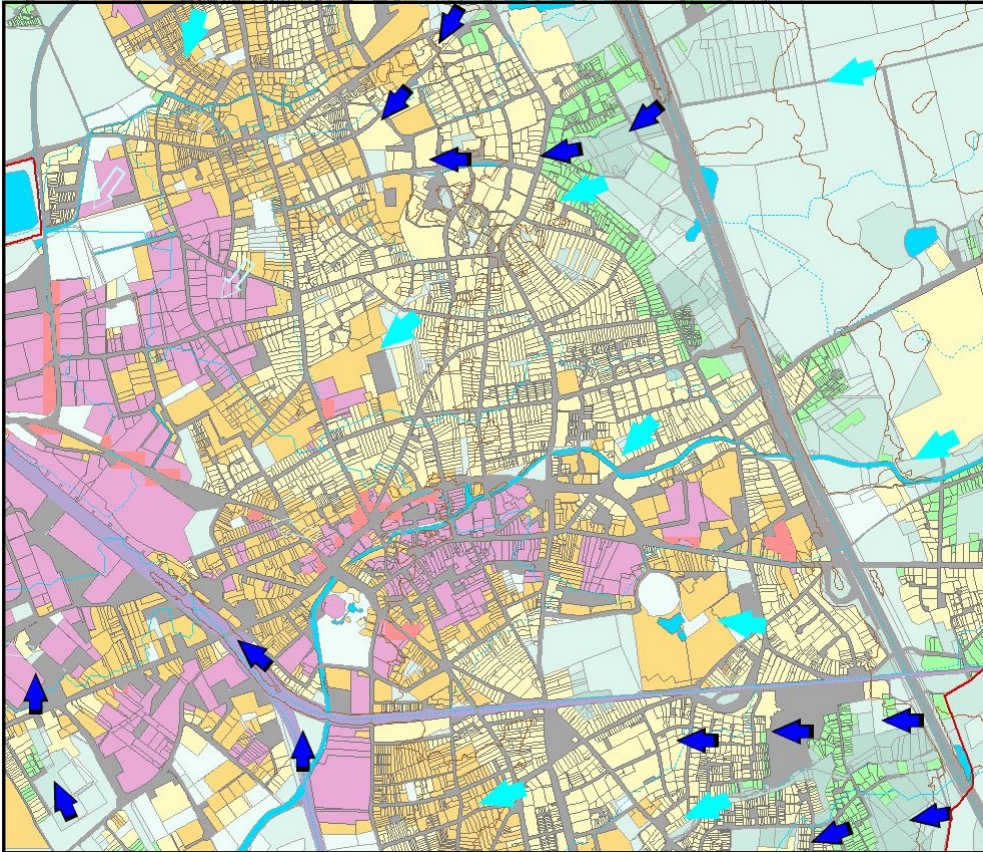


Klima- und immissionsökologische Funktionen im Stadtgebiet Hilden



Auftraggeber:

Stadt Hilden

Am Rathaus 1
40721 Hilden



GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Große Pfahlstraße 5a

3 0 1 6 1 Hannover

Tel. (0511) 3887200

FAX (0511) 3887201

www.geo-net.de

Projektleiter: Peter Trute

email: trute@geo-net.de

In Zusammenarbeit mit:

Prof. Dr. G. Gross

Anerkannt beratender Meteorologe (DMG),

Öffentlich bestellter Gutachter für Kleinklima der IHK Hannover-Hildesheim

Auftrag: Klima- und immissionsökologische Funktionen im Stadtgebiet Hilden

Standort: Stadt Hilden
Bundesland: Nordrhein-Westfalen
Deutschland

Auftraggeber: Stadt Hilden
Am Rathaus 1
40721 Hilden

Projektnummer: 2_08_001

Berichtsnummer: 2_08_001_Hilden-KLIFU_rev02

Version: 3

Datum: 24.08.2009

GEO-NET
Umweltconsulting GmbH

Geschäftsführer:
Dipl.-Geogr. Thorsten Frey
Dipl.-Geogr. Peter Trute
Große Pfahlstraße 5a
D-30161 Hannover
Tel. (0511) 388 72 00
Fax (0511) 388 72 01
info@geo-net.de
www.geo-net.de
Amtsgericht Hannover
HRB 61218
Hannoversche Volksbank eG
KTO. 532 248 000
BLZ 251 900 01

Erstellt von:

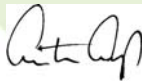


Dr. Christa Etling



Dipl.-Geogr. Dirk Herrmann

Unter Mitarbeit von:



Prof. Dr. Günter Groß



Geprüft von:

Dipl.-Geogr. Peter Trute

Inhaltsverzeichnis

Seite:

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	II
Tabellenverzeichnis.....	II
Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	II
Tabellenverzeichnis.....	IV
1. Aufgabenstellung	5
2. Datengrundlage und Aufbau der Geodatenbasis für die Modellrechnung	6
2.1 Geländehöhe	6
2.2 Nutzungsstruktur	7
3. Methodik der Modellrechnungen	9
3.1 Beschreibung des verwendeten Klima- und Strömungsmodells FITNAH	9
3.2 Rechengebiet und Gitterstruktur	10
3.3 Meteorologische Rahmenbedingungen für die Modellberechnungen	11
4. Klimaanalyse Hilden.....	13
4.1 Messungen meteorologischer Parameter.....	14
4.2 Ergebnisse der Klimamodellierung.....	25
4.2.1 Das bodennahe Lufttemperaturfeld	25
4.2.2 Autochthones Windfeld	28
4.2.3 Kaltluftvolumenstrom	30
5. Ermittlung der lufthygienischen Belastung durch die Quellgruppe Verkehr	33
5.1 Emissionsprognose für verkehrsbedingte Luftschadstoffe	33

5.2	Jahresmittelwerte der Schadstoffe NO ₂ und PM10	35
5.3	Abschätzung der Immissionen mit dem Screeningmodell IMMIS-luft	38
6.	Kenngößen für die regenerativen Energieträger Wind und solare Einstrahlung.....	40
6.1	Windenergie	40
6.2	Solare Einstrahlung	42
7.	Klimaökologische Funktionen.....	44
7.1	Ermittlung der klimaökologischen Struktureinheiten	44
7.2	Klimafunktionskarte	48
7.2.1	Grün- und Freiflächen	49
7.2.2	Siedlungsräume	51
7.2.3	Luftaustausch	55
8	Planungskarte Stadtklima.....	56
8.1	Grün- und Freiflächen	56
8.2	Siedlungsräume	58
8.3	Luftaustausch	59
9	Fazit.....	60
10	Literatur	61
11	Glossar	62

Anhang

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Klassifizierte Nutzungsstruktur im Beurteilungsgebiet.....	8
Abb. 3.1: Rechengebiet für die klima- und immissionsökologischen Berechnungen.....	11
Abb. 3.2: Windrichtungsverteilung der Station Düsseldorf des Deutschen Wetterdienstes.....	12
Abb. 4.1: Lage der Messstandorte und der Messroute.....	15
Abb. 4.2: Verlauf der Lufttemperatur in °C der Messstationen 1 und 2 während der Messkampagne 2008	17
Abb. 4.3: Verlauf der Windgeschwindigkeit in m/s an der Messstation 2 vom 30. Juni bis 31. Juli 2008	18
Abb. 4.4: Bodenwetterkarte: 1. Messnacht 30.Juni – 1.Juli (Deutscher Wetterdienst).	19
Abb. 4.5: Bodenwetterkarte: 2. Messnacht 14.Juli – 15.Juli (Deutscher Wetterdienst)	20
Abb. 4.7: Tagesgang der Lufttemperatur in °C: 2. Messfahrt.	21
Abb. 4.8: Tagesgang der relativen Feuchte in %, 1. Messfahrt	22
Abb. 4.9: Tagesgang der Windgeschwindigkeit in m/s in 2 und 10 m Höhe, 1. Messfahrt.....	23
Abb. 4.10: Tagesgang der Windgeschwindigkeit in m/s in 2 und 10 m Höhe, 2. Messfahrt.....	23
Abb. 4.11: Gemessener Temperaturverlauf während der Messfahrt vom 30.06 bis 01.07.2008.	24
Abb. 4.12: Gemessene Temperaturen während der Messfahrt vom 30.06 bis 01.07.2008.	24
Abb. 4.13: Lufttemperatur in °C (2 m über Grund).	26
Abb. 4.14: Modellierte und gemessene bodennahe Lufttemperatur für das östliche Untersuchungsgebiet.....	27
Abb. 4.15: Modellierte und gemessene bodennahe Lufttemperatur für das südwestliche Stadtgebiet.	28
Abb. 4.16: Strömungsgeschwindigkeit und Windrichtung im Untersuchungsgebiet (Autochtone Wetterlage).	30
Abb. 4.17: Kaltluftvolumenstrom und bodennahes Strömungsfeld.....	32
Abb. 5.1: Jahresmittelwert der NO ₂ -Immission in µg/m ³ im Stadtgebiet von Hilden.	36
Abb. 5.2: Jahresmittelwert der PM ₁₀ -Immission in µg/m ³ im Stadtgebiet von Hilden.....	37
Abb. 6.1: Flächen mit Jahresmittelwerten der Windgeschwindigkeit > 6 m/s in 80 m über Grund.	41
Abb. 6.2: Flächen mit Jahresmittelwerten der Windgeschwindigkeit > 4 m/s in 20 m über Grund.	42
Abb. 6.3: Maximale, astronomisch mögliche solare Strahlungsleistung in kWh pro m ² und Jahr.	43
Abb. 7.1: Klimafunktionen im zentralen und östlichen Bereich von Hilden.....	52
Abb. 7.2: Ausschnitt aus der Klimafunktionskarte, südwestlicher Stadtbereich (Legende s. Abb 7.1)	53

Abb. 7.3: Bioklimatische Belastungssituation der Siedlungsflächen im Stadtgebiet von Hilden.	54
--	----

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1	Allgemeine Kennwerte zum Versiegelungsgrad und zur Strukturhöhe der Nutzungen
Tab. 4.1	Qualitative Einordnung der Kaltluftvolumenströme einzelner Rasterzellen
Tab. 5.1	Gemessenen und berechnete Jahresmittelwerte der Schadstoffe NO ₂ und PM ₁₀ .
Tab. 7.1	Bewertung der mittleren Kaltluftlieferung von Grünflächen.
Tab. 7.2	Qualitative Einordnung des Kaltluftvolumenstroms innerhalb eines Kaltlufteinzugsgebietes.
Tab. 7.3	Qualitative Einordnung der bioklimatischen Belastung der Siedlungsflächen.
Tab. 7.4	Qualitative Einordnung der Kaltluftlieferung von Grünflächen im Stadtgebiet Hilden.
Tab. 7.5	Belastungssituation innerhalb des Siedlungsraumes.

1. Aufgabenstellung

Die Stadt Hilden plant die Aufstellung eines neuen Flächennutzungsplanes für das Stadtgebiet. Aus einer aktuellen, gesamtstädtischen Klimaanalyse unter Einbeziehung des lufthygienischen Zustandes im Stadtgebiet sollen Handlungsleitfäden für die Neuauflage des Flächennutzungsplanes abgeleitet werden. Die Meoterra GmbH in Kooperation mit der GEO-NET Umweltconsulting GmbH wurde von der Stadt Hilden beauftragt, eine gesamtstädtische klimaökologische- und lufthygienische Analyse auf Basis von Messungen und Modellierungen zu erarbeiten. Die Modellierungen werden in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. G. Gross (Universität Hannover – Anerkannt beratender Meteorologe) durchgeführt.

Die vorliegende Untersuchung hat zum Ziel, die unterschiedlichen Teilflächen der Stadt Hilden nach ihren klimatischen Funktionen, d.h. ihrer Wirkungen auf andere Räume, abzugrenzen. Das Ergebnis ist eine aktuelle, komplexe und hochauflösende Karte der klima- und immissionsökologischen Funktionen (Klimafunktionskarte). Als Grundlage für die Bewertung dienen die modellierten meteorologischen Parameter der Klimaanalyse, die durch aktuelle Messungen der Parameter Lufttemperatur, -feuchte und Windgeschwindigkeit im Stadtgebiet ergänzt werden. Betrachtet wurden hierfür sogenannte autochthone Wetterlagen, während der sich die lokalklimatischen Besonderheiten einer Landschaft besonders gut ausprägen. Solche Wetterlagen werden durch vorwiegend wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwachen überlagerten großräumigen Wind gekennzeichnet. Sie entstehen bei antizyklonalen Grosswetterlagen und sind durch einen ausgeprägten Tagesgang der Strahlung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind und Bewölkung geprägt. Durch lokale Temperaturunterschiede entstehen Ausgleichsströmungen. Für eine Klimaanalyse in unseren Breiten stellen diese Wetterlagen üblicherweise den ungünstigsten Fall für die Beurteilung der bioklimatischen Belastung dar. Im Rahmen der Modellierung werden deshalb ausschließlich diese Wetterlagen betrachtet.

Zusätzlich stehen für den Aspekt der verkehrsbedingten Luftbelastung flächendeckende Immissionsfelder als Jahresmittelwerte aus Modelsimulationen zur Verfügung. In diesem Zusammenhang findet das Immissionsfeld für die verkehrstypische Komponente NO₂ als lufthygienischer Belastungsindikator Eingang in die Klimafunktionskarte. Methodischer Ausgangspunkt für die Analyse der klimaökologischen Funktionen ist die Gliederung des Stadtgebietes in:

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

Aus der Abgrenzung von bioklimatisch nicht oder wenig belasteten und belasteten Siedlungsräumen, den sogenannten Gunst- und Ungunsträumen sowie den verbindenden Strukturen ergibt sich somit ein komplexes Bild vom Prozesssystem der Luftaustauschströmungen. Die Vorteile des modellgestützten Ansatzes

ergeben sich aus der Bereitstellung flächendeckender Quantitäten verschiedener Parameter zum Kaltlufthaushalt, wobei auch der dynamische Aspekt im Klimahaushalt ausreichend berücksichtigt wird. Gegenüber beispielsweise einer Thermalscannerbefliegung ergibt sich bei dieser Methode der Vorteil, dass das Luftaustauschgeschehen und die Verhältnisse der bodennahen Atmosphäre umfassend abgebildet werden. Des Weiteren ermöglicht nur die numerische Simulation eine Prognose zukünftiger Entwicklungen. In der hier durchgeführten Klimaanalyse wurde neben flächendeckenden Modellsimulationen auch ein Intensivmessprogramm zur Überprüfung der Modellergebnisse im Bereich Klimaökologie durchgeführt.

Das methodische Vorgehen (Modell, Verfahren, Bewertungsansätze) erlaubt dabei fundierte Aussagen für den Maßstabsbereich 1 : 100 000 bis 1 : 10 000 (F-Plan-Ebene). Eine abschätzende Beurteilung der Auswirkungen von Planungsmaßnahmen ist aber auch auf Bebauungsplanebene gegeben. Im vorliegenden Bericht werden die Arbeiten zur Abgrenzung einzelner Bereiche der Stadt hinsichtlich ihrer klimatischen Funktionen dargestellt und die Ergebnisse in Form einer aktuellen, komplexen und hochauflösenden Klimafunktionskarte zusammengefasst.

2. Datengrundlage und Aufbau der Geodatenbasis für die Modellrechnung

Das Untersuchungsgebiet, dass das Stadtgebiet von Hilden sowie die nähere Umgebung einschließt, umfasst eine Fläche von etwa 75 km². Für einen Großteil des Rechengebietes standen ATKIS Basis-DLM Daten zur Verfügung. In dem südwestlichen Bereich des Gebietes wurde der Datenbestand durch Ergebnisse aus dem CORINE Land-Cover-Projekt (EUROPEAN COMMISSION 1994) Höhendaten ergänzt. Zur Aufbereitung und Vereinheitlichung der Datengrundlage wurden die Geographischen Informationssysteme ArcView 3.2 und ArcGIS 9.2 der Firma ESRI eingesetzt.

2.1 Geländehöhe

Zur Bereitstellung der orographischen Eingangsparameter für die Berechnung des Wind- und Temperaturfeldes wurde aus den Daten des ATKIS Basis-DLM (Digitales Geländemodell) und aus den eingefügten zusätzlichen Höhendaten aus dem CORINE Land-Cover-Projekt ein einheitliches Höhenmodell für den Untersuchungsraum generiert. Die Zellengröße des erzeugten Modelleingangsrasters beträgt 60 m. Der höchstgelegene Geländepunkt liegt im nord-östlichen Bereich des Untersuchungsgebietes mit einer Höhe von etwa 140 m über NN im Bereich der Ortschaft Haan, der niedrigste Geländepunkt liegt im Bereich der Rheinniederung. Damit ergibt sich, ausgehend von der Rheinniederung (ca. 40 m ü. NN) eine Höhendifferenz von bis zu 100 m.

2.2 Nutzungsstruktur

Die Aufbereitung der Landnutzung basiert ebenfalls auf den ATKIS Daten und Corine-Landnutzungsinformationen. Die Daten wurden anhand von aktuellen Luftbildern, die von der Stadt Hilden zur Verfügung gestellt wurden und topographischen Karten aktualisiert und abgeglichen.

Ein wichtiger Modelleingangsparameter stellt darüber hinaus die Höhe der Baustrukturen dar, die einen wesentlichen Einfluss auf das lokale Windfeld ausübt. In der vorhandene Datenebene sind jedoch keine Angaben zu den Gebäudehöhen enthalten. Für die Einordnung der Strukturhöhe und des Oberflächenversiegelungsgrades wurden daher nutzungsklassifiziert vorliegende Literaturdaten (u.a. MOSIMANN et al. 1999) genutzt, die auf empirisch gewonnenen Untersuchungsergebnissen aus mehreren norddeutschen Städten beruhen. Um den speziellen Anforderungen der Modellanalyse gerecht werden zu können, wird bei der Aufbereitung der Nutzungsstrukturen üblicherweise ein vereinfachter, 14-klassiger Nutzungsschlüssel verwendet (s. Tabelle 2.1). Der Schlüssel wurde vor allem auch dahingehend definiert, eine problemlose Zuweisung des mittleren Versiegelungsgrades auf Basis der in den Eingangs- und Literaturdaten vorkommenden Nutzungsklassifizierungen möglich zu machen. Aus der Verknüpfung der unterschiedlichen Datenquellen wird so eine aktuelle Informationsebene zur Realnutzung, Strukturhöhe und Oberflächenversiegelung aufgebaut.

Da die Stadt Hilden in Ihrem Zentrum keine typische Zentrumsbebauung mit hohen Gebäuden und einem sehr hohen Versiegelungsgrad aufweist (typischer Weise mittlere Strukturhöhe von 25 m mit einem Versiegelungsgrad von ca. 95 %), wird für die Modellrechnungen die Nutzungsstruktur 1 für Zentrumsbebauung nicht verwendet. Die vergleichsweise lockere Bebauung des Zentrums wird in den durchgeführten Modellrechnungen über die Nutzungsklasse 2 beschrieben. Abbildung 2.1 zeigt die klassifizierte Nutzungsstruktur im Beurteilungsgebiet.

Tabelle 2.1: Allgemeine Kennwerte zum Versiegelungsgrad und zur Strukturhöhe der Nutzungen

Nutzungsstruktur	Mittlerer Versiegelungsgrad in %	Mittlere Strukturhöhe in m
1 Zentrum, Stadtteilzentrum	(95)	(25,0)
2 Block- u. Blockrandbebauung	78	15,0
3 Industrie- u. Gewerbefläche	80	12,5
4 Zeilen- u. Hochhausbebauung	55	15
5 Einzel- u. Reihenhausbauung	40	5,0
6 Straße, Parkplatz u.ä.	95	0,0
7 Schienenverkehrsfläche	25	1,0
8 Kleingarten, Friedhof, Spiel- u. Sportplatz	25	5,0
9 Offene Landwirtschaftsfläche, Brachland, Parkwiese	5	1,0
10 Gehölz, Garten- u. Obstbau	5	2,5
11 Laubwald	5	12,5
12 Nadelwald	5	12,5
13 Mischwald	5	12,5
14 Gewässer	0	0

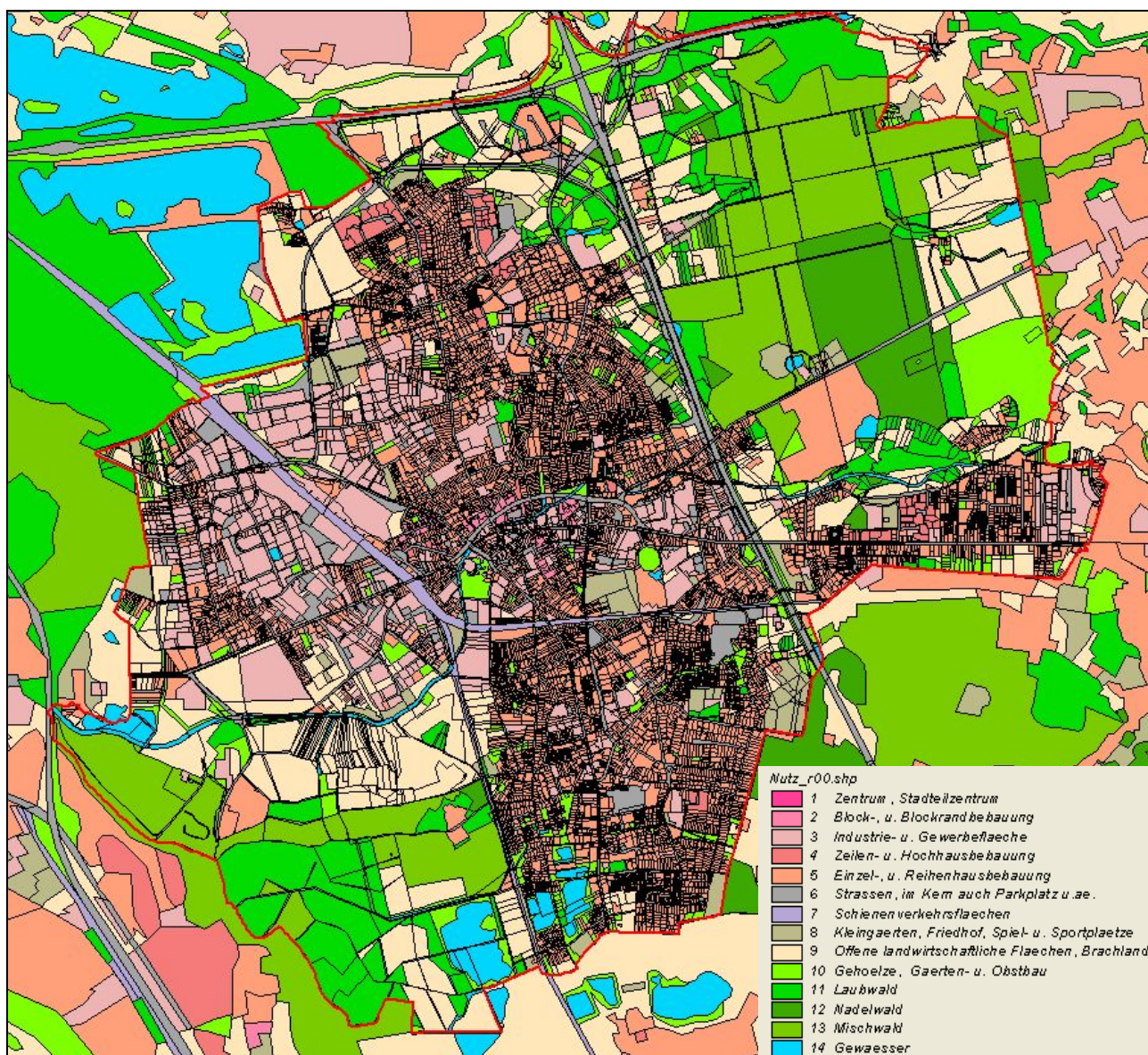


Abb. 2.1: Klassifizierte Nutzungsstruktur im Beurteilungsgebiet

3. Methodik der Modellrechnungen

3.1 Beschreibung des verwendeten Klima- und Strömungsmodells FITNAH

Eine wichtige Ursache für die Entstehung und die Ausbildung eines typischen lokalklimatischen Gefüges sind die unterschiedlichen Boden- und Oberflächeneigenschaften der verschiedenen genutzten Räume. Daraus resultieren Temperaturdifferenzen der einzelnen Teilräume untereinander und dynamische Luftausgleichsbewegungen zwischen ihnen (z.B. Flurwindssysteme). Wind und Temperatur sowie daraus abgeleitete Größen sind die dominierenden Einflussfaktoren zur Bewertung des Lokalklimas unter human-biometeorologischen und lufthygienischen Gesichtspunkten.

