
Luftleitbahn:	nein
Kaltluftabfluss:	nein
Ausgleichsströmung:	nein
Kaltluftvolumenstrom:	mittlere bis hohe Bedeutung
Kaltluftproduktionsrate hoch:	nein
Eindringtiefe der Kaltluft:	in die westlich angrenzende Bebauung
Temperatur und Bioklima	
Nächtl. Abkühlung bei Strahlungswetter:	6 K bis 8 K (mittel bis hoch)
Luftaustauschrate (pro Zelle und Stunde):	10 – 40 (gering)
Bioklimatische Einstufung:	sehr günstig
Bewertung klimatischer Ausprägungsgrad	
Bewertungsstufe heute:	Ausgleichsraum mit mittlerer bis hoher Bedeutung
Bewertungsstufe zukünftig:	Ausgleichsraum mit mittlerer bis hoher Bedeutung
Planungshinweise	
<ul style="list-style-type: none"> • Frischluftlieferant v.a. bei nördlichen und nordöstlichen Windrichtungen; bei Bebauung daher Belüftung aus nördlichen/nordöstlichen Richtungen durch eine entsprechende Gebäudeausrichtung erhalten und möglichst wenig Fläche versiegeln (Dach- und Fassadenbegrünung, Begrünung von Plätzen und Flächen realisieren) 	

14.12 Bochum – Gerthe



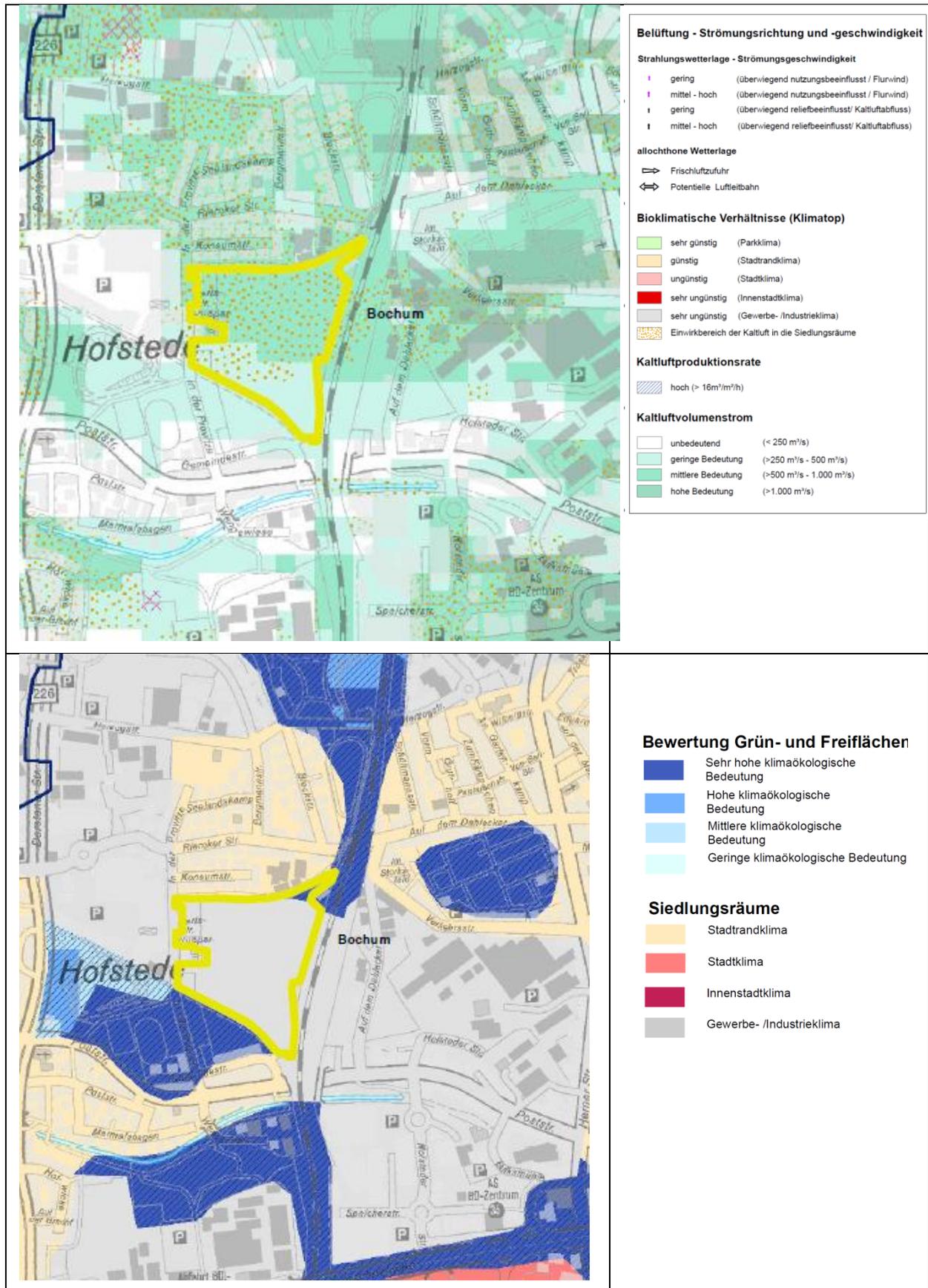
Bochum – Gerthe	
Nutzung und klimarelevante Faktoren	
Klimarelevante Faktoren: (Relief, Umfeld)	Brachfläche in Bochum-Gerthe, Fläche liegt zwischen Wohnbebauung im Süden von Gerthe und Gewerbefläche im Umfeld der Josef-Baumann-Straße
Belüftung	
Luftleitbahn:	nein
Kaltluftabfluss:	nein
Ausgleichsströmung:	nein
Kaltluftvolumenstrom:	nicht relevant
Kaltluftproduktionsrate hoch:	nein
Eindringtiefe der Kaltluft:	nicht relevant
Temperatur und Bioklima	
Nächtl. Abkühlung bei Strahlungswetter:	6 K bis 7 K (mittel bis hoch)
Luftaustauschrate (pro Zelle und Stunde):	nicht relevant (< 10)
Bioklimatische Einstufung:	günstig
Bewertung klimatischer Ausprägungsgrad	
Bewertungsstufe heute:	Keine Bewertung, da Fläche als Gewerbeklimatop kartiert; Einschätzung: mittlere Bedeutung
Bewertungsstufe zukünftig:	Keine Bewertung, da Fläche als Gewerbeklimatop kartiert; Einschätzung: mittlere Bedeutung
Planungshinweise	
<ul style="list-style-type: none"> • Fläche mit geringer Ausgleichsfunktion für das bebaute Umfeld, dennoch als Abstandsfäche zwischen Wohn- und Gewerbebebauung wichtig • Im Falle einer Bebauung dichte Immissions- und Lärmschutzpflanzungen im Übergangsbereich zur Wohnbebauung berücksichtigen; Begrünungsmaßnahmen auf der Fläche realisieren 	