Die detaillierte Berechnung der Wind- und Temperaturverhältnisse für das Stadtgebiet Hilden wurde mit dem **Modell FITNAH** (Flow over Irregular Terrain with Natural and Anthropogenic Heat Sources) durchgeführt. Eine genaue mathematische und physikalische Beschreibung des Modells ist bei GROSS (1993) zu finden.

Numerische Simulationsmodelle werden in sehr vielen Gebieten der Meteorologie eingesetzt, und die resultierenden Erkenntnisse liefern wichtige Basisinformationen für viele Lebensbereiche. Die Wettervorhersage für die nächsten 1-10 Tage wird fast ausschließlich von solchen komplexen und umfangreichen Computermodellen erstellt. Auch die Erkenntnisse zu den möglichen Veränderungen unseres globalen Klimas in den nächsten Jahrzehnten resultieren aus solchen Rechnungen. Schließlich werden Modelle ähnlichen Typs auch dazu verwendet, die lokalen und die regionalen Verteilungen der meteorologischen Variablen in der Atmosphäre zu berechnen (GROSS 2002).

Die o.g. Computermodelle für die verschiedenen Skalen und Aufgabenstellungen basieren alle auf dem gleichen mathematisch-physikalischen Gleichungssystem. Lediglich im Detail finden sich skalenspezifische Unterschiede. Das Grundgerüst des dreidimensionalen Modells FITNAH besteht aus den Erhaltungsgleichungen für Impuls, Masse und innerer Energie sowie Bilanzgleichungen für Luftfeuchte und Luftbeimengungen.

Bei detaillierten Simulationen in realem Gelände müssen neben der Orographie insbesondere auch die Einflüsse von Wäldern und urbanen Strukturen auf die Verteilung der meteorologischen Größen realitätsnah berücksichtigt werden. Hierzu sind in FITNAH besondere Parametrisierungen vorgesehen. Ein Wald oder Baumbestand findet über bestandsspezifische Größen wie Baumhöhe, Bestandsdichte und Baumart Eingang in das Modell. Damit gelingt es u.a., die Reduzierung der mittleren Windgeschwindigkeit im Bestand, die Erhöhung der Turbulenz im Kronenbereich und die starke nächtliche Abkühlung im oberen Kronendrittel in Übereinstimmung mit verfügbaren Beobachtungen zu simulieren. Unter Berücksichtigung der stadt spezifischen Größen Gebäudehöhe, Versiegelungs- und Überbauungsgrad sowie anthropogene Abwärme kann die typische Ausbildung der städtischen Wärmeinsel bei verringerter mittlerer Strömung simuliert werden (z. B. Gross 1989). Das gesamte Gleichungssystem des Modells wird in ein Koordinatensystem übertragen das der Geländeoberfläche folgt. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, insbesondere die Randbedingungen der

verschiedenen meteorologischen Größen am unteren Rand, dem Erdboden, problemspezifisch zu formulieren.

Das Modell FITNAH ist auch für die Strömungs- und Ausbreitungsverhältnisse in urban geprägten Räumen ausgelegt. Eine Abschätzung der räumlichen Auswirkungen verkehrsbedingter Emissionen kann im allgemeinen Fall nur mit Hilfe entsprechender Modelle erfolgen. Solche Modelle wurden in der Vergangenheit auf ihre Realitätsnähe hin getestet (RÖCKLE & RICHTER 1995; SCHÄDLER et al. 1996; EICHHORN 1995). Sie sind in vorteilhafter Weise in der Lage, die aufgrund der großen Komplexität der Nutzungsstrukturen räumlich und zeitlich sehr stark veränderlichen meteorologischen Größen zu erfassen.

3.2 Rechengebiet und Gitterstruktur

Das Gleichungssystem des Modells wird in ein Koordinatensystem übertragen das der Geländeoberfläche folgt. Die Berechnung der einzelnen meteorologischen Größen erfolgt dann an festgelegten, einzelnen Punkten innerhalb dieses Koordinatensystems, den sogenannten Gitterpunkten.

In dem vorliegenden Fall wurden die Modellrechnungen für die Klima- und Schadstoffanalyse sowie die Windpotentialstudie innerhalb des gleichen Rechengebietes mit entsprechend einheitlicher Gitterstruktur durchgeführt. Die horizontalen Maschenweiten wurden äquidistant, mit einer Rasterweite Δx von 60 m gewählt. Bei allen Modellrechnungen wird ein vertikal gestrecktes Gitter verwendet, in dem die untersten Rechenschichten besonders dicht angeordnet sind, um die starke Variation der meteorologischen Größen in Bodennähe realistisch zu erfassen. So liegen die untersten Rechenflächen in Höhen von 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 und 70 m, nach oben hin wird der Abstand Δz immer größer. Die Modellobergrenze 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 Klimaparameter sowie der Immissionskonzentrationen beziehen sich auf das bodennahe Niveau der Modellrechnung (2 m über Grund = Aufenthaltsbereich der Menschen). Für die Windpotentialstudie wurde das Niveau typische Narbenhöhen von Windkraftanlagen (große Anlagen mit Leistungen ≥ 1 MW: 80 m, Kleinwindanlagen mit Leistung < 5 kW: 20 m) ausgewertet. Abbildung 3.1 zeigt das Rechengebiet. Die Stadtgrenze von Hilden ist rot gekennzeichnet, Siedlungsräume des Stadtgebietes sind als graue Flächen zu erkennen. Die blau gekennzeichneten Straßen wurden bei der Berechnung der verkehrsbedingten Emissionen berücksichtigt.

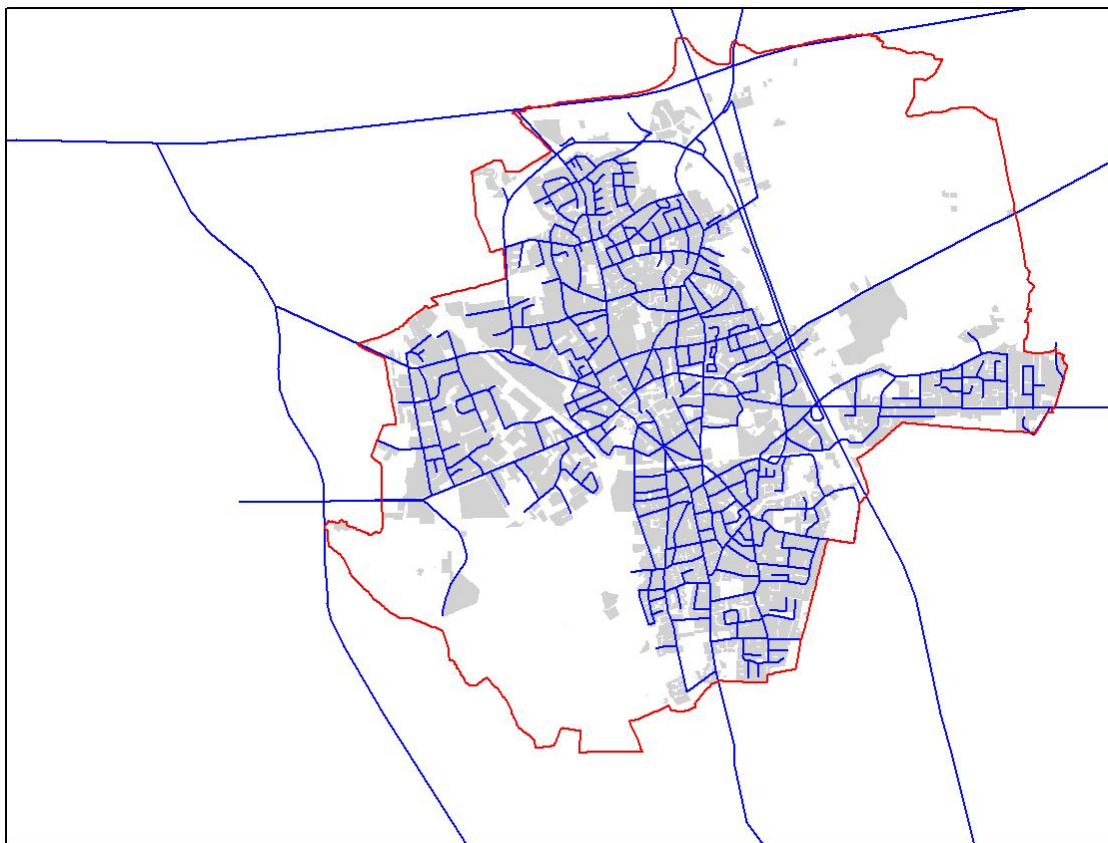


Abb. 3.1: Rechengebiet für die klima- und immissionsökologischen Berechnungen.

3.3 Meteorologische Rahmenbedingungen für die Modellberechnungen

Modellrechnung Kaltlufthaushalt

Während autochthoner Wetterlagen können sich die lokalklimatischen Besonderheiten einer Landschaft besonders gut ausprägen. Eine solche Wetterlage wird durch vorwiegend wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwachen überlagerten großräumigen Wind gekennzeichnet. Sie entstehen bei antizyklonalen Grosswetterlagen und sind durch einen ausgeprägten Tagesgang der Strahlung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind und Bewölkung geprägt. Durch lokale Temperaturunterschiede entstehen Ausgleichsströmungen. Für eine Klimaaanalyse werden diese Wetterlagen üblicherweise als ungünstigster Fall für die Beurteilung der bioklimatischen Belastung betrachtet. Im Rahmen der Modellierung werden deshalb ausschließlich diese Wetterlagen betrachtet. Auch für die lufthygienische Situation stellen diese schwachwindigen Wetterlagen äußerst ungünstige Situationen dar, da freigesetzte Schadstoffe häufig nur unzureichend vermischt und weitertransportiert werden. Eine Auswertung der Wetterdaten von Düsseldorf zeigt, dass solche Wettersituationen in der hier betrachteten Region in etwa 16 % der Jahresstunden auftreten. Bei der hier durchgeführten numerischen Simulation zum Kaltlufthaushalt wurden die folgenden großräumigen meteorologischen Rahmenbedingungen festgelegt:

- Bedeckungsgrad 0/8,
- kein überlagerter großräumiger Wind,
- relative Feuchte der Luftmasse 50%.

Modellrechnungen zur Lufthygiene und Windpotentialstudie

Zur Beurteilung der Lufthygienischen Situation werden Jahresmittelwerte der Zusatzbelastungen ausgewählter Schadstoffe betrachtet und mit den entsprechenden Jahres-Immissionswerten der 22. BImSchV bzw. TA-Luft verglichen. Die Berechnung von Jahresmittelwerten sollte auf Grundlage einer für den Ort typischen Verteilung der Windrichtung und Ausbreitungsbedingungen erfolgen. Diese Informationen sind in einer Ausbreitungsklassenstatistik zusammengefasst, in der über einen Zeitraum von in der Regel 10 Jahren die Parameter Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten sowie die Stabilität der Atmosphäre Eingang finden. So ist gewährleistet, dass die langfristigen meteorologischen Verhältnisse in der Ausbreitungsrechnung berücksichtigt werden. Für die lufthygienischen Berechnungen wurde eine 10 jährige Ausbreitungsklassenstatistik (1998–2007) der dem Standort Hilden am nächsten gelegene Station Düsseldorf des Deutschen Wetterdienstes verwendet. Abbildung 3.2 zeigt die Windrichtungsverteilung an der Station Düsseldorf (Flughafen). Die Windverteilung spiegelt die charakteristischen Strömungsverhältnisse in dem betrachteten Bereich des Rheintals wieder. Die Ausrichtung des Rheintals sowie die östlich des Rheins verlaufenden Hangzonen des Bergischen Landes führen zu einer Kanalisierung der Winde aus südlichen Richtungen, so dass neben dem regional typischen Windmaximum aus südwestlichen Richtungen ein zweites Maximum für Anströmungen aus Südsüdost auftritt. Für die Simulationen wurden diese Windverhältnisse für einen Punkt am westlichen Modellrand angenommen. Für die Ermittlung möglicher Vorrangflächen für eine Windenergienutzung wurden ebenfalls die Windverhältnisse der Station Düsseldorf verwendet.

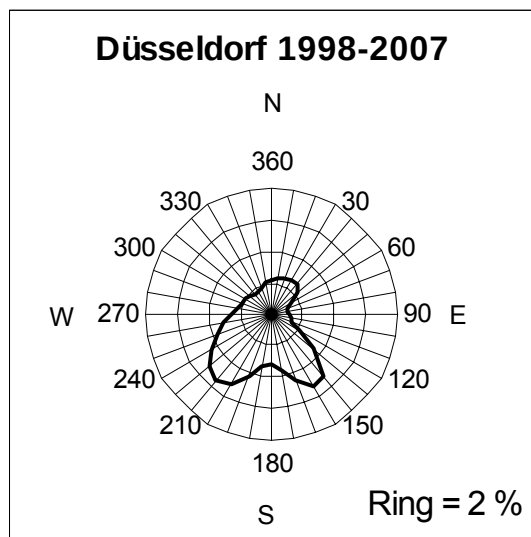


Abb. 3.2: Windrichtungsverteilung der Station Düsseldorf des Deutschen Wetterdienstes.

4. Klimaanalyse Hilden

Hilden liegt in einem überwiegend maritim geprägten Bereich, mit allgemein kühlen Sommern und milden Wintern (Klima-Atlas von Nordrhein-Westfalen, 1989). Gelegentlich setzt sich aber auch kontinentaler Einfluss mit länger anhaltenden Hochdruckphasen durch. Dann kann es im Sommer bei schwachen östlichen oder südöstlichen Winden zu höheren Temperaturen und trockenem sommerlichen Wetter kommen. Im Winter sind solche kontinental geprägten Wetterlagen durchweg mit Kälteperioden verbunden. Nach der Klassifikation von Köppen zählt Nordrhein-Westfalen insgesamt zum warm gemäßigten Regenklimate, bei dem die mittlere Lufttemperatur des wärmsten Monats unter 22 °C und die des kältesten Monats über –3 °C bleibt. Die z.T. ausgeprägte Struktur des Reliefs innerhalb des Bundeslandes bewirkt aber deutliche klimatische Unterschiede. Die Niederungen, mit Niederrheinischem Tiefland, Niederrheinscher Bucht, die Westfälische Bucht sowie Lagen unter einem Höhengniveau von 150 m über NN, sind gekennzeichnet durch Jahresmittel der Lufttemperatur von über 9 °C, Windgeschwindigkeitsmitteln von 3 bis 3,5 m/s und Niederschlägen, deren Hauptanteil im Sommer fällt, wenn durch stärkere Einstrahlung Schauer und Gewitter auftreten. In den Ballungsräumen entlang des Rheins und der Ruhr entstehen durch anthropogene Einflüsse spezielle Stadtklimate, die sich unter anderem durch Wärmeinseleffekte auszeichnen, die im Sommer zu hohen bioklimatischen Belastungen führen können und im Winter auch mit hohen Schadstoffkonzentrationen verbunden sein können.

Die Stadt Hilden liegt mit einem durchschnittlichen Höhengniveau von etwa 50 m über NN am nordöstlichen Randbereich der Niederrheinischen Bucht. Östlich des Stadtgebietes steigt das Gelände an. Westlich grenzt das Stadtgebiet von Düsseldorf an, südwestlich liegen in einer Distanz von nur etwa 3 km die Rheinauen. Die Rheinniederungen verlaufen in diesem Bereich von Südsüdost nach Nordnordwest. Die Ausrichtung des Rheintals sowie die östlich des Rheins verlaufenden Hangzonen des Bergischen Landes führen zu einer Kanalisierung der Winde aus südlichen Richtungen, so dass neben dem für die Klimazone allgemein charakteristischem Windmaximum aus südwestlichen Richtungen ein zweites Maximum für Anströmungen aus Südsüdost auftritt.

Bei Schwachwindwetterlagen kommt es zu Luftaustauschströmungen zwischen kühleren Randbereichen der Stadt und den dicht bebauten innerstädtischen Bereichen von Hilden. In dicht bebauten Stadtteilen kann es bei sommerlichen Hochdrucklagen zu Überwärmungen kommen, die durchaus zu Beeinträchtigungen des Wohlbefindens und der Gesundheit der Bewohner führen können. Diese sogenannten Wärmeinseln über Innenstadtbereichen bewirken tagsüber ein Aufsteigen der erwärmten Luft und ein bodennahes Zufließen von kühlerer Luft aus dem Umland. Während der nächtlichen Abkühlung fließt kühler Umgebungsluft vor allem entlang der östlichen Hangbereiche aber auch aus stadtnahen Freiflächen in das Stadtgebiet ein. Da der Zustrom bodennah, mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten erfolgt, kann dieser Luftaustausch nur entlang von Flächen ohne blockierende Strömungshindernisse, auf sogenannten Leitbahnen erfolgen. Der Erhalt von Leitbahnen sowie der wichtigen Kaltluft produzierenden Flächen ist damit ein wesentlicher Bestandteil zur Schaffung eines günstigen Stadtklimas vor allem während autochtoner Wetterlagen.

Im Rahmen dieser Klimaaanalyse sollen unter anderem die wichtigen Kaltluftproduktionsflächen sowie Kaltluftleitbahnen analysiert werden.

Die Untersuchung und Erfassung des Lokalklimas kann dabei mit Hilfe verschiedener Methoden erfolgen. Hierzu zählen Feldmessungen und Fernerkundungsverfahren genauso wie Windkanalstudien und die Anwendung numerischer Simulationsmodelle. Gerade numerische Simulationsmodelle sind dabei in vorteilhafter Weise in der Lage, die aufgrund der großen Komplexität der Nutzungsstrukturen räumlich und zeitlich sehr stark veränderlichen meteorologischen Größen zu erfassen.

In dem vorliegenden Fall erfolgte die Analyse sowohl durch meteorologische Messungen als auch durch flächendeckende numerische Simulationen. Als Grundlage für die Analyse wurden windschwacher Hochdruckwetterlagen im Sommer (sogenannte Strahlungswetterlagen) ausgewählt, die durch einen ausgeprägten Tagesgang der solaren Strahlung und der daran gekoppelten meteorologischen Parameter Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind und Bewölkung geprägt sind. Ortspezifische, stadtklimatische Effekte können sich vor allem während dieser Wetterlagen entwickeln. Auslöser dieser Prozesse sind lokale Temperaturunterschiede zwischen vergleichsweise warmen Siedlungsräumen und kühleren vegetationsgeprägten Freiflächen, durch die Ausgleichsströmungen entstehen. Diese Wetterlagen stellen in unseren Breiten die ungünstigsten Situationen für eine bioklimatische und häufig auch lufthygienische Belastung da. Typische Westwindlagen sind in unseren Städten in der Regel nicht mit hohen bioklimatischen und auch lufthygienischen Belastungen verbunden.

An zwei stationären Messmasten im Stadtgebiet wurden über einen Zeitraum von etwa 2 Monaten meteorologische Messungen durchgeführt. Zusätzlich erfolgten bei Messfahrten während zweier sommerlicher Strahlungsnächte Registrierungen von Lufttemperatur und –feuchte. Die Messrouten wurden so gewählt, dass möglichst viele stadtklimatisch relevante Bereiche abgedeckt werden. Eine flächendeckende Bestandsaufnahme des Stadtklimas erfolgte dann mittels numerischer Simulation einer sommerlichen Strahlungswetterlage mit dem Modell FITNAH. Die gewonnenen Modellergebnisse konnten dann anhand der Messdaten überprüft werden. Zur Beurteilung der lufthygienischen Situation im Untersuchungsgebiet werden auf Grundlage einer Statistik der meteorologischen Situationen zusätzlich Immissionsfelder der Quellgruppe Verkehr mit dem Modell FITNAH simuliert.

4.1 Messungen meteorologischer Parameter

Für die stationären Messungen wurde ein Standort im Innenstadtbereich (Station1: Rathaus) sowie ein Standort am Stadtrand (Station2: Horster Allee) ausgewählt. Zusätzlich wurden an zwei wolkenlosen Nächten während hochsommerlicher Hochdrucklagen Messfahrten durchgeführt, um auch flächenhafte Informationen zum nächtlichen Temperatur- und Feuchtefeld zu erhalten. Die Fahrstrecke wurde so gewählt, dass möglichst viele unterschiedliche Bebauungs- und Nutzungsstrukturen in einem relativ engen Zeitrahmen abgefahren werden konnten. Für einen Temperaturabgleich mit den stationären Messungen führte die Route

auch an den beiden Messstationen vorbei. Abbildung 4.1 zeigt die Standorte der Messstationen im Stadtgebiet sowie die Route der Messfahrten.

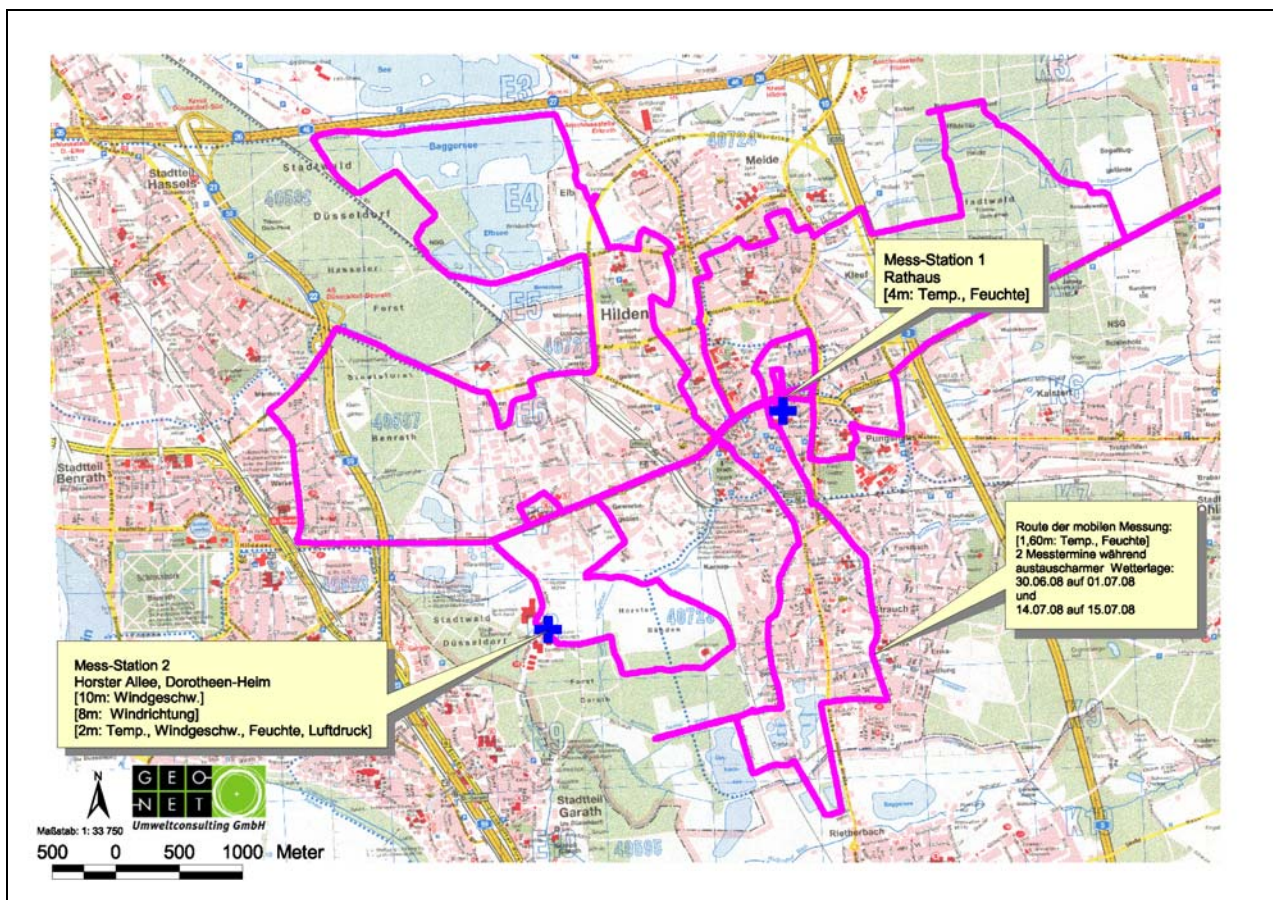


Abb. 4.1: Lage der Messstandorte und der Messroute

Am Messstandort 1, der einen innerstädtischen Bereich repräsentiert, wurden in 4 m Höhe Lufttemperatur- und -feuchte in 10 Minuten Intervallen aufgezeichnet. Abweichend von der meteorologischen Standardmesshöhe 2 m wurde die Messhöhe auf 4 m erhöht, um mögliche Manipulationen oder Beschädigungen an den Messgeräten an dem leicht zugänglichen Messplatz zu vermeiden. Der Standort kann als kleine parkähnlichen Grünfläche mit umgebenden Bäumen und Gebüsch sowie versiegelten Wegeflächen im Innenstadtbereich charakterisiert werden. Der Standort befand sich in kurzer Distanz nördlich der Gebäude der Stadtverwaltung. Von einer Windmessung wurde am Standort 1 abgesehen, da im direkten Einflussbereich der Gebäude keine repräsentativen Ergebnisse zu erwarten sind.

Der Messstandort 2 liegt außerhalb des städtisch bebauten Bereiches im Südwesten der Stadt an einer Seitenstrasse der Horster Allee unweit der Seniorenwohnanlage und des Dorotheenheims. Die direkte Umgebung des Standortes wird landwirtschaftlich genutzt, der Messmast selbst befand sich auf einer Wiese, an die südlich eine Straße mit Baumbestand angrenzt. Südlich der Straße befinden sich bis zu 8-geschossige Gebäude in Blockbauweise. In weiterer Entfernung schließen sich im Süden ausgedehnte Waldflächen an (Forst Garath im Süd-Osten und Stadtwald Düsseldorf im Westen und Südwesten). An dem Messmast wur-

den in der Standardmesshöhe 2 m Lufttemperatur und -feuchte aufgezeichnet, im 10 m Niveau Windrichtung und -geschwindigkeit. Alle Daten wurden als 10 Minuten Mittelwerte registriert.

Die stationären Messungen wurden im Zeitraum von Ende Juni bis Anfang August durchgeführt. Der Messzeitraum war insgesamt durch Westwindlagen geprägt, die nur durch kurze Zwischenhochlagen unterbrochen wurden. Die Abbildungen 4.2 und 4.3 zeigen die Verläufe von Temperatur und Windgeschwindigkeit im Messzeitraum. Die höchsten Lufttemperaturen im 2 m Niveau wurden während einer Zwischenhochlage vom 30. Juni bis 2. Juli mit 35,3 °C erreicht. Während dieser Wettersituation wurde die erste Messfahrt während einer Strahlungsnacht durchgeführt.

Trotz der hohen Tagesmaxima in diesem Zeitraum sanken die Nachttemperaturen während der klaren Nächte an beiden Messstationen auf Werte unter 20 °C. Die Tagesminima erreichten nahezu während des gesamten Messzeitraumes Werte von weniger als 20 °C. Lediglich in der Nacht vom 31. Juli auf den 1. August wurde eine sogenannte tropische Nacht mit einem Temperaturminimum von über 20 °C an beiden Stationen registriert. Zwischen einem Tief über Irland und einem Hoch über Weißrussland wurden in diesem Zeitraum mit südlichen Winden warme Luftmassen herangeführt, die nächtliche Ausstrahlung war durch die Bewölkung einer sich von Westen nähernde Konvergenzzone behindert.

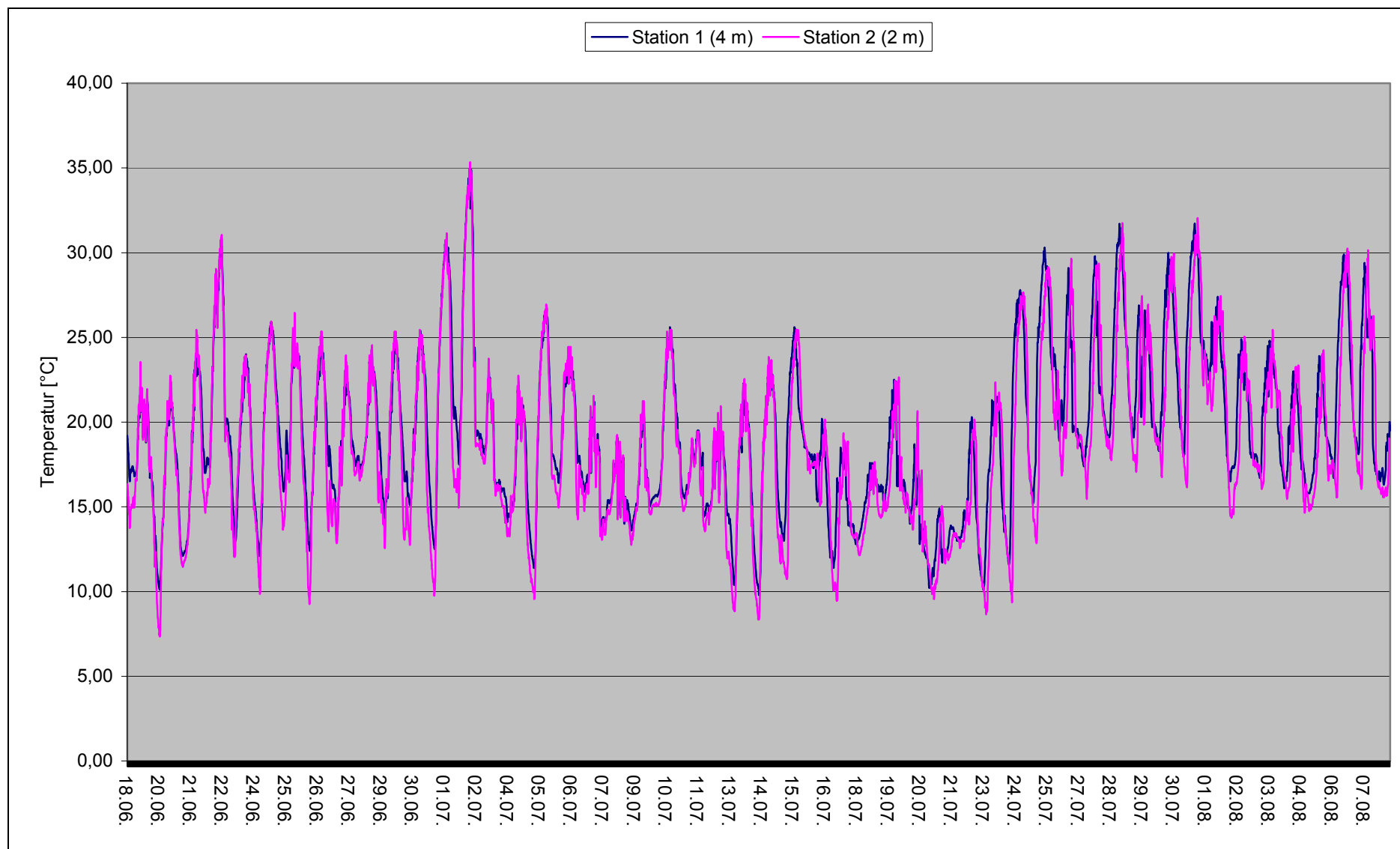


Abb. 4.2: Verlauf der Lufttemperatur in °C der Messstationen 1 und 2 während der Messkampagne 2008

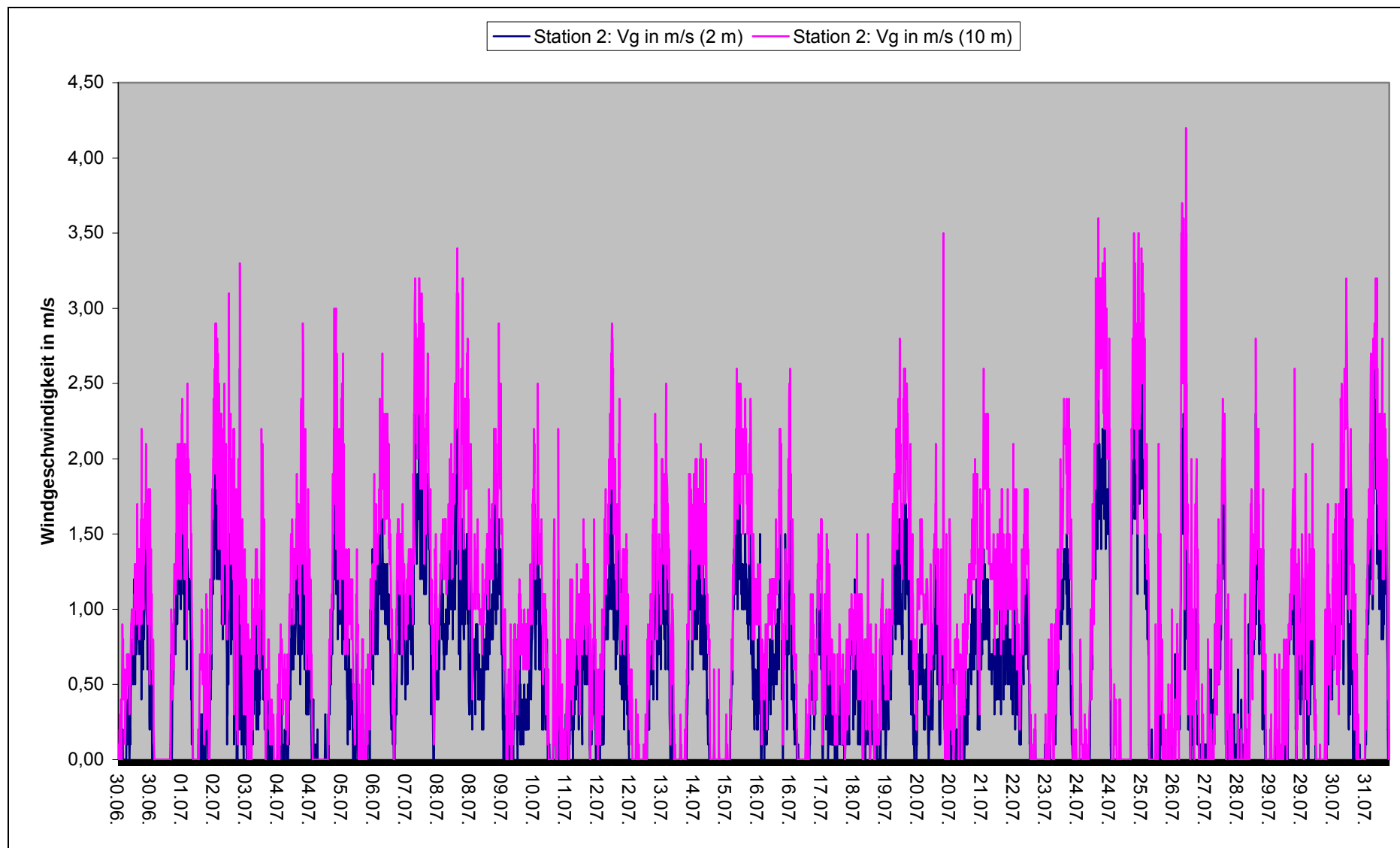


Abb. 4.3: Verlauf der Windgeschwindigkeit in m/s an der Messstation 2 vom 30. Juni bis 31. Juli 2008

Die Messfahrten wurden während klarer Strahlungsnächte nach Sonnenuntergang, in einem Zeitrahmen von 3 bis 4 Stunden durchgeführt. Das Wettergeschehen von Mitte Juni bis Mitte Juli wurde vornehmlich durch Westwindlagen geprägt. Aus diesem Zeitfenster wurden die Nächte vom 30. Juni auf den 1. Juli sowie vom 14. auf den 15. Juli ausgewählt, in denen klare, windschwache Nächte mit deutlicher Auskühlung vorherrschten.

Im Verlauf des 30. Juni baute sich ein Zwischenhoch mit Kern über Norddeutschland auf, das sich im Laufe des 1. Juli nach Osten verlagerte und abschwächte. In der Nacht vom 14. auf den 15. Juli lag Deutschland am östlichen Rand eines Hochdruckgebietes mit Kern nordöstlich der Azoren. Die Abbildungen 4.4 und 4.5 zeigen die analysierten Bodenwetterkarten des Deutschen Wetterdienstes für die ausgewählten Messnächte jeweils zum Zeitpunkt 0:00 Uhr.

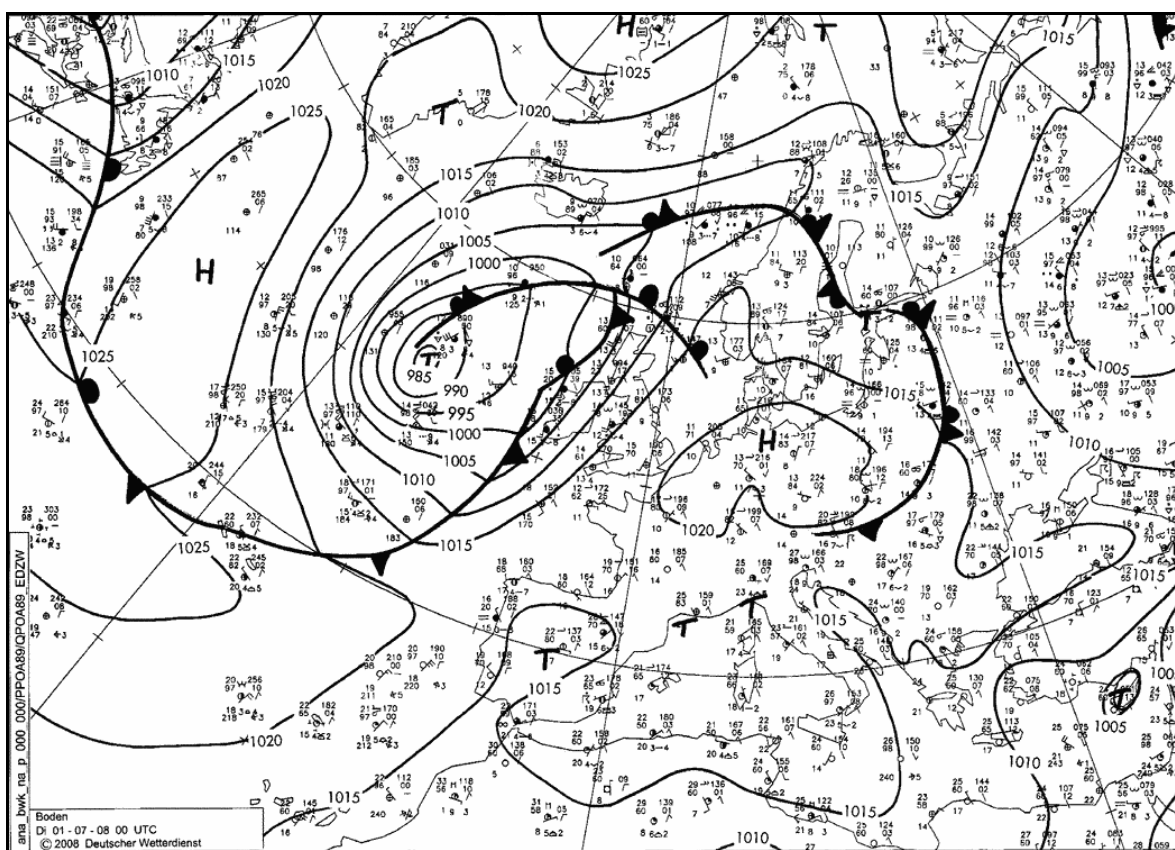


Abb. 4.4: Bodenwetterkarte: 1. Messnacht 30.Juni – 1.Juli (Deutscher Wetterdienst).

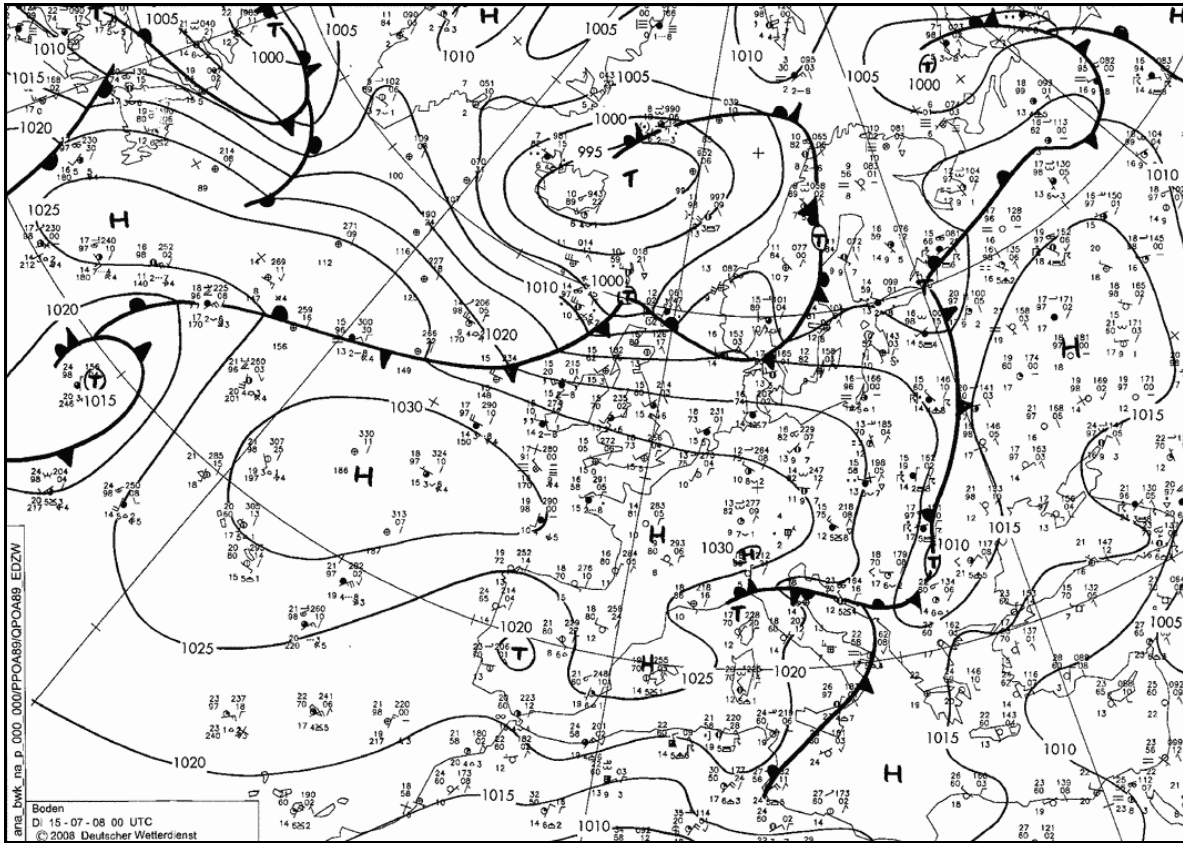


Abb. 4.5: Bodenwetterkarte: 2. Messnacht 14.Juli – 15.Juli (Deutscher Wetterdienst)

Die Abbildungen 4.6 und 4.7 zeigen die Tagesgänge der Temperatur an beiden Messmasten für die Zeiträume der Messfahrten. Die Messfahrten selbst erfolgten jeweils nach Sonnenuntergang in dem Zeitintervall von etwa 22:00 bis 02:00.