14.13 Witten-Annenn



Witten-Annen	
Nutzung und klimarelevante Faktoren	
Klimarelevante Faktoren: (Relief, Umfeld)	Brachfläche in Witten-Annen, unbebaute Freilandfläche (Freilandklima), von Gewerbeflächen umgeben
Belüftung	
Luftleitbahn:	nein
Kaltluftabfluss:	nein
Ausgleichsströmung:	nein
Kaltluftvolumenstrom:	hoch
Kaltluftproduktionsrate hoch:	nein
Eindringtiefe der Kaltluft:	in die umliegenden Gewerbegebiete
Temperatur und Bioklima	
Nächtl. Abkühlung bei Strahlungswetter:	6 K bis 8 K (mittel bis hoch)
Luftaustauschrate (pro Zelle und Stunde):	30 – 60 (gering bis mittel)
Bioklimatische Einstufung:	sehr günstig bis günstig
Bewertung klimatischer Ausprägungsgrad	
Bewertungsstufe heute:	Ausgleichsraum mit sehr hoher Bedeutung
Bewertungsstufe zukünftig:	Ausgleichsraum mit sehr hoher Bedeutung
Planungshinweise	
<ul style="list-style-type: none"> • Vorbelastung durch umliegende Gewerbebebauung gegeben • Im Falle einer geplanten Bebauung möglichst lockere Bauweise mit relativ geringem Versiegelungsgrad und umfassender Durchgrünung anstreben 	

14.14 Bochum – Hofstede



Bochum – Hofstede	
Nutzung und klimarelevante Faktoren	
Klimarelevante Faktoren: (Relief, Umfeld)	Brachfläche in Bochum-Hofstede, westlich und östlich angrenzende Gewerbefläche, im Nordosten und Süden/Südwesten angrenzende Grünzüge; innerstädtische Lage
Belüftung	
Luftleitbahn:	nein
Kaltluftabfluss:	nein
Ausgleichsströmung:	nein
Kaltluftvolumenstrom:	hoch
Kaltluftproduktionsrate hoch:	nein
Eindringtiefe der Kaltluft:	in die umliegenden Gewerbegebiete
Temperatur und Bioklima	
Nächtl. Abkühlung bei Strahlungswetter:	6 K bis 8 K (mittel bis hoch)
Luftaustauschrate (pro Zelle und Stunde):	30 – 60 (gering bis mittel)
Bioklimatische Einstufung:	sehr günstig bis günstig
Bewertung klimatischer Ausprägungsgrad	
Bewertungsstufe heute:	Keine Bewertung, da als Gewerbefläche ausgewiesen; Einschätzung: Ausgleichsraum mit sehr hoher Bedeutung (Grund: Nähe zu innerstädtischen Problemgebieten)
Bewertungsstufe zukünftig:	Keine Bewertung, da als Gewerbefläche ausgewiesen; Einschätzung: Ausgleichsraum mit sehr hoher Bedeutung (Grund: Nähe zu innerstädtischen Problemgebieten)
Planungshinweise	
<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Versiegelungsgrad im Umfeld; durch nordöstlich und südlich/südwestlich angrenzende Grünzüge besteht die Chance, ein zusammenhängendes Band von Grünzügen durch Einbezug der Brachfläche zu schaffen • Daher: möglichst keine Bebauung, sondern als Puffer- und Abstandfläche zwischen den umliegenden Lasträumen erhalten und weiter ausbauen mit dem Ziel, eine zusammenhängende Grünfläche von der B 226 im Westen bis zur östlich liegenden Bahntrasse und von dort in Richtung Norden als Entlastungsfläche zu schaffen 	