Temperatur, Stationen 1 u. 2: 30.06.08 [12:00] bis 01.07.08 [14:30]

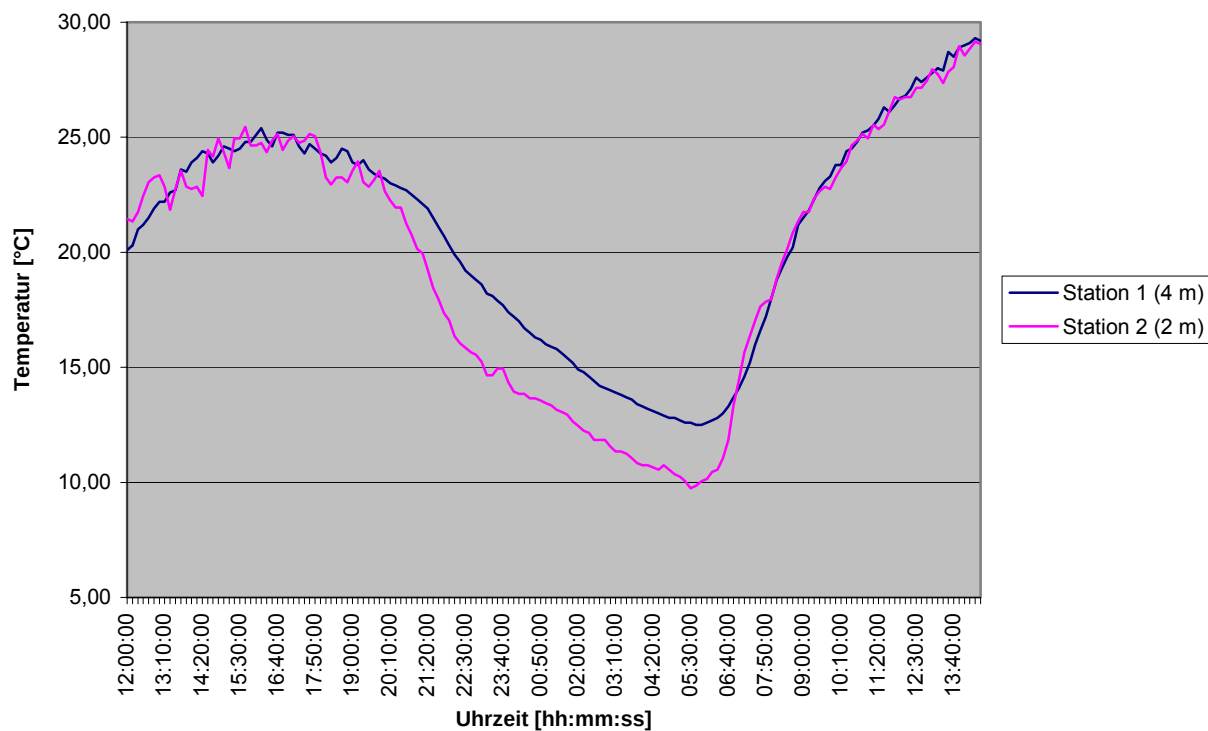


Abb. 4.6: Tagesgang der Lufttemperatur in °C: 1. Messfahrt.

Temperatur: Stationen 1 und 2, Zeitraum: 14.07.08 [12:00] bis 15.07.8 [14:30]

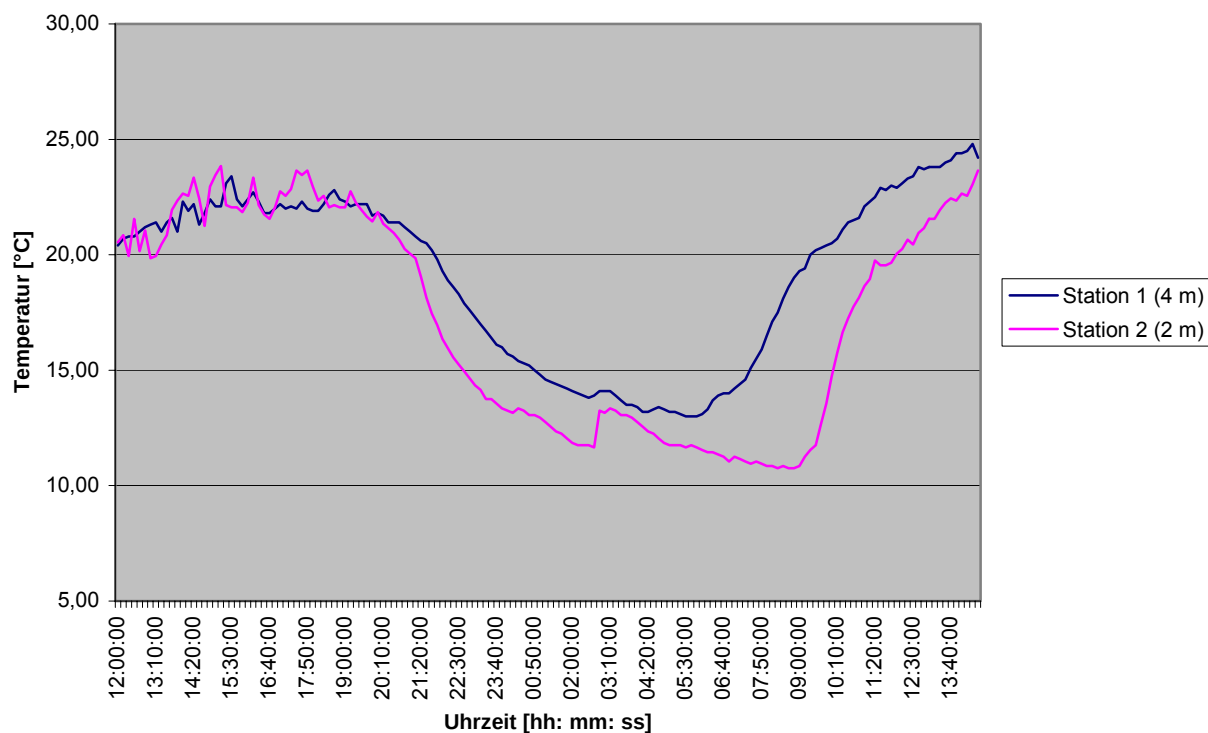


Abb. 4.7: Tagesgang der Lufttemperatur in °C: 2. Messfahrt.

Während der ersten Messfahrt betrug der Tagesgang der Temperatur 15 K (Kelvin), zur zweiten Messfahrt, während der nicht ganz so ideale Ausstrahlungsbedingungen vorherrschten, wurde am Messmast 2 ein Tagesgang von etwa 12 K registriert. Für die in der Innenstadt gelegene Station 1 zeigt sich generell eine verzögerte und geringere Abkühlung im Verlauf der Nacht. Die Maxima der Lufttemperatur weichen dagegen an beiden Stationen praktisch nicht voneinander ab. Hier zeigt sich der positive Einfluss der kleinen innerstädtischen Grünfläche, die an heißen Tagen einen kühlenden Einfluss auf ihre direkte Umgebung hat.

Als beispielhafter Tagesgang für die relative Feuchte ist in Abbildung 4.8 der Verlauf an beiden Stationen zur 1. Messfahrt aufgeführt. Die in der Innenstadt gelegene Station 1 zeigt durch die geringere Abkühlung im Verlaufe der Nacht ein entsprechend niedrigeres Maximum der relativen Feuchte zum Sonnenaufgang. Analog zum Temperaturverlauf erreichen die Feuchtigkeitsminima um die Mittagszeit das gleiche Niveau.

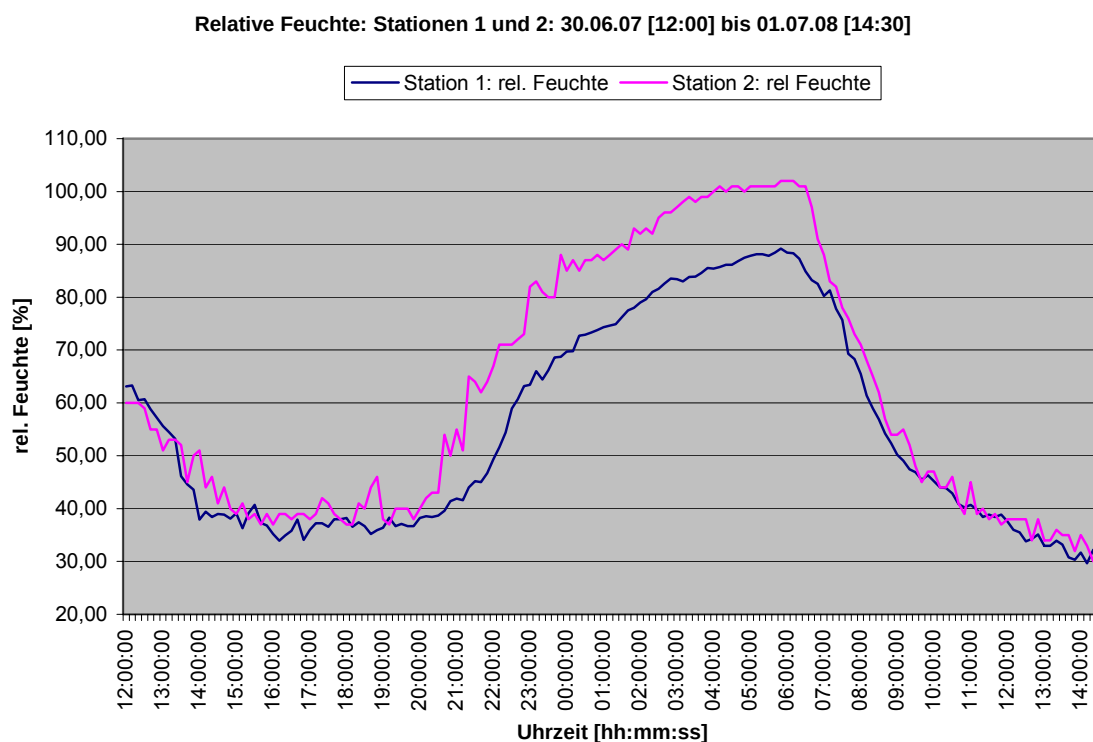


Abb. 4.8: Tagesgang der relativen Feuchte in %, 1. Messfahrt

Abbildung 4.9 zeigt den Tagesgang der Windgeschwindigkeit im 10 m Niveau zur ersten Messfahrt. Während der Nacht herrschten optimale Ausstrahlungsbedingungen mit einem „Einschlafen“ des Windes nach Sonnenuntergang vor.

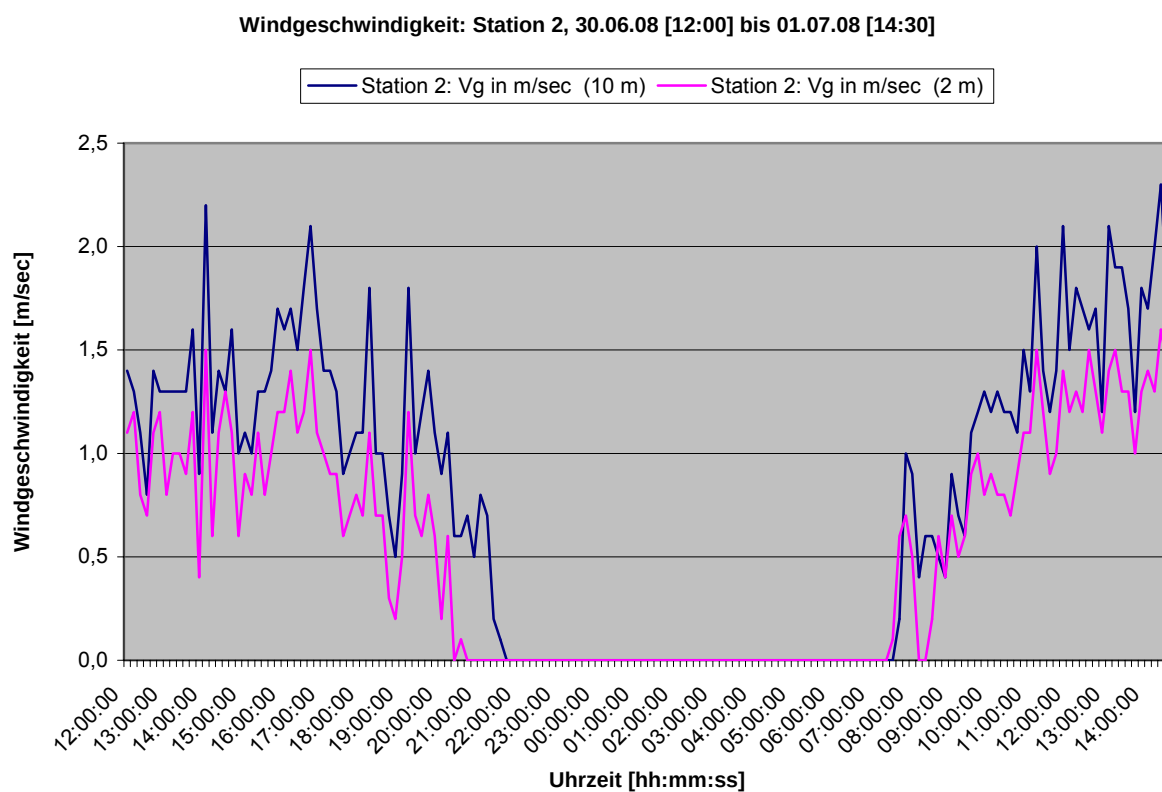


Abb. 4.9: Tagesgang der Windgeschwindigkeit in m/s in 2 und 10 m Höhe, 1. Messfahrt

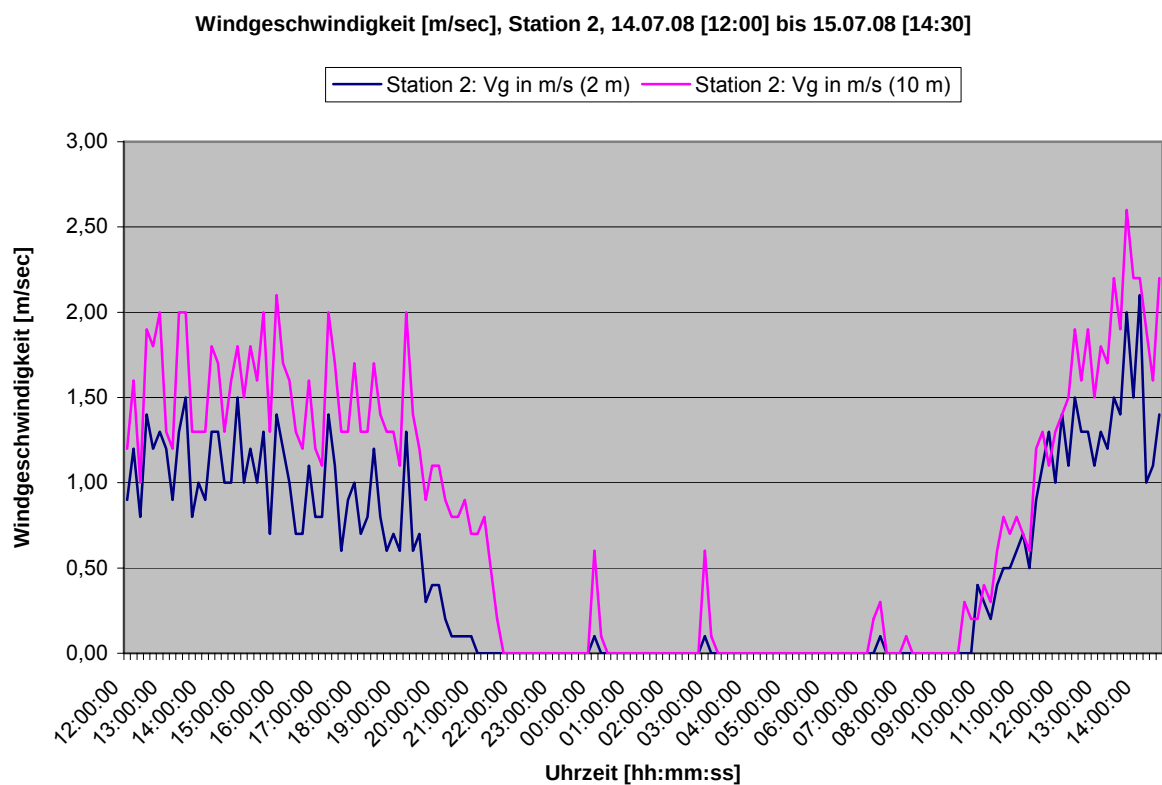


Abb. 4.10: Tagesgang der Windgeschwindigkeit in m/s in 2 und 10 m Höhe, 2. Messfahrt

Die Abbildungen 4.11 und 4.12 zeigen die Ergebnisse der Temperaturregistrierung während der Messfahrt vom 30.06. bis 01.07.2008.

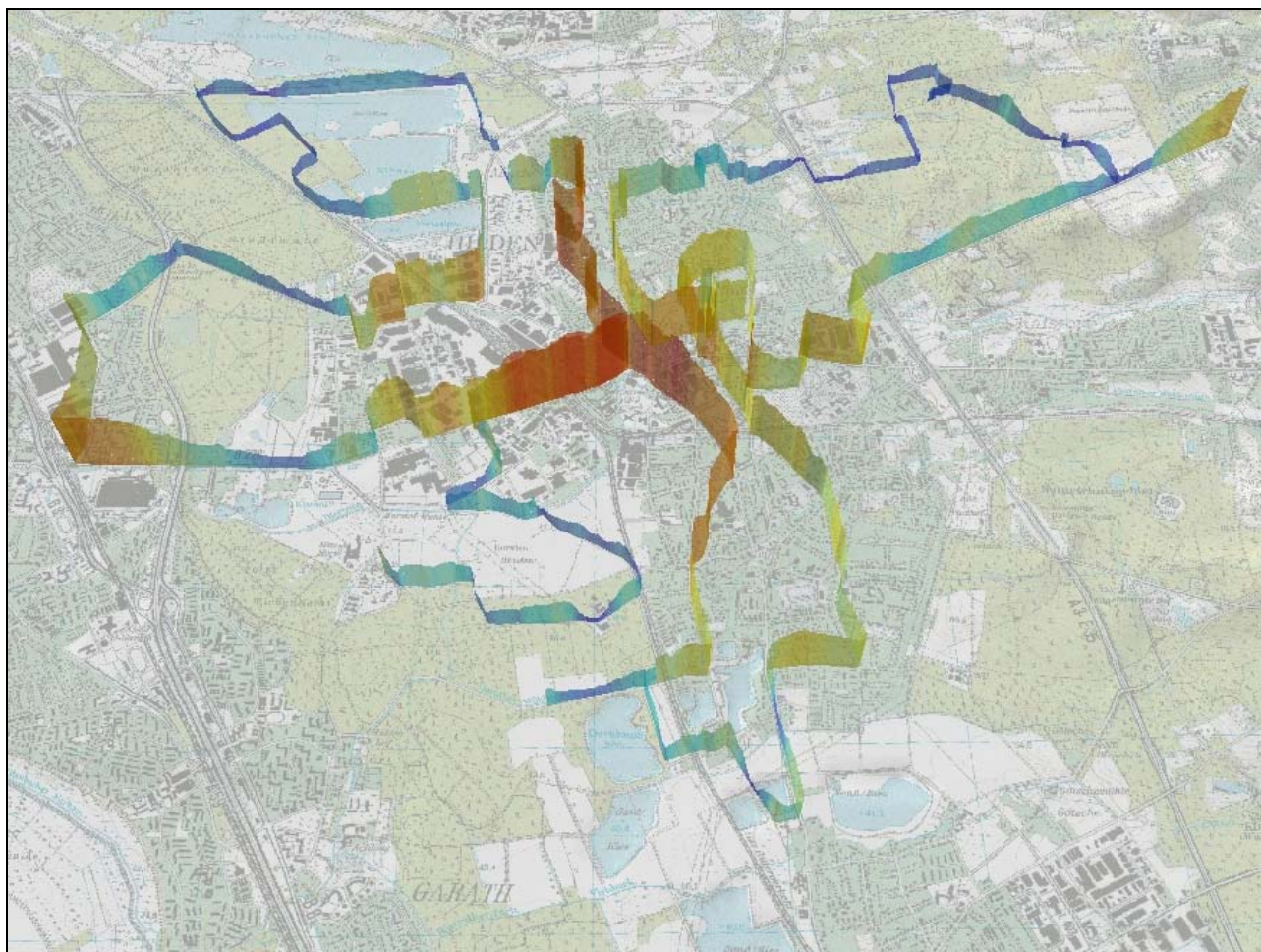


Abb. 4.11: Gemessener Temperaturverlauf während der Messfahrt vom 30.06 bis 01.07.2008.

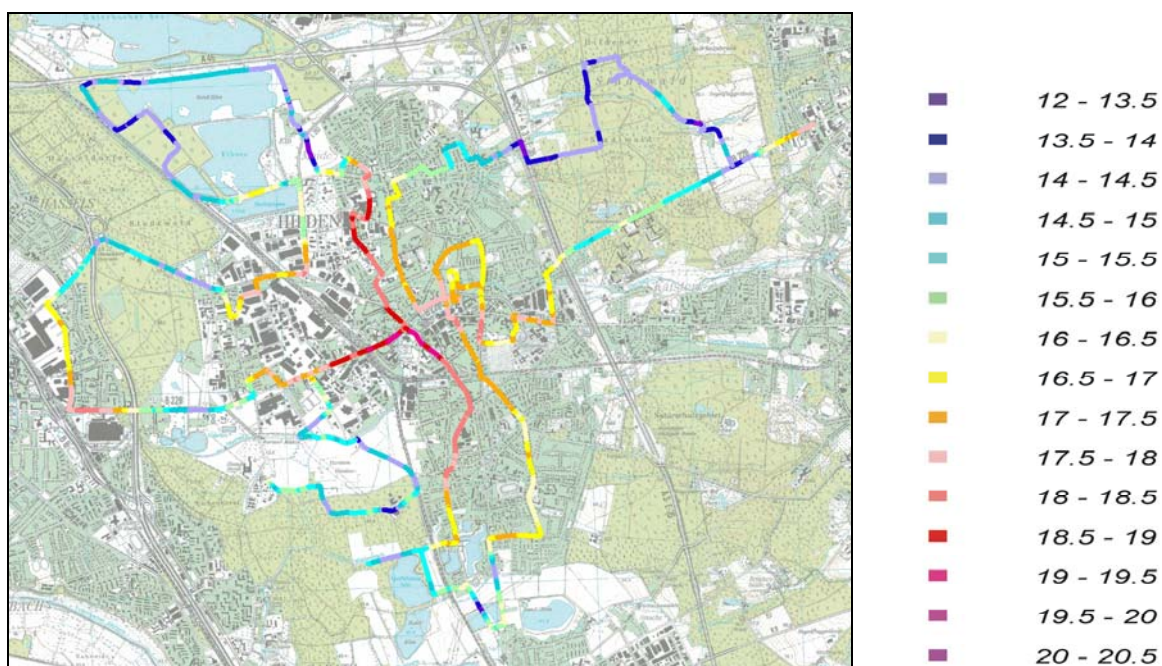


Abb. 4.12: Gemessene Temperaturen während der Messfahrt vom 30.06 bis 01.07.2008.

4.2 Ergebnisse der Klimamodellierung

Im Folgenden werden die Modellergebnisse zu den meteorologischen Parametern Lufttemperatur in 2 m Höhe, nächtliches Strömungsfeld sowie Kaltluftvolumenstrom erläutert. Als meteorologische Rahmenbedingung wurde eine austauscharme hochsommerliche Wetterlage zugrunde gelegt, da sich die stadtklimatischen Effekte vor allem während solcher windschwacher Strahlungswetterlagen im Sommer entwickeln. Auslöser dieser Prozesse sind die Temperaturunterschiede zwischen vergleichsweise warmen Siedlungsräumen und kühleren vegetationsgeprägten Freiflächen. Diese Wetterlagen stellen in unseren Breiten die kritischsten Situationen für eine bioklimatische Belastung dar.

4.2.1 Das bodennahe Lufttemperaturfeld

Ausschlaggebend für die Temperaturverteilung sind die landnutzungsabhängigen Boden- und Oberflächeneigenschaften, sowie deren Wechselwirkungen mit den atmosphärischen Prozessen in der bodennahen Grenzschicht. Innerhalb des Erdbodens sind dabei Wärme- und Temperaturleitfähigkeit von Bedeutung. Je größer beispielsweise die Wärmeleitfähigkeit des Bodens ist, umso schneller und tiefer kann Wärme in das entsprechende Material eindringen, aber auch wieder von diesem abgegeben werden. 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.

Abbildung 4.13 zeigt das modellierte bodennahe nächtliche Temperaturfeld. Ausgewertet wurden die berechneten Temperaturen für den Zeitpunkt 4 Uhr morgens, die Temperaturen entsprechen damit in etwa dem zu erwartenden Minimum. Die Temperaturverteilung ist innerhalb der bebauten Gebiete räumlich differenziert, da Areale mit Einzelhausbebauung, Kernbebauung oder auch Verkehrsanlagen unterschiedliche Boden- und Oberflächeneigenschaften aufweisen. Die höchsten Temperaturen innerhalb der Bebauung treten im Innenstadtbereich sowie auf den Gewerbeflächen mit hohem Versiegelungsgrad auf. Die ausgeprägte innerstädtische Blockbebauung weist verbreitet Temperaturen zwischen 20° und 21°C auf und geht mit einem hohen Bauvolumen und der hohen Oberflächenversiegelung im Stadtzentrum einher. Ähnlich hohe Temperaturen sind auch im Bereich ausgedehnter Gewerbegebiete wie z.B. im westlichen und nördlichen Stadtteil anzutreffen. Die Einzel- und Reihenhausbauung im östlichen Bereich der Stadt weist unter den Siedlungsflächen das geringste Temperaturniveau mit Werten um 17 °C auf, hier werden 18°C nur selten überschritten.

Höhere Temperaturen werden nur über den Wasserflächen erreicht, was in der hohen Wärmekapazität und der damit geringeren nächtlichen Abkühlung des Mediums Wasser begründet liegt. Simuliert wurde damit eine Situation im Hoch- bis Spätsommer. Im Temperaturfeld treten die unbebauten, vegetationsgeprägten Freiflächen mit deutlich geringeren Temperaturen hervor. Auf ihre Rolle als Kaltluft produzierende Flächen wird in den folgenden Kapiteln näher eingegangen.

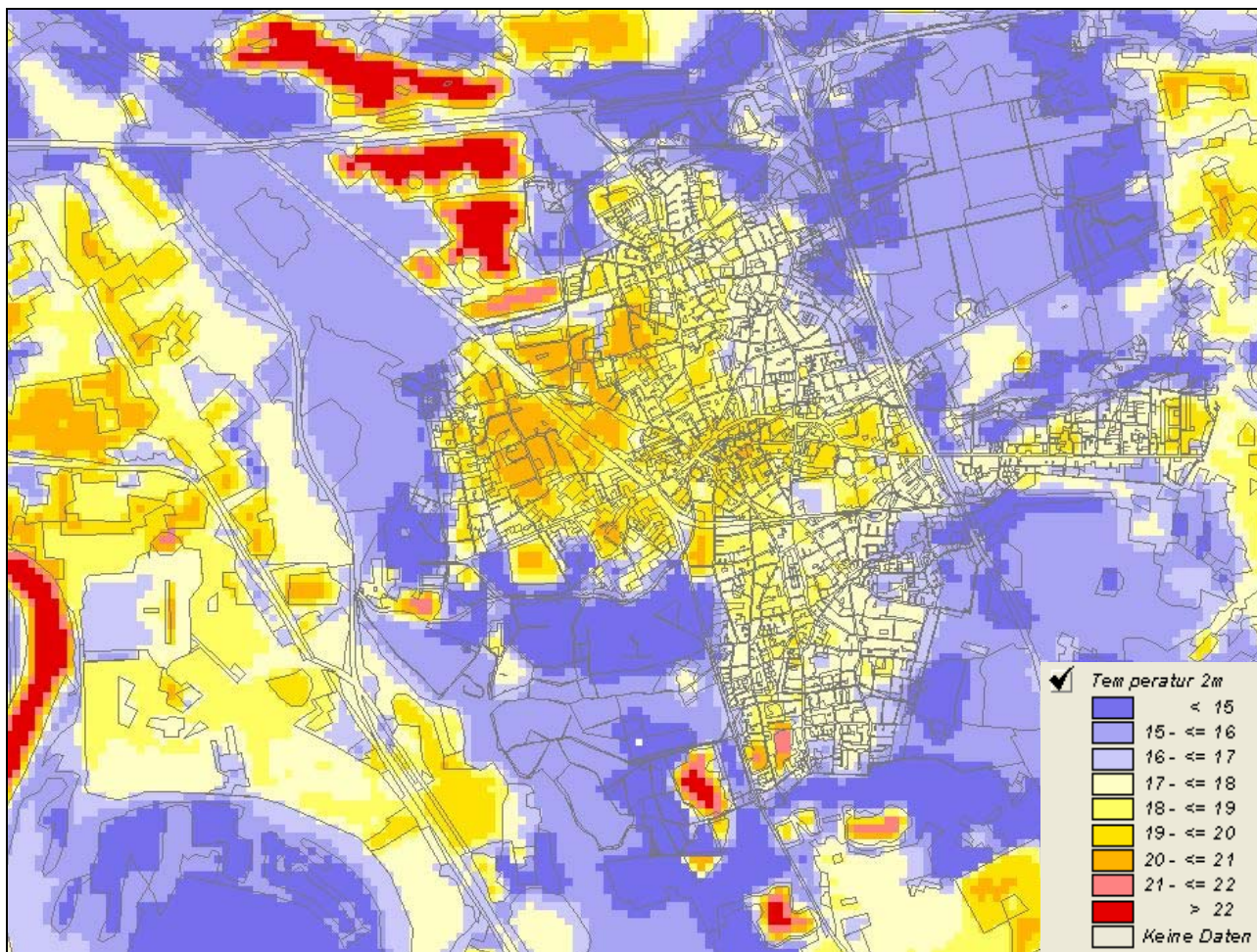


Abb. 4.13: Lufttemperatur in °C (2 m über Grund).

Die niedrigsten Temperaturwerte im Untersuchungsgebiet werden mit Werten von z. Teil unter 14 °C auf den vorwiegend landwirtschaftlich genutzten Freiflächen erreicht. Im Gegensatz zu den weitläufigeren Freiflächen des Umlandes weisen innerstädtische Grünflächen (soweit sie in dem 60 m Raster aufgelöst wurden) ein höheres Temperaturniveau auf.

Zu den größten innerstädtischen Grünflächen zählen z.B. der Hauptfriedhof sowie Stadtpark und Ringwall, für die ein Temperaturniveau zwischen 16°C und 18°C modelliert wurde. Einzelne sehr kleine Grünflächen, die nur als einzelne Rasterzellen in der Modellierung berücksichtigt wurden, lassen sich im Temperaturfeld kaum wiederfinden. Diese kleinen, in eine wärmere Umgebung eingebetteten Freiflächen haben nur Einfluss auf Ihren direkten Nahbereich und sind, solange sie vereinzelt liegen, für das gesamtstädtischen Klima nur von geringer Bedeutung. Der positive Effekt auf die direkte Umgebung zeigt sich aber letztlich auch in den Temperaturregistrierungen im Innenstadtbereich, auf der kleinen Grünfläche nördlich des Rathauses. Hier zeigt sich der positive Einfluss der kleinen innerstädtischen Grünfläche, die an heißen Tagen einen kühlenden Einfluss auf ihre direkte Umgebung hat.

Auch die Waldareale östlich der Stadt besitzen ein etwas höheres Temperaturniveau von 15°C bis 16°C. Bei Waldflächen dämpft das Kronendach die nächtliche Ausstrahlung und damit auch ein stärkeres Absinken der bodennahen Lufttemperatur im Stammraum. Im Laufe der Nacht kommt es aber östlich des Stadtgebietes

tes insgesamt zu einem großräumigen hangabwärts Fließen der Kaltluft. Östlich der auf einem Damm verlaufenden Autobahn A3 kommt es im Laufe der Nacht zunächst zu einem Anstauen der Kaltluft, die den Hang hinabströmt. Im Laufe der 2. Nachthälfte wird der Damm dann überströmt, so dass die Kaltluft großflächig bis ins Stadtgebiet vordringen kann.

Abbildung 4.14 zeigt einen Vergleich der Simulationsergebnisse mit der Temperaturverteilung während der Messfahrt für diesen Bereich des Untersuchungsgebietes. Dabei sind die Ergebnisse der Modellierung flächenhaft abgebildet, die Temperaturverteilung der Messfahrt ist 3 dimensional dargestellt. Neben der Farb- abstufung gibt auch die Höhe der Messlinie dabei die Abstufung der Lufttemperatur wieder. Messungen wie Simulationsergebnisse zeigen, dass der östliche Bereich des Stadtgebietes nahezu flächendeckend niedrigere Temperaturen aufweist als das Zentrum und der westliche Stadtbereich. Diese Temperaturverteilung beruht zum einen auf der geringeren Bebauungsdichte dieses Bereiches, aber ebenso auf dem Eindringen der Kaltluftabflüsse bis in diese Bereiche der Stadt hinein.

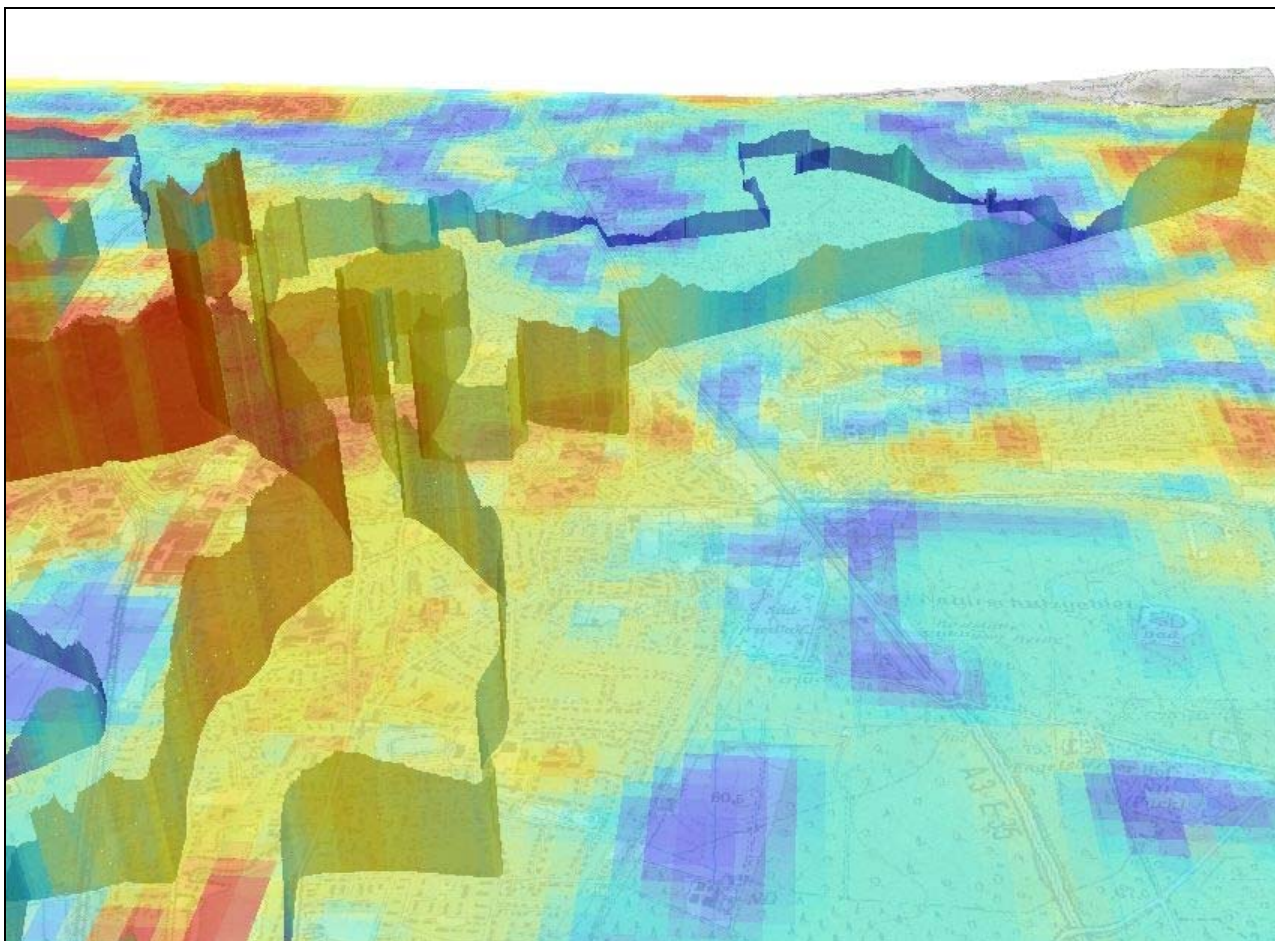


Abb. 4.14: Modellierte und gemessene bodennahe Lufttemperatur für das östliche Untersuchungsgebiet.

Abbildung 4.15 zeigt einen Vergleich zwischen Simulation und Messung für den südwestlichen Bereich der Stadt. Hier lassen sich überwärmte Bereiche in der Innenstadt wie auch im westlichen Gewerbegebiet erkennen. Messungen wie Simulation zeigen „Kaltluftzungen“, die über die unbebauten Flächen von Süden her in das Stadtgebiet hineinreichen. Insgesamt zeigt sich eine gute Übereinstimmung in der räumlichen Ausprägung zwischen gemessenen und modellierten Werten.

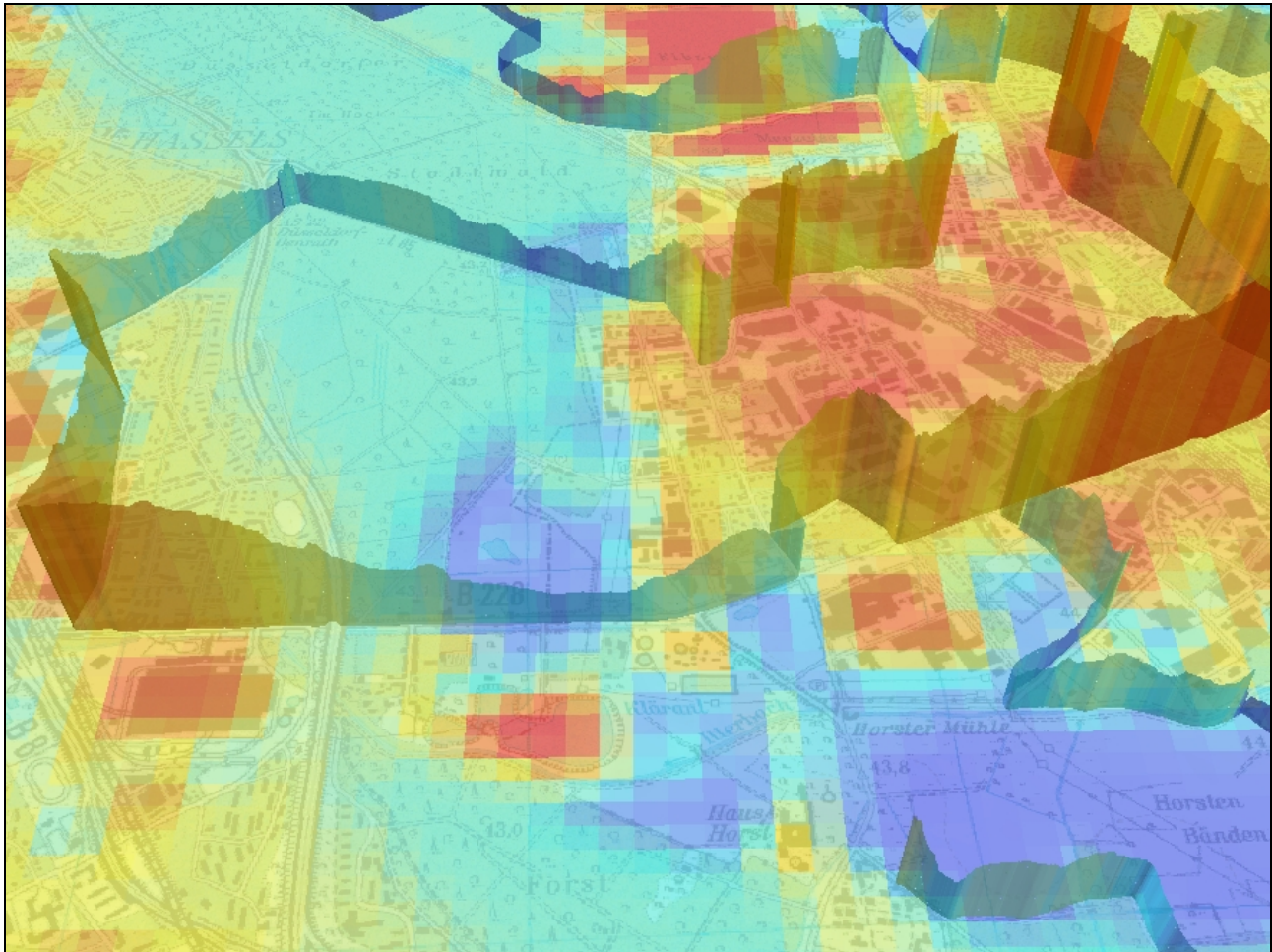


Abb. 4.15: Modellerte und gemessene bodennahe Lufttemperatur für das südwestliche Stadtgebiet.

4.2.2 Autochthones Windfeld

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

Neben den orographisch bedingten Strömungen mit Kaltluftabflüssen bilden sich auch so genannte Flur-/Strukturwinde, d.h. eine direkte Ausgleichsströmung vom hohen zum tiefen Luftdruck aus. Sie entstehen, wenn sich stark überbaute oder versiegelte Gebiete stärker erwärmen als umliegende Freiflächen und dadurch ein thermisches Tief über den urbanen Gebieten entsteht.

Für die Ausprägung dieser Strömungen ist es wichtig, dass die Luft über eine gewisse Strecke beschleunigt werden kann und nicht durch vorhandene Hindernisse wie dichten Baumbestand mit Unterholz oder Bauten

abgebremst wird. Die Flur-/Strukturwinde sind eng begrenzte, oftmals nur schwach ausgeprägte Strömungsphänomene, die bereits durch einen schwachen überlagernden Wind überdeckt werden können.

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

Die Kaltluftströmung ist in der vorliegenden Untersuchung einer der wichtigsten Parameter zur Beurteilung des Kaltlufthaushaltes. Die Eindringtiefe der Kaltluft in die Siedlungsräume und damit auch das Maß der bioklimatischen Gunstwirkung während sommerlicher Hochdruckwetterlagen hängt ab von der Bebauungsstruktur und der Intensität der Kaltluftdynamik. Ganz allgemein wird eine vergleichsweise gering überbaute Einzel- und Reihenhausbauung besser durchströmt, bzw. überströmt als eine Block- und Blockrandbebauung.

Als Untergrenze für die Wirksamkeit einer Kaltluftströmung gilt in der vorliegenden Untersuchung, auf Grundlage der gebietstypischen Ausprägung, eine Mindestgeschwindigkeit von 0,1 m/s. In Abbildung 4.16 sind Strömungsgeschwindigkeit und -richtung im Untersuchungsgebiet dargestellt. Die Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit sind über Pfeilrichtung bzw. Pfeillänge ausgedrückt, wobei die unterlegten farbigen Rasterzellen die Geschwindigkeiten flächenhaft darstellen. Abgebildet sind alle Rasterzellen mit einer Windgeschwindigkeit von $\geq 0,1 \text{ m/s}$. Die auftretenden Strömungsgeschwindigkeiten liegen im Untersuchungsgebiet verbreitet in einer Größenordnung von etwa 0,5 m/s und können lokal auf mehr als 1,0 m/s ansteigen (Abb. 4.16).

Für den Kaltlufthaushalt der Stadt Hilden sind vor allem die östlich an die Stadt angrenzenden z. Teil bewaldeten Hangbereiche von Bedeutung. Dort werden große Kaltluftvolumina gebildet, welche aufgrund ihrer höheren Dichte hangabwärts fließen und dabei beschleunigt werden. Die Kaltluft dringt vorwiegend flächenhaft in das Stadtgebiet ein, mit durchschnittlichen Geschwindigkeiten von 0,3 bis 0,4 m/s. Innerhalb von einzelnen Leitbahnen wurden hier Geschwindigkeiten von mehr als 0,6 m/s ermittelt.

Aber auch südwestlich der Stadt kommt es aufgrund der deutlichen Temperaturunterschiede zwischen den angrenzenden Freiflächen und der relativ dichten Bebauung in diesem Bereich zu ausgeprägten Ausgleichsströmungen. Das Eindringen in die Bebauung erfolgt hier vorwiegend auf sogenannten Kaltluftleitbahnen, auf denen Strömungsgeschwindigkeiten von etwa 0,5 m/s erreicht werden.

Am westlichen Stadtrand findet nur sehr begrenzt ein Kaltluftaustausch statt. Die Temperaturunterschiede zwischen den hier angrenzenden Waldgebieten bzw. den großflächigen Seen innerhalb der Freiflächen und der Stadt sind nicht so ausgeprägt, dass es bei der hier modellierten hochsommerlichen Situation zu rele-

vanten Ausgleichströmungen kommt. Im Frühjahr und Frühsommer, wenn die Wasserflächen sich erst allmählich aufwärmen, wird es aber auch westlich des Stadtgebietes zu Ausgleichströmungen von den Freiflächen in die schon wärmere Bebauung kommen.

Die Spannweite der Eindringtiefe liegt im östlichen Stadtbereich bei bis zu 1000 m. Hier ermöglichen die großflächigen Kaltluftabflüsse auf den östlichen Hangbereichen eine gute Durchlüftung des Siedlungsraums. Im südwestlichen Bereich liegt die Eindringtiefe in die relativ dichte Bebauung bei etwa 400 m.

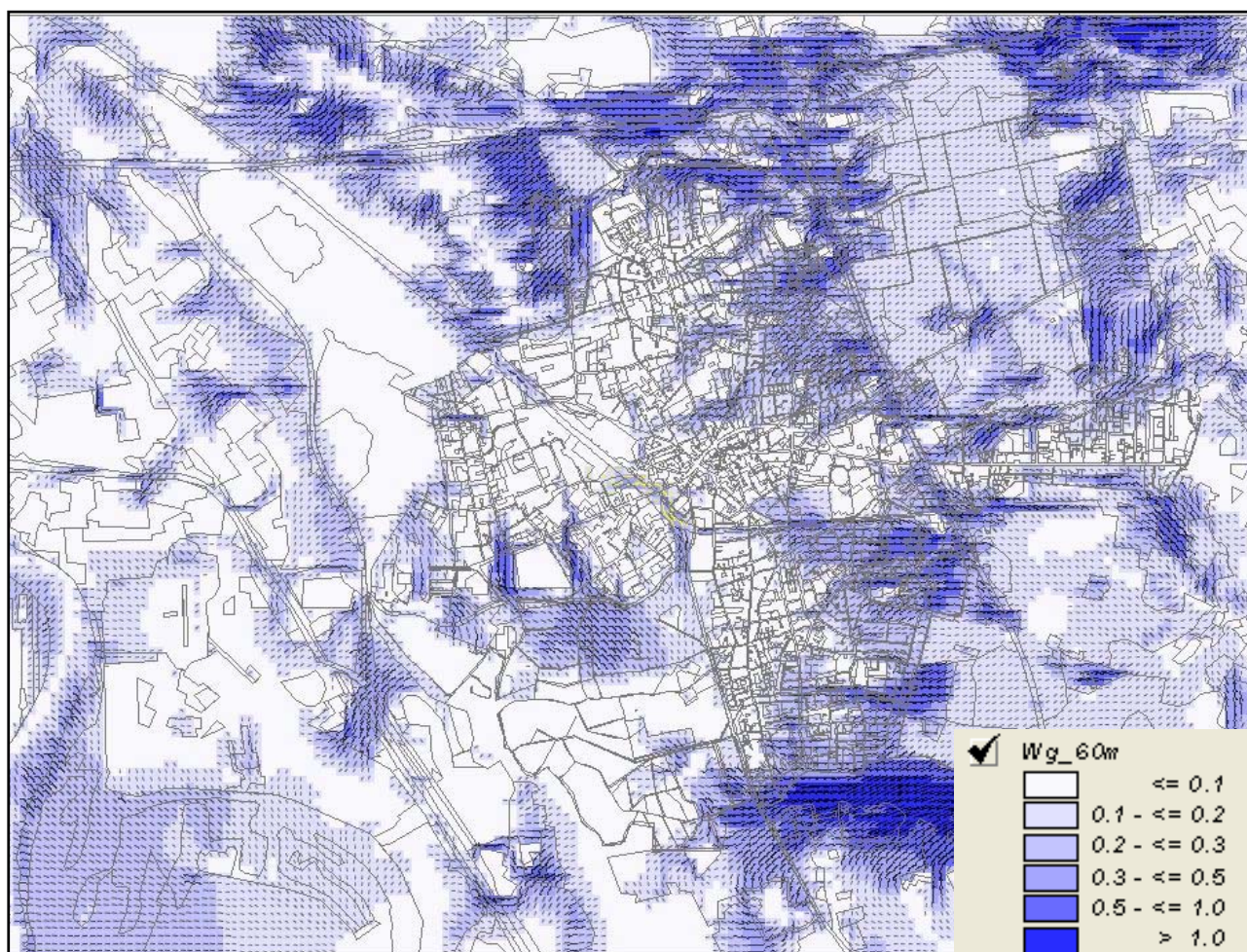


Abb. 4.16: Strömungsgeschwindigkeiten in m/s im Untersuchungsgebiet (Autochtone Wetterlage).

4.2.3 Kaltluftvolumenstrom

Die Durchlüftung von Siedlungsgebieten trägt zum Abbau von humanbiometeorologischen Belastungen bei (MORISKE & TUROWSKI 2003). So kann in den Nachtstunden durch das Heranführen kühlerer Frischluft aus Freiflächen das Temperaturniveau der in der Stadt lagernden wärmeren Luftmassen gesenkt werden, was zu einem Abbau der Wärmebelastung des Menschen, insbesondere in den Sommermonaten führt. Ist diese herangeführte kühlere Luft mit Luftschadstoffen belastet, so kann diese nicht mehr als Frischluft, sondern lediglich als Kaltluft angesprochen werden. Zur Beurteilung der Durchlüftungssituation ist folglich die geeignete Zuordnung von Belastungsräumen und Ausgleichsräumen, welche die entsprechende Kaltluft zur

Verfügung stellen, sowie ein Strömungssystem, das einen Luftmassentransport garantieren kann, notwendig. Die Effektivität des Luftaustauschs vor Ort kann bei bekanntem Windfeld berechnet werden.

Als quantitatives Merkmal dient hierfür der Kaltluftvolumenstrom, der das transportierte Volumen an Kaltluft durch eine definierte vertikale Fläche senkrecht zur Strömungsrichtung angibt. Dabei wird das transportierte Luftvolumen über die absolute Höhe der Kaltluftschicht aufsummiert (integriert). Die Höhe der Kaltluft gibt damit die Höhe der vertikalen Fläche vor, als Breite dy der Fläche wird im vorliegenden Fall die Breite einer Rasterzelle (hier 60 m) angenommen. Die Höhe der abfließenden Kaltluftschicht wird über die horizontale Windgeschwindigkeit definiert, die innerhalb der Kaltluft einen Wert $> 0,1$ m/s aufweisen sollte. Für die Auswertung des Volumenstromes wurde der Zeitpunkt 4 Uhr morgens gewählt, zu der die Kaltluftschicht ihre maximale Mächtigkeit erreicht hat. Die Effektivität des Luftaustauschs vor Ort kann somit bei bekanntem Windfeld wie folgt berechnet werden. Als Maßzahl hierfür wird der Kaltluftvolumenstrom Vol eingeführt:

$$Vol = \int_0^Z \int_y^{y+dy} v dz dy, \quad \text{mit:}$$

Vol: Kaltluftvolumenstrom in m^3/s

Z: Mächtigkeit der bodennahen Kaltluftschicht

v: Strömungsgeschwindigkeit der Kaltluft in x-Richtung

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. Die qualitative Bewertung dieses Klimaparameters, der sich im vorliegenden Fall auf die Breite einer Rasterzelle bezieht zeigt Tab. 4.1:

Bewertung	Kaltluftvolumenstrom in m^3/s
Sehr hoch	> 1200
Hoch	800 bis ≤ 1200
Mittel	400 bis ≤ 800
Gering	< 400

Tabelle 4.1: Qualitative Einordnung der Kaltluftvolumenströme einzelner Rasterzellen.

Als Schwellenwert für einen klimaökologisch wirksamen Kaltluftstrom kann in der vorliegenden Untersuchung ein Wert von mehr als $400 \text{ m}^3/\text{s}$, bezogen auf die Breite einer Rasterzelle angenommen werden.

Die räumliche Ausprägung des Kaltluftstroms im Untersuchungsraum geht im wesentlichen mit der des bodennahen Strömungsfeldes einher. Abbildung 4.17 zeigt für einen Ausschnitt des Untersuchungsgebietes den Kaltluftvolumenstrom zusammen mit dem Strömungsfeld. Gebiete, für die klimaökologisch relevante Volumenströme berechnet wurden, sind in der Abbildung als grüne Flächen unterschiedlicher Farbintensität dargestellt. Die Farbintensität kennzeichnet dabei die Höhe des Volumenstromes, die Einteilung entspricht den Vorgaben in Tabelle 4.1. Die dazugehörigen Strömungsgeschwindigkeiten werden qualitativ über Strömungspfeile unterschiedlicher Längen dargestellt.

Hohe Volumenströme treten vor allem über den Freiflächen zwischen städtischer Bebauung und den bewaldeten Hangbereichen östlich der Stadt auf, wie auch am nordöstlichen und südöstlichen Stadtrand. Innerhalb der Bebauung verringert sich der Volumenstrom rasch auf ein mittleres Niveau, bevor er auf niedrige Werte absinkt. Im innenstadtnahen Raum liegen keine nennenswerten Kaltluftströme mehr vor.

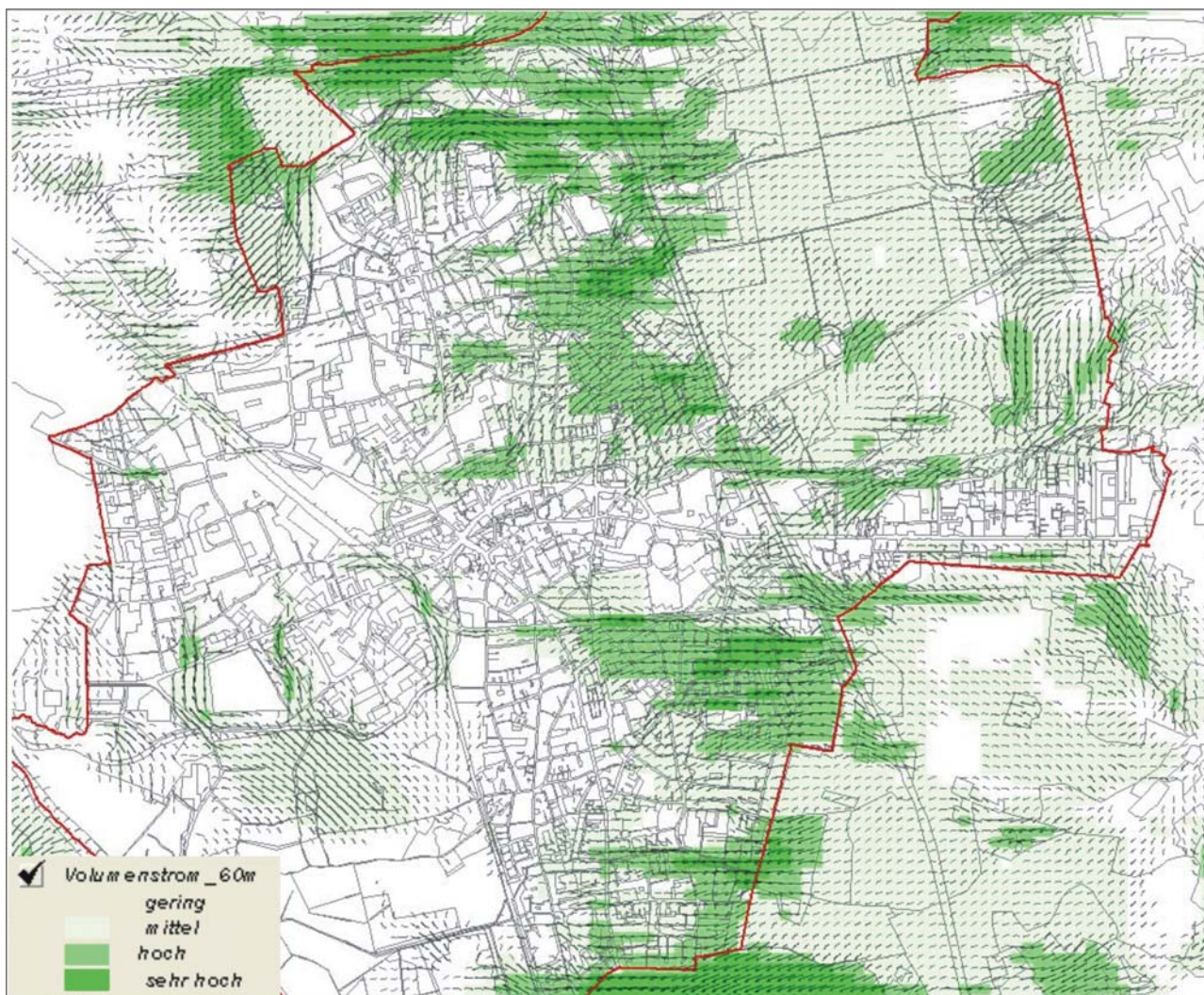


Abb. 4.17: Kaltluftvolumenstrom (grüne Flächen) und bodennahes Strömungsfeld, dargestellt durch Pfeile.

5. Ermittlung der lufthygienischen Belastung durch die Quellgruppe Verkehr

Die durchgeführten lufthygienischen Untersuchungen der verkehrsinduzierten Luftschadstoffbelastung beruhen auf der Einbindung der durch das Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (UBA 2004) ausgewiesenen Emissionen in das numerische Simulationsmodell FITNAH. Ausgehend von den Verkehrsmengen für die relevanten Straßenabschnitte, wurden für das Untersuchungsgebiet Hilden Jahresmittelwerte für die verkehrstypische Leitkomponente Stickstoffdioxid (NO_2) und Feinstaub (PM_{10}) berechnet. Zur Abschätzung der Gesamtbelastung werden als Hintergrundbelastung Konzentrationswerte der Messstationen Düsseldorf-Reizholz und Düsseldorf Lörick des Landesumweltamtes herangezogen.

Bei der Interpretation der vorliegenden Modellergebnisse muss berücksichtigt bleiben, dass die Simulationen, bedingt durch die Ausdehnung des Beurteilungsgebietes, mit einer horizontalen Auflösung von 60 m durchgeführt wurden, bei der z.B. Einzelgebäude nicht explizit aufgelöst wurden. Bei der Bewertung der Modellergebnisse muss bedacht werden, dass kleinräumige Sondersituationen innerhalb der angewandten Rasterauflösung nicht widerspiegelt werden können. Die Immissionsbelastung wird im Rahmen der eingesetzten Methodik vor allem durch Verkehrsmenge und Fahrsituation beeinflusst. Im Mittelpunkt der vorliegenden Ausbreitungsrechnung steht somit die flächenhafte Belastungssituation im Stadtgebiet von Hilden und eine Ausweisung von Belastungsschwerpunkten.

Die Simulationsrechnungen für die Schadstoffausbreitung erfolgten in dem in Kap. 3.2 beschriebenen Untersuchungsgebiet. Die Ergebnisse beziehen sich jeweils auf die bodennahe Schicht der Atmosphäre (= 2 m über Grund), die mit dem Aufenthaltsbereich des Menschen gleichzusetzen ist.

Zum Vergleich werden für ausgewählte Belastungsschwerpunkte zusätzlich Abschätzungen der verkehrsbedingten Luftschadstoffbelastung mit dem Screeningmodell IMMIS durchgeführt.

5.1 Emissionsprognose für verkehrsbedingte Luftschadstoffe

Verkehrsmengen und Verkehrssituation

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

- Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV = Fahrzeuge/24h)
- LKW-Anteil
- Verkehrssituation in der Straße
- Bezugsjahr (Zusammensetzung der Fahrzeugschichten)
- Längsneigung der Fahrbahn

In der vorliegenden Untersuchung wurden vorwiegend die Verkehrsmengen verwendet, die der Lärmkartierung zur Aufstellung des Flächennutzungsplanes der Stadt Hilden vom Juli 2007 verwendet wurden (Grasy+Zanolli engineering, 2007). Die Daten wurden für zusätzliche Straßenabschnitte z.T. ergänzt durch Verkehrszahlen aus der Verkehrsmengenkarte der Stadt Hilden (2006) und von der Stadt zur Verfügung gestellten Daten zu den relevanten Autobahnabschnitten für das Bezugsjahr 2005.

Da keine detaillierten Informationen zu den einzelnen Verkehrssituationen im Stadtbereich vorlagen, wurden durchschnittliche Emissionen für Innerortsverkehr angenommen. Auf allen Autobahnabschnitten wurden durchschnittliche Emissionen unter Annahme eines Tempolimits von 120 km/h angenommen. Da sich die meisten Verkehrsdaten auf das Jahr 2005 beziehen, wurde dieses als Bezugsjahr ausgewählt.

Motorbedingte Emissionsfaktoren

Auf Grundlage der übermittelten Verkehrsmengen wurde mit Hilfe des Handbuches für Emissionsfaktoren des Umweltbundesamtes HBEFA 2.1 (UBA 2004) für jeden Fahrmodus die Emissionsraten für die folgenden lufthygienischen Leitparameter bestimmt:

- Stickstoffoxide (NO_x)
- Feinstaub (PM₁₀)

Das HBEFA stellt Emissionsfaktoren für alle gängigen Fahrzeugkategorien jeweils in emissionsrelevanter Differenzierung für eine Vielzahl von Verkehrssituationen zur Verfügung. Entsprechend der örtlichen Gegebenheiten wurden die Emissionsfaktoren für das Jahr 2005 berechnet und gemäß der den Straßenräumen zugeordneten Verkehrsmengen zu tatsächlichen Quellstärken verrechnet. Diese sind in das Geodatenbankumfeld des Straßenverkehrsnetzes überführt worden und auf ein für das Simulationsmodell FITNAH geeignetes Raster mit einer Zellengröße von 60 m x 60 m abgebildet worden. Die Emissionshöhe beträgt dabei 0,5 m über Grund. Somit stand ein GIS-gestütztes Kataster für die Ausbreitungssimulation der verkehrsbedingten Luftschadstoffe bereit.

Berechnung der nicht motorbedingten Feinstaub-Emissionen

Die Emissionsfaktoren für die Komponente Feinstaub (PM₁₀) lassen sich in motorbedingt sowie nicht motorbedingt untergliedern. Verursacher der PM₁₀-Immissionen im Nahbereich von Straßen sind im Wesentlichen die folgenden Komponenten:

- Auspuffemissionen
- Straßenabrieb
- Reifenabrieb
- Brems- und Kupplungsabrieb
- Aufwirbelung von Straßenstaub sowie überregionaler Eintrag

Nur für die *Auspuffemissionen* liegen in Deutschland fundierte Informationen in Form des HBEFA vor. Für die Berechnung der *nicht motorbedingten Emissionen* wurde das von DÜRING & LOHMEYER (2004) und in BAST (2005) beschriebene Verfahren verwendet. Im Rahmen dieses Ansatzes werden den Verkehrssituationen des HBEFA und den jeweiligen Fahrzeugtypen spezifische, nicht motorbedingte Emissionsfaktoren für Abrieb und Aufwirbelung zugewiesen.

5.2 Jahresmittelwerte der Schadstoffe NO₂ und PM₁₀

Die mit dem Modell FITNAH ermittelten Jahresmittelwerte der für die Quellgruppe Verkehr ausgewählten Leitkomponenten zeigen die Abbildungen 5.1 und 5.2. Der Untersuchungsraum wird hinsichtlich der Immissionen vor allem durch den Verlauf der Autobahnen rund um das eigentliche Stadtgebiet geprägt.

In den Immissionsfeldern zeichnen sich aber ebenso Belastungsschwerpunkte entlang des Hauptstraßennetzes oder an Kreuzungen ab. Zu den Straßen mit hohen Verkehrsdichten und damit verbundenen Emissionen zählen vor allem die folgenden Abschnitte:

- Autobahnabschnitte:
 1. A59 ~ 50.000 Kfz/Tag
 2. A46 ~ 100.000 Kfz/Tag
 3. A3 ~ 120.000 Kfz/Tag
- Benrather Straße - Berliner Straße – L85, Walder Straße (~ 27.500 bis 17.000 Kfz/Tag)
- Hülsenstraße (~ bis 20.500 Kfz/Tag mit hohem LKW Anteil)
- Richtrather Straße (~ bis 20.500 Kfz/Tag)
- Hochdahler Straße – Kirchhofstraße (~ 19.500 bis 16.000 Kfz/Tag)
- Westring (~ 17.000 – 14.000 Kfz/Tag mit hohem LKW Anteil)
- Ellerstraße (~ bis 17.000 Kfz/Tag mit hohem LKW Anteil)
- Elberfelder Straße (~ bis 16.000 Kfz/Tag)

Die Verkehrsdichte spiegelt sich im Immissionsfeld wieder, wobei die höchsten Immissionen im Umfeld der Autobahnen A46 und A3 zu finden sind. Die Reichweiten der Immissionen werden, bedingt durch die grobe Rasterweite der Modellierung (60 m Raster), etwas überschätzt. Das Wertenniveau wurde mit den Messwerten der Messstation Düsseldorf Reisholz, die noch innerhalb des Untersuchungsgebietes liegt, abgeglichen.

Es kann davon ausgegangen werden, dass aufgrund der Lage der Messstation ca. 100 m südlich der stark befahrenen A46 die gemessenen Werte einen verkehrsbedingten Anteil enthalten und nicht die tatsächliche Hintergrundbelastung der Stadt Hilden wiedergeben. Zur Abschätzung der Hintergrundbelastung wurden daher auch Messwerte der Station Düsseldorf Lörick herangezogen, die die städtische Hintergrundbelastung von Düsseldorf repräsentieren. Als Hintergrundkonzentrationen für PM₁₀ wurde der etwas niedrigere Messwert der Station Lörick verwendet. Die PM₁₀ Hintergrundbelastung hat einen hohen regionalen Anteil, so dass eine Übertragung der Werte auf das Stadtgebiet von Hilden sinnvoll erscheint. Die Grundbelastung von NO₂ weist im Vergleich zu PM₁₀ einen deutlichen höheren lokalen Anteil auf. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Hintergrundbelastung von Hilden etwas niedriger als die Hintergrundbelastung von Düsseldorf ist. Als Hintergrundbelastung wurde in der Ausbreitungsrechnung deshalb ein Wert von 25 µg/m³ angenommen, der etwas niedriger als der an der Station Düsseldorf-Lörick gemessene Wert ist. Unter Annahme dieser Hintergrundbelastungen und der angegebenen Verkehrsstärken der A46, liefern die Modellrechnungen gute Übereinstimmungen mit Messwerten der Station Düsseldorf Reisholz.

Tabelle 5.1 zeigt die gemessenen Jahresmittelwerte für die Leitkomponenten für das Jahr 2005, sowie die berechnete Immissionskonzentration für den Standort Reisholz.

	Düsseldorf Lörick Messwert 2005	Düsseldorf Reisholz Messwert 2005	Düsseldorf Reisholz berechneter Wert
NO₂	29 µg/m ³	38 µg/m ³	38 µg/m ³
PM₁₀	22 µg/m ³	26 µg/m ³	27 µg/m ³

Tabelle 5.1: Gemessene und berechnete Jahresmittelwerte der Schadstoffe NO₂ und PM₁₀.

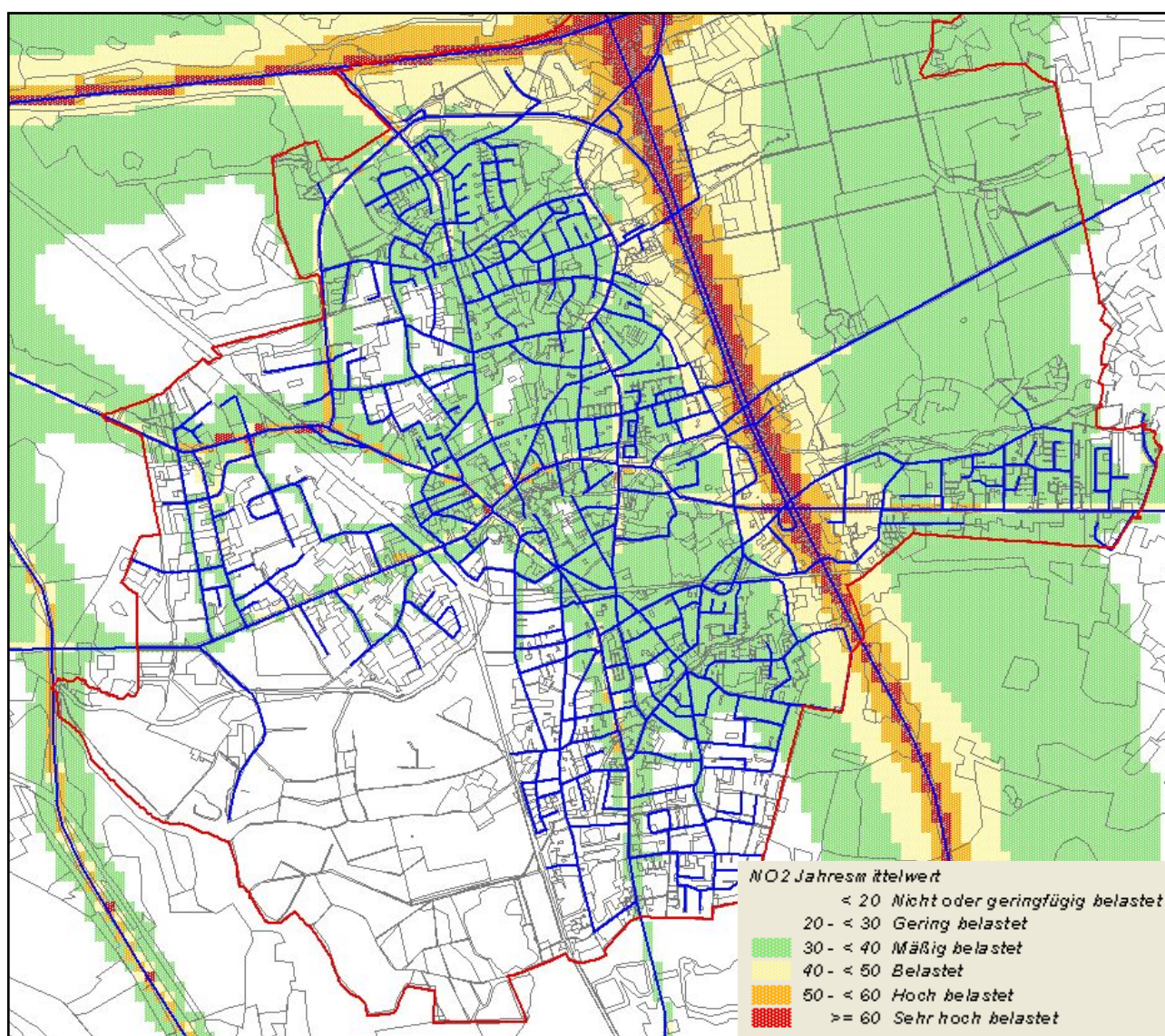


Abb. 5.1: Jahresmittelwert der NO₂-Immission in µg/m³ im Stadtgebiet von Hilden.

Abbildung 5.1 zeigt die berechneten Jahresmittelwerte der NO₂ Konzentration. Der gemäß 22. BImSchV ab 2010 gültige Jahresimmissionswert für NO₂ von 40 µg/m³ wird auf allen gelben, orangen und roten Flächen potentiell überschritten. Neben den Bereichen entlang der Autobahnen zeichnen sich im NO₂ Immissionsfeld auch vor allem die oben bereits aufgeführten innerstädtischen Straßen mit hohen Verkehrszahlen als potentielle Bereiche mit Grenzwertüberschreitungen aus.

Abbildung 5.2 zeigt, dass es auch bei PM₁₀ zu Überschreitungen des Jahresimmissionswertes von 40 µg/m³ kommen kann. Das Immissionsfeld für PM₁₀ weist neben den Autobahnen vor allem die stärker befahrenen innerstädtischen Straßen mit hohem LKW Anteil, wie die Hülsestraße, Teile des Westringes und der Ellerstraße als potentielle Überschreitungsbereiche für den Jahresmittelwert aus. Weiterhin zeigt das PM₁₀ Immissionsfeld im Verlauf der B228, L85 und der Richrather Straße vor allem in Kreuzungsbereichen punktuell Überschreitungen.

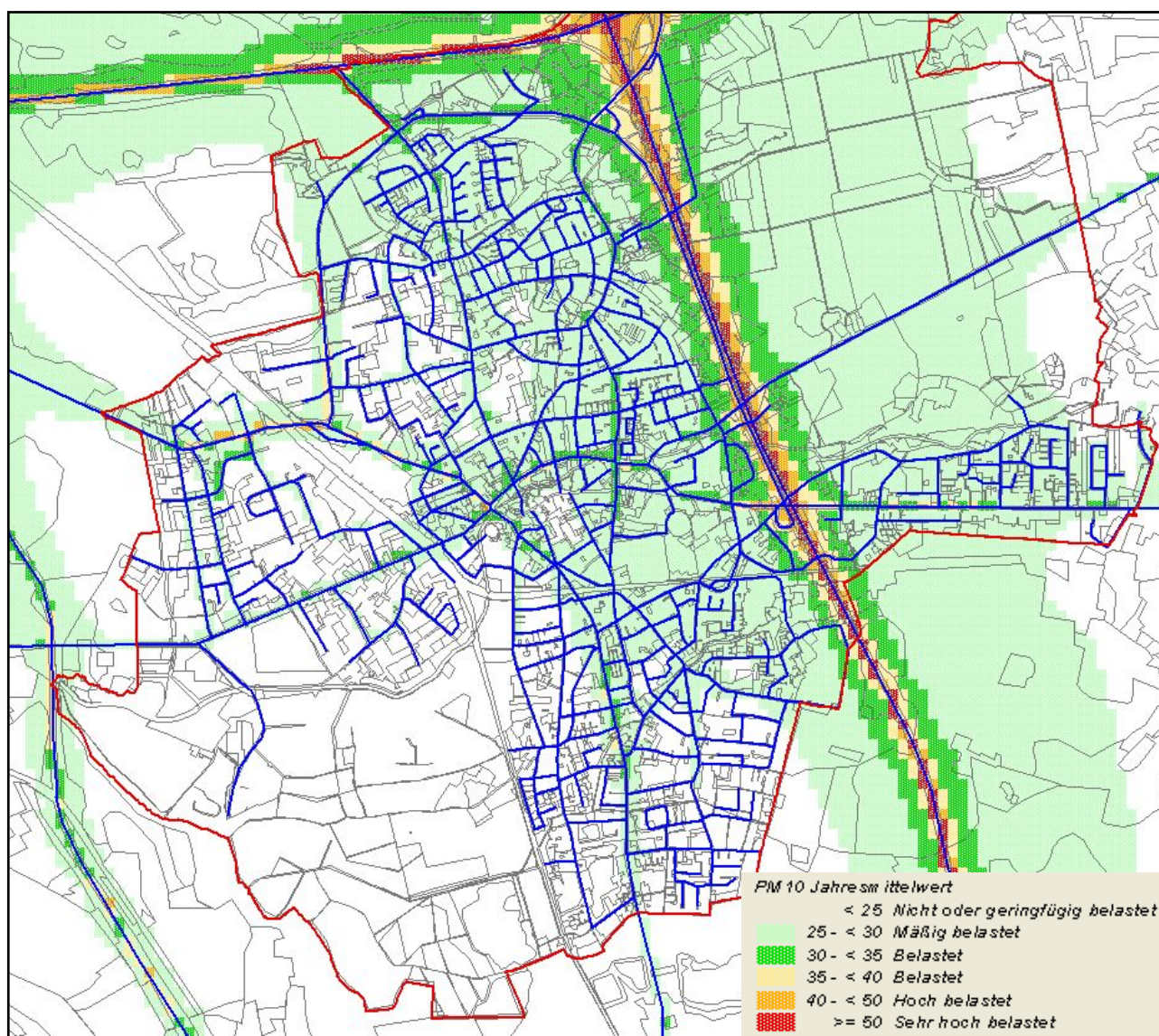


Abb. 5.2: Jahresmittelwert der PM₁₀-Immission in µg/m³ im Stadtgebiet von Hilden

Für eine Beurteilung der lufthygienischen Situation im Stadtgebiet wurde NO₂ als Leitkomponente für verkehrstypische Luftschadstoffe ausgewertet, da sich im berechneten NO₂-Immissionsfeld eher Grenzwertüberschreitungen abzeichnen als bei den Feinstaubimmissionen. Zudem weisen PM₁₀ Konzentrationen einen hohen überregionalen Anteil auf, wohingegen NO₂ Belastungen im Vergleich einen höheren lokalen Anteil zeigen. Die flächenhafte Ausdehnung des NO₂-Belastungsbereiches mit potentiellen Überschreitungen des Jahres-Immissionswertes beläuft sich insgesamt auf etwa 11 % des Siedlungsraumes der Stadt Hilden.

5.3 Abschätzung der Immissionen mit dem Screeningmodell IMMIS-luft

Zum Vergleich wurden mit dem Screeningmodell IMMIS-luft, für einige Straßenanschnitte NO₂ und PM₁₀ Immissionen berechnet. Die Nutzung des Programms wurde der Stadt Hilden im Rahmen des „Luftschadstoff-Screening-NRW“ des LANUV ermöglicht. Als Screeningmodell sind in dem Modellsystem IMMIS die Ergebnisse aus zuvor durchgeführten komplexen Modellsimulationen zu verkehrsbedingten Immissionen in Straßen mit unterschiedlichen Bebauungsdichten in Tabellenform zusammengefasst. IMMIS-luft kombiniert dann diese tabellarischen Ergebnisse mit den vorzugebenden Parametern Straßengeometrien, Verkehrsstärke und einer für den Ort typischen mittleren Windgeschwindigkeit. Aus diesen Vorgaben werden dann Schadstoff-Immissionen in dem betrachteten Straßenraum abgeschätzt.

Ausgewählt wurden hier solche Straßen, die in der durchgeführten Analyse mit dem Modell FITNAH als potentiell belastete Bereiche bewertet wurden. Da es sich bei dem Modell FITNAH, mit dem Immissionen für das gesamte Stadtgebiet von Hilden berechnet wurden (s. Kap. 3 und 5) und dem Screeningmodell IMMIS-luft, das auf Datenbanken zurückgreift, um sehr verschiedene Modelltypen handelt, ist eine genaue Übereinstimmung der Ergebnisse nicht zu erwarten. Die Prognosen mit IMMIS-Luft wurden für den aktuellen Zeitraum 2009 und für 2010 durchgeführt.

Für die Abschätzung wurden 6 Belastungsschwerpunkte im Stadtbereich betrachtet. Von den ausgewählten Straßen wurden die maximalen Verkehrsbelastungen angenommen und für die Immissionsbelastung baulich ungünstige Abschnitte aus dem Straßenverlauf betrachtet. Die Höhe der Bebauung sowie die Straßenbreiten wurden grob abgeschätzt. Die Abschätzung beruht auf Daten aus einem digitalen Gebäudemodell, dass von der Stadt Hilden zur Verfügung gestellt wurde. Die Verkehrsbelastungen entsprechen den Annahmen für die Simulationen mit dem Modell FITNAH, wobei angenommen wurde, dass sich die Verkehrszahlen bis 2010 nicht ändern. In Tabelle 5.2 sind die Straßengeometrien sowie die Verkehrsbelastungen zusammengefasst. Bei der Prognose für 2009 wurde in Anlehnung an die zuvor durchgeführten Simulationen, die Messwerte der Station Düsseldorf Lörick verwendet, die als nächstgelegene Messstation eine städtische Hintergrundbelastung repräsentiert. Die Prognose für 2010 basiert auf der vom LANUV im Rahmen des „Luftschadstoff screenings NRW“ angegebenen allgemeinen Hintergrundbelastung für 2010.

Die Ergebnisse zeigen, dass es gemäß der Abschätzung mit IMMIS nicht zu Grenzwertüberschreitungen für PM₁₀ kommt. Der Jahres-Immissionswert von 40 µg/m³ für PM₁₀ kann eingehalten werden. Zusätzlich wurden Überschreitungen des Tages-Immissionswertes von 50 µg/m³ bestimmt. Zulässig sind durchschnittlich 35 Überschreitungen des Tages-Immissionswertes, gemäß IMMIS wurden für einen Belastungsschwerpunkt maximal 34 Überschreitungstage ermittelt. Die Grenzwerte gemäß TA-Luft bzw. 22. BImSchV für Feinstaub können gemäß der Abschätzung damit eingehalten werden.

Für NO₂ wurden für 2009 im Jahresmittel Konzentrationen von bis zu 44,5 µg/m³ berechnet. Im Jahr 2009 wird der Jahres-Immissionswert von 42 µg/m³ an drei Belastungsschwerpunkten überschritten. Ab 2010 muss ein Jahresimmissionswert von 40 µg/m³ eingehalten werden. Hier zeichnen sich ebenfalls drei Bereiche mit potentiellen Grenzwertüberschreitungen ab.

	Benrather Straße	Berliner Straße	Westring	Ellerstraße süd	Hülsenstraße	Richrather Straße
DTV	16700	26400	17200	16800	24300	20000
LKW-Anteil	10 %	5 %	11 %	18 %	15 %	10 %
Porosität	20	30	50	30	40	30
Breite in m	20	30	60	25	40	30
Höhe in m	15	12	12	12	15	12

Tabelle 5.2: Verkehrsbelastung und Straßengeometrie ausgewählter Belastungsschwerpunkte.

Bezugsjahr 2009	Benrather Straße	Berliner Straße	Westring	Ellerstraße süd	Hülsenstraße	Richrather Straße
Vorbelastung PM ₁₀ in µg/m ³	22	22	22	22	22	22
Vorbelastung NO ₂ in µg/m ³	29	29	29	29	29	29
PM ₁₀ : Gesamtbelastung in µg/m ³	29,8	27	23,5	29,5	27,7	27,3
PM ₁₀ : Überschreitungstage des Tagesmittelwertes	34	25	15	33	27	26
NO ₂ Gesamtbelastung in µg/m ³	42,9	34,8	29	44,5	41,5	38,2

Tabelle 5.3: Mit dem Modell IMMIS-luft abgeschätzte NO₂ und PM₁₀ Immissionen für das Bezugsjahr 2009 unter Berücksichtigung der Vorbelastung der Messstation Düsseldorf Lörick.

Bezugsjahr 2010	Benrather Straße	Berliner Straße	Westring	Ellerstraße süd	Hülsenstraße	Richrather Straße
Vorbelastung PM ₁₀ in µg/m ³	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4
Vorbelastung NO ₂ in µg/m ³	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4
PM ₁₀ : Gesamtbelastung in µg/m ³	26,5	23,7	20	26,1	24,2	23,8
PM ₁₀ : Überschreitungstage des Tagesmittelwertes	23	16	8	22	17	16
NO ₂ Gesamtbelastung in µg/m ³	42,6	34,6	27,3	44,1	41,3	38

Tabelle 5.4: Mit dem Modell IMMIS-luft abgeschätzte NO₂ und PM₁₀ Immissionen für das Bezugsjahr 2010 unter Berücksichtigung der vom LANUV für das Bezugsjahr 2010 angegebenen Vorbelastung.

Die Immissionsberechnungen mit beiden Modellen weisen damit auf potentielle Grenzwertüberschreitungen hin. Die mit dem Screeningmodell bestimmten Ergebnisse zeigen, dass es vor allem für NO₂ punktuell zu Überschreitungen kommen kann. Ein Vergleich beider Berechnungen zeigt, dass die Simulationen mit dem Modell FITNAH insgesamt etwas pessimistischere Ergebnisse liefern.

6. Kenngrößen für die regenerativen Energieträger Wind und solare Einstrahlung

6.1 Windenergie

Für eine Ausweisung möglicher Vorrangflächen für Windenergienutzung wurden mit dem Modell FITNAH für das Untersuchungsgebiet Hilden Jahresmittelwerte der Windgeschwindigkeit berechnet. Die Windprognosen wurden auf dem gleichen Rechengitter und mit der gleichen Landnutzungsstruktur wie die zuvor beschriebenen Modellsimulationen durchgeführt. Als Antrieb wurde die Windstatistik der Station Düsseldorf des Deutschen Wetterdienstes verwendet. Die Auswertung erfolgte für 2 Höhengniveaus, die dem Niveau typischer Nabenhöhen von Windenergieanlagen (WEA) entsprechen.

Für große WEA (Leistung ≥ 1 MW) erfolgte eine Auswertung der Jahresmittel der Windgeschwindigkeiten für das 80 m Niveau. Für einen rentablen Betrieb dieser Anlagen sollte die Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe im Jahresmittel mindestens 6 m/s betragen. Abbildung 6.1 zeigt Flächen im Untersuchungsgebiet, auf denen in einer Höhe von 80 m über Grund im Jahresmittel die Windgeschwindigkeit mehr als 6 m/s beträgt. In der Abbildung ist die Stadtgrenze von Hilden als rote Linie zu erkennen. Am Randbereich des Stadtgebietes wurden jeweils nur kleine Flächen ermittelt, auf denen die Windgeschwindigkeit für den Betrieb einer Windenergieanlage ausreichend sein würde. Solche Flächen liegen an der östlichen Stadtgrenze, zwischen dem Stadtwald und der Ortschaft Haan, im südlichen Stadtbereich vornehmlich auf Freiflächen des Forst Garath und am nord-westlichen Stadtrand nahe des Elbsees. Zu berücksichtigen ist, dass Windenergieanlagen der betrachteten Größe gewisse Mindestabstände zu Wohnbebauung, Wald- oder Naturschutzgebieten einhalten müssen. Nach dem derzeitigen Stand der Technik der Anlagen und gültigen Vorschriften (z. B. Windenergieerlass, NRW 2005) erscheint eine Ausweisung von Vorrangflächen für Windenergie im Stadtgebiet von Hilden nicht sinnvoll.

Die Nachfrage nach Kleinwindanlagen mit Leistungen unter 5 kW ist in letzter Zeit deutlich angestiegen. Für eine Analyse der Nutzungsmöglichkeiten dieser Kleinanlagen wurde das Windfeld im 20 m Niveau ausgewertet. Da die Kleinwindanlagen vergleichsweise hohe Anlaufgeschwindigkeiten (etwa 2 m/s) haben, stellt eine Windgeschwindigkeit von 4 m/s im Mittel schon einen unteren Randwert für einen rentablen Betrieb dieser Anlagen dar. Eine durchschnittliche Kleinwindenergieanlage (Leistung 2,5 bis 3,5 kW) erbringt bei einer Windgeschwindigkeit von 4 m/s derzeit eine Leistung von weniger als 300 Watt. Aufgrund der für den Raum Hilden typischen Windverhältnisse und der Leistungen derzeitiger Kleinwindanlagen erscheint ein Betrieb solcher Anlagen momentan als wenig rentabel. Flächen mit Windgeschwindigkeiten von durchschnittlich größer 4 m/s liegen ausschließlich außerhalb des Siedlungsraumes. Da innerhalb des Siedlungsraumes die z.Zt. noch als Rentabilitätsschwelle anzusehende Windgeschwindigkeit von mindestens 4 m/s als Flächenmittel nicht erreicht wird, erscheint eine Ausweisung von Vorrangflächen auf Grundlage der FITNAH Simulationen als nicht sinnvoll.

Denkbar wäre aber auch eine Errichtung solcher Kleinwindanlage über Dachniveau. Die Simulationen mit dem Modell FITNAH spiegeln gemittelte Geschwindigkeiten für 60 m X 60m große Flächen wider, die tatsächlichen Windgeschwindigkeiten zwischen und über Gebäuden können aber lokal sehr unterschiedlich

sein. Für eine Analyse von Windgeschwindigkeiten im Nahbereich von Gebäuden sind hochauflösende mikroskalige Modellrechnungen mit Auflösungen im Bereich von 2 m bis 5 m erforderlich. Geeignet wären ebenfalls Windmessungen, wobei die Ergebnisse dann aber nicht auf andere Standorte übertragbar sind.

In Abbildung 6.2 sind Flächen gekennzeichnet, auf denen die mittlere Windgeschwindigkeit mindestens 4 m/s beträgt. Ein Vergleich der Abbildungen 6.1 und 6.2 verdeutlicht, dass dieses Kriterium häufig nur von Teilbereichen der Flächen erfüllt wird, die von der Windklimatologie her auch für Großwindanlagen geeignet wären.

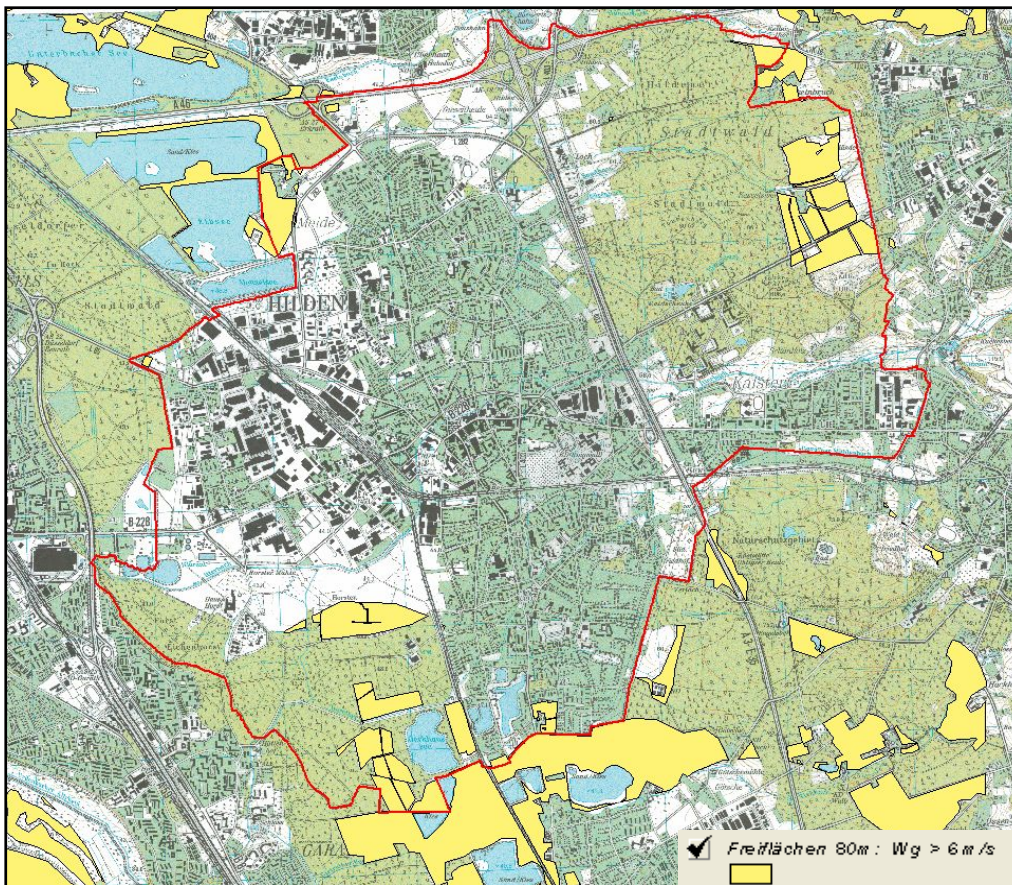


Abb. 6.1: Flächen mit Jahresmittelwerten der Windgeschwindigkeit > 6 m/s in 80 m über Grund.

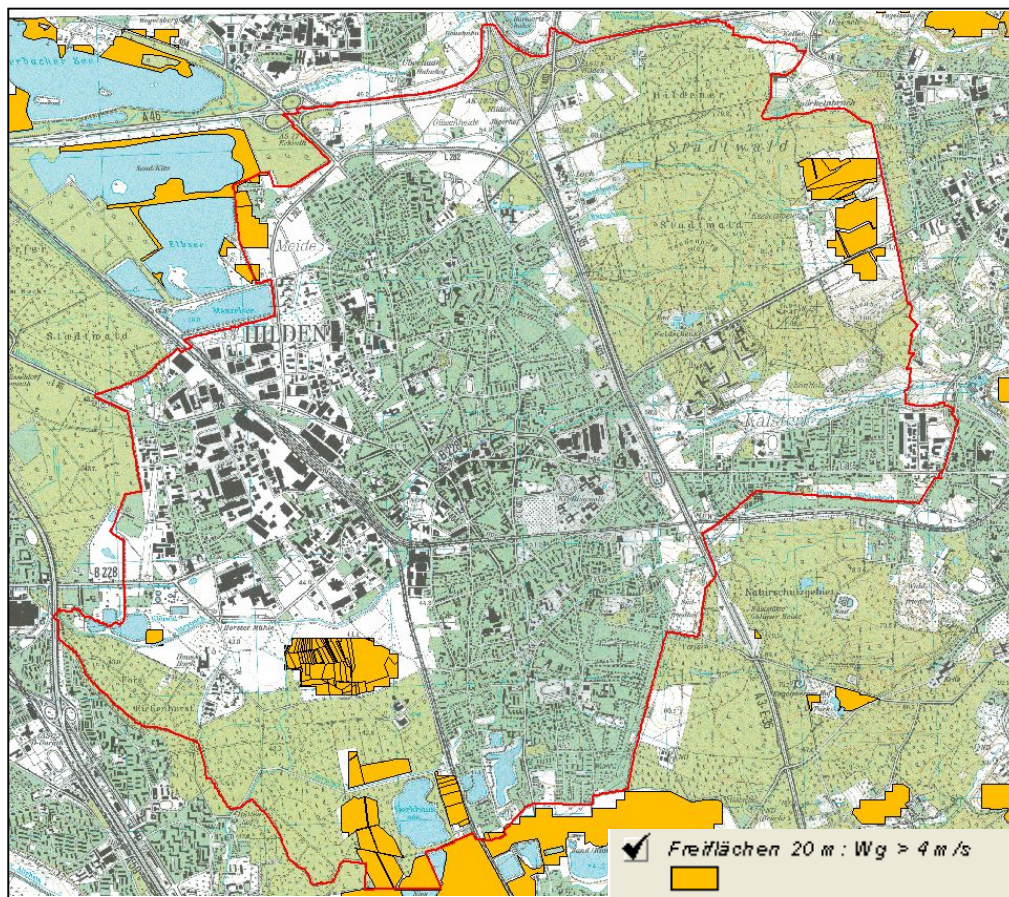


Abb. 6.2: Flächen mit Jahresmittelwerten der Windgeschwindigkeit > 4 m/s in 20 m über Grund.

6.2 Solare Einstrahlung

Die durchschnittliche jährliche Sonnenscheindauer liegt innerhalb Deutschlands weitestgehend bei Werten zwischen 1300 und 1800 Stunden, mit einer durchschnittlichen Häufigkeit von etwa 1550 Stunden. Gemäß dem Klima-Atlas von Nordrhein-Westfalen (Ministerium für Raumordnung und Landwirtschaft des Landes NRW, 1989) liegt Hilden in einer Region mit einer durchschnittlichen Anzahl von 1400 bis 1500 Stunden Sonnenschein pro Jahr unter dem bundesdeutschen Durchschnitt.

Zur Einschätzung des Potenzials für eine Nutzung von Solarenergie wurden die astronomisch möglichen maximalen Strahlungsleistungen ermittelt, die sich aus der geographischen Lage des Stadtgebietes und der Geländeneigung ergeben. Die maximal mögliche Strahlungsleistung liegt im Stadtgebiet großflächig über Werten von mehr als 900 kWh/m^2 und Jahr. Der tatsächliche Strahlungsgenuss hängt dann neben der tatsächlichen Sonnenscheindauer von der Ausrichtung und Neigung möglicher Dachflächen für geplante Solarenergieanlagen ab. Allgemeine Aussagen zur Rentabilität möglicher Anlagen sind ohne weitere Detailkenntnisse nicht sinnvoll, zumal die Rentabilität letztlich auch von der Einspeisevergütung abhängt.

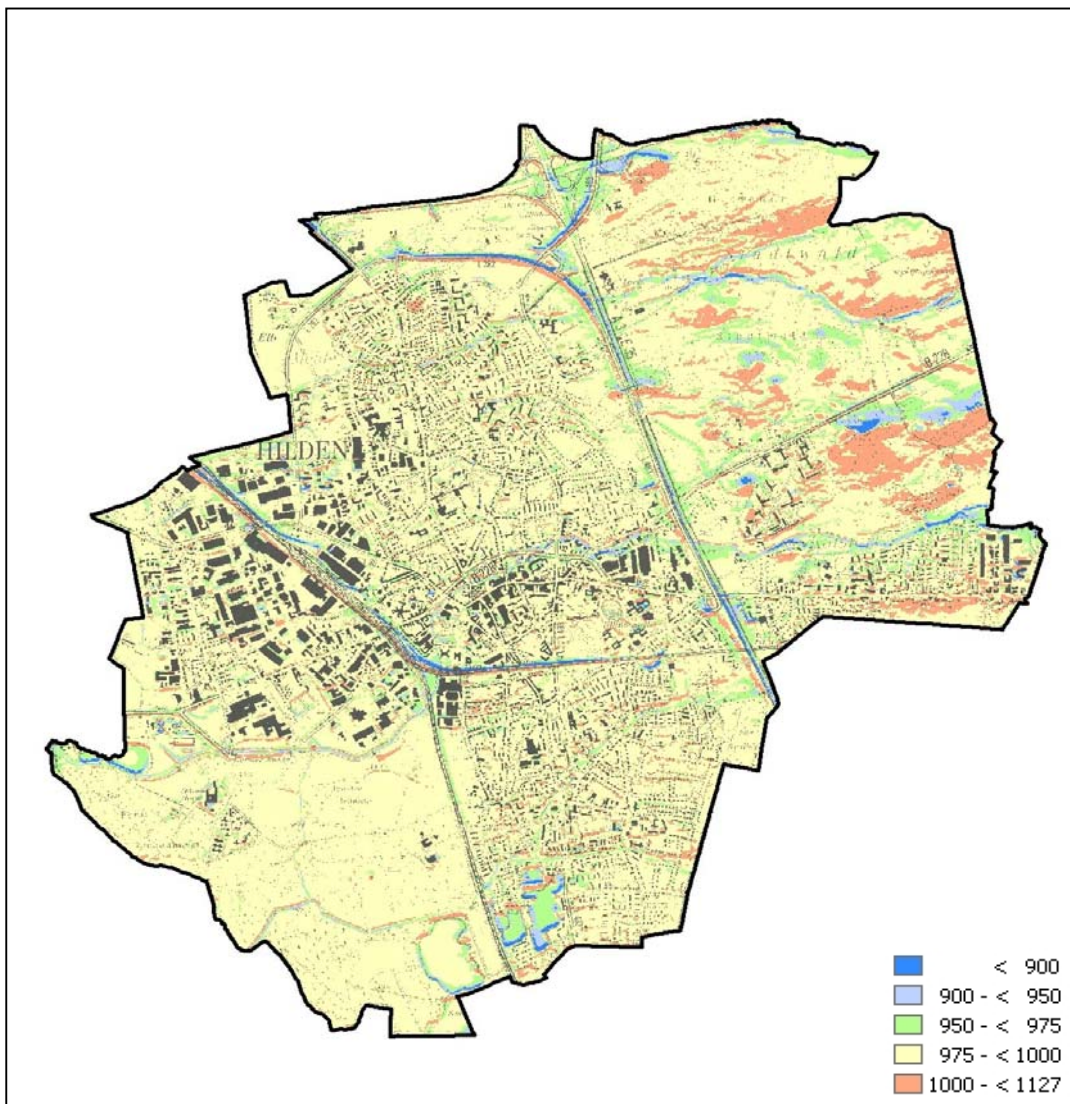


Abb. 6.3: Maximale, astronomisch mögliche solare Strahlungsleistung in kWh pro m² und Jahr.

7. Klimaökologische Funktionen

7.1 Ermittlung der klimaökologischen Struktureinheiten

Um Aussagen über stadtklimatische Funktionszusammenhänge treffen zu können, müssen die unterschiedlichen Flächeneinheiten des Untersuchungsgebietes in ihren klimatischen Merkmalen untereinander abgrenzbar sein. Dafür werden den Blockflächen der verwendeten digitalen Nutzungsstruktur die relevanten Klimaparameter wie z.B. Windgeschwindigkeit oder Lufttemperatur in 2 m Höhe zugeordnet. Diese Parameter liegen als rasterbasierte Felder mit einer Flächengröße von 60m x 60m in einem Geographischen Informationssystem vor. Die Ausbreitungsfelder der verkehrsbedingten Luftschadstoffe (s. Kapitel 5) wurden auf dem gleichen Raster berechnet.

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

Grün- und Freiflächen

Als Kaltluft produzierende Bereiche gelten vegetationsgeprägte Freiflächen wie z.B. Ackerflächen, Parkareale, Kleingärten und Friedhofsanlagen. Für die Charakterisierung der Ausgleichsleistung wird der Kaltluftvolumenstrom herangezogen, der den Zustrom von Kaltluft aus benachbarten Rasterzellen quantifiziert (s. Kap.4.2.3). Für eine Beurteilung der Ausgleichsleistung der einzelnen zu beurteilenden Flächen wird hier der Mittelwert des Volumenstromes der jeweiligen Gesamtfläche betrachtet. Die qualitative Einordnung der Werte orientiert sich dabei an der Klassenbreite des im Untersuchungsraum auftretenden Wertespektrums. Ausgangspunkt für die qualitative Einordnung der einzelnen Freiflächen ist dabei das arithmetische Mittel der Volumenströme innerhalb des gesamten Beurteilungsgebietes. Dadurch stehen nicht die absoluten Werte der Rasterzellen innerhalb der Kaltlufteinzugsgebiete im Vordergrund der Analyse, sondern vielmehr die relativen Unterschiede zwischen den verschiedenen Strömungssystemen (vgl. MOSIMANN et al. 1999). Die Bewertung des Siedlungsraumes erfolgt in Anlehnung an den Entwurf der VDI Richtlinie 3785 vom Dezember 2007 mittels der sogenannten z-Transformation, bei der die Abweichung eines Wertes vom Gebietsmittel dieses Wertes mit der Standardabweichung normiert wird:

$$z = (Z - \mu) / \text{Sigma} \quad , \quad \text{mit}$$

- z: standardisierter Wert der Variablen Z (hier Kaltluftvolumenstrom)
- Z: Ausgangswert der Variablen (hier Kaltluftvolumenstrom)
- μ : arithmetisches Mittel der Variablen
- Sigma: Standardabweichung

Die z-Transformation wurde auf die Grünflächen des gesamten Rechengebietes angewendet, da in Hilden auch Flächen außerhalb der Stadtgrenzen für Kaltluftproduktion und den Transport von Kaltluft zum Stadt-

gebiet von Bedeutung sind. Eine weitere Auswertung der Flächen wurde dann ausschließlich für das zu beurteilende Stadtgebiet durchgeführt (Kap. 7.2).

Die Klassifizierung der Grün- und Freiflächen erfolgt damit ähnlich der Klassifizierung der Siedlungsräume (s.u.).

Bewertung	Kaltluftvolumenstrom (z-Transformation)
Sehr hoch	> 1
Hoch	0 bis 1
Mittel	-1 bis 0
Gering	< -1

Tabelle 7.1: Bewertung der mittleren Kaltluftlieferung von Grün- und Freiflächen.

Die Darstellung der Kaltluftproduktionsflächen in der Klimafunktionskarte erfolgt als abgestufte Flächenfarbe (siehe z.B. Abb. 7.1, 7.2). Ergänzend sind noch die Grenzen der Kaltlufteinzugsgebiete durch gestrichelte Linien dargestellt. Sie sind das Ergebnis einer Reliefanalyse, bei der eine Berechnung der Abflussbahnen mit ihren Abflussrichtungen durchgeführt wurde. Als Abflussbahnen können vor allem Tiefenlinien wie z.B. Fließgewässer angesprochen werden, innerhalb derer sich die Kaltluftströmungen kanalisieren. Da Fließgewässer stets der vorhandenen Flächenneigung folgen, eignen sie sich besonders als Leitbahnen für Kaltluft. Das Freihalten oder Schaffen von Grünzonen entlang von Fließgewässern, die belastete Siedlungsbereiche durchqueren, kann daher einen positiven Beitrag zum Stadtklima liefern.

Aus der gegenseitigen Abgrenzung ergeben sich Areale einheitlicher Gefällerrichtungen, aus denen die auf Freiflächen produzierte Kaltluft abfließen kann. Die gemeinsame Darstellung von Grünflächen und Einzugsgebieten hat den Vorteil, dass in der Klimafunktionskarte auch die Differenzierung der Kaltluftlieferung durch Einzelflächen sichtbar wird.

Zur qualitativen Einordnung der Wirksamkeit der Kaltlufteinzugsgebiete sind deren Kaltluftvolumenstrom sowie die Hauptabflussrichtung der Kaltluft jeweils über einen einzelnen hellblauen Pfeil charakterisiert. Da es hierbei um eine qualitative Darstellung der Informationen geht, wird der Übersichtlichkeit halber nur eine dreistufige Einteilung gewählt. Die Einteilung orientiert sich, wie zuvor bei den Grünflächen, an der Größenordnung der im Beurteilungsgebiet auftretenden Volumenströme. Die Einteilung in Tabelle 7.2 erfolgt anhand der mittleren Volumenströme bezogen auf die Breite einer Rasterzelle (s. Kap. 4.2.3). Bei der Darstellung in der Klimafunktionskarte gibt dabei die Pfeilrichtung die Fließrichtung an, Größe und Färbung der Pfeile kennzeichnen die Größenordnung des Kaltluftvolumenstromes (s. Tabelle 7.2). Die Abflussrichtung innerhalb der Einzugsgebiete wurde aus dem bodennahen Windfeld ermittelt, sie orientiert sich in der Ausrichtung meist an der vorhandenen Geländeneigung.

Bewertung	Kaltluftvolumenstrom in m³/s (als Mittelwert eines Einzugsgebietes)
Hoch	> 800
Mittel	400 bis ≤ 800
Gering	≤ 400

Tabelle 7.2: Qualitative Einordnung des Kaltluftvolumenstroms innerhalb eines Kaltlufteinzugsgebietes.

Siedlungsräume

Die Siedlungsräume lassen sich in ausreichend durchlüftete Areale und damit klimatisch günstige Siedlungsstrukturen sowie Belastungsbereiche untergliedern. Der Kaltlufteinwirkungsbereich kennzeichnet den Bereich in der angrenzenden Bebauung, den die ausströmende Kaltluft der Freiflächen während einer sommerlichen Strahlungsnacht erreicht. Um die Strömung als klimaökologisch relevant einordnen zu können, muss sie eine Strömungsgeschwindigkeit von mehr als 0,1 m/s erreichen. Daraus folgt, dass die im Einwirkungsbereich befindliche Bebauung eine überwiegend geringe bis keine bioklimatische Belastung aufweist. Ausschlaggebend für die Zuordnung der bioklimatischen Belastung eines Baublockes ist der Durchlüftungsgrad (mittlere Windgeschwindigkeit innerhalb eines Baublockes) sowie die Abweichung vom Gebietsmittelwert der Lufttemperatur in 2 m Höhe.

Die Bewertung des Siedlungsraumes erfolgt in Anlehnung an den Entwurf der VDI Richtlinie 3785 vom Dezember 2007 mittels der sogenannten z-Transformation, bei der die Abweichung der Temperatur vom Gebietsmittel mit der Standardabweichung normiert wird:

$$z = (Z - \mu) / \text{Sigma} \quad , \quad \text{mit}$$

- z: standardisierter Wert der Variablen Z (hier Temperatur)
- Z: Ausgangswert der Variablen (hier Temperatur)
- μ : arithmetisches Mittel der Variablen
- Sigma: Standardabweichung

Insgesamt gilt eine deutliche Überschreitung des Gebietsmittels der Lufttemperatur, durchweg in Verbindung mit einer geringen Strömungsgeschwindigkeit, als bioklimatisch belastend. Die bioklimatische Belastung wird in insgesamt 4 Klassen untergliedert. Dabei weisen belastete Baublöcke eine überdurchschnittlich hohe Wärmebelastung auf. Gemäß VDI Richtlinie 3785 werden Siedlungsräume mit einem z Wert größer 1 als belastet, solche mit einem z Wert kleiner –1 als nicht belastet eingestuft. Für den mittleren Wertebereich wird hier zusätzlich die Windgeschwindigkeit der bodennahen Kaltluftströmung zur Bewertung herangezogen. Je höher die Überwärmung (größerer z-Wert) bzw. geringer die Windgeschwindigkeit in der Bebauung ist, desto ausgeprägter ist die Belastung. Aus der Kombination beider Parameter wird insgesamt die Belastungssituation im Siedlungsraum entsprechend Tabelle 7.3 ermittelt:

Belastungsstufe	Normierte Abweichung der Temperatur vom Gebietsmittelwert (z-Transformation für 2 m Höhe)	Windgeschwindigkeit in m/s
Belastet (ungünstig)	>1	/
Mäßig belastet (weniger günstig)	-1 bis 1	≤ 0,1
Gering belastet (günstig)	-1 bis 1	> 0,1
Nicht belastet / bioklimatisch neutral (sehr günstig)	< -1	/

Tabelle 7.3: Qualitative Einordnung der bioklimatischen Belastung der Siedlungsflächen

Neben der bioklimatischen Belastung wird im Rahmen der Klimafunktionskarte auch der Aspekt der verkehrsbedingten Luftschadstoffbelastung mit einbezogen. Als lufthygienische Belastungsbereiche wurden flächenhaft Areale abgegrenzt, die eine Konzentration von mehr als $40 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$ im Jahresmittel aufweisen (Bezugsjahr 2005). Ist ein bereits bioklimatisch belasteter Baublock gleichzeitig im Jahresmittel durch eine verkehrsbedingte lufthygienische Belastung von mehr als $40 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$ beaufschlagt, sind diese Bereiche als bioklimatisch und lufthygienisch belastet mit einer eigenen Signatur ausgewiesen worden.

Kaltluftleitbahnen

Leitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete (Ausgleichsräume) und Belastungsbereiche (Wirkungsräume) miteinander und sind somit elementarer Bestandteil des Luftaustausches. Die Ausweisung der Leitbahnbereiche orientiert sich am autochthonen Strömungsfeld der FITNAH-Simulation. Im Stadtgebiet von Hilden treten vor allem Bereiche ohne oder mit geringer Bebauung als Leitbahnen für Kaltluft in Erscheinung. Als geeignete Oberflächenstrukturen innerhalb von Siedlungsräumen, die ein Eindringen von Kaltluft in die Bebauung erleichtern, können gering bebaute vegetationsgeprägte Freiflächen, breite Straßenräume und Gleisareale oder auch Fließgewässer mit Grünzonen an ihren Randbereichen dienen.

Kaltluftabflüsse treten über unbebauten Hangbereichen auf, sofern sie Neigungen von $\geq 1^\circ$ aufweisen. Aufgrund der vergleichsweise höheren Dichte von Kaltluft setzt sie sich, dem Gefälle folgend, hangabwärts in Bewegung. Durch diese Beschleunigung weisen Kaltluftabflüsse an Hängen meist höhere Strömungsgeschwindigkeiten auf als Strömungen, die sich nur aufgrund des Temperaturunterschiedes zwischen kühlen Freiflächen und überwärmter Bebauung einstellen. Aus stadtklimatischer Sicht sind daher Kaltluftabflüsse als sehr wirksam zu bewerten.

7.2 Klimafunktionskarte

Im Folgenden wird auf die Klimafunktionskarte als erstes Teilergebnis dieser Untersuchung eingegangen. Der Ausarbeitung basiert auf den zuvor in Kapitel 7.1 beschriebenen klimaökologisch relevanten Strukturen, die für das Stadtgebiet von Hilden auf Grundlage der vorangegangenen Modellsimulationen ermittelt wurden. Darin wurden die relevanten meteorologischen Parameter wie Temperaturfeld, Kaltluftmassenstrom und autochthones Strömungsfeld sowie die lufthygienische Belastung durch verkehrsbedingte Schadstoffe modelliert und in ihrer flächenhaften Ausprägung dargelegt.

Ausgangspunkt der vorliegenden Analyse ist nun die Gliederung des Untersuchungsraumes in bioklimatisch und/oder lufthygienisch belastete Siedlungsräume (**Wirkungsraum**) einerseits und Kaltluft produzierende, unbebaute und vegetationsgeprägte Flächen andererseits (**Ausgleichsräume**). Sofern diese Räume nicht unmittelbar aneinander grenzen und die Luftaustauschprozesse stark genug ausgeprägt sind, können linear ausgerichtete, gering überbaute Freiflächen beide miteinander verbinden (**Luftleitbahnen**). Aus der Abgrenzung von Gunst- und Ungunsträumen sowie der verbindenden Strukturen ergibt sich somit ein komplexes Bild vom Prozesssystem der Luftaustauschströmungen des **Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüges** im Untersuchungsgebiet. Die Klimafunktionskarte bildet dabei den planungsrelevanten Ist-Zustand der Klimasituation ab. Die abzugrenzenden klimatischen Funktionsräume sollen Aussagen darüber liefern, in welchen Gebieten

- einerseits ein Potenzial zur Entlastung anderer (angrenzender und auch weiter entfernter) Räume vorhanden ist
- andererseits über den großräumigen Einfluss hinaus die stärksten Zusatzbelastungen zu erwarten sind,
- bevorzugt Luftaustauschbereiche anzunehmen sind, die eine wichtige Rolle für den bodennahe Frisch- und Kaltluftlufttransport übernehmen.

Die Klimafunktionskarte beinhaltet die klimaökologisch wichtigen Elemente und basiert auf der Analyse des klimatischen Ist-Zustandes des Stadtgebietes von Hilden. Dabei konzentriert sich die Darstellung auf Elemente und Bereiche, die sich über landschaftsplanerische Maßnahmen positiv beeinflussen lassen (Maßnahmen zum Schutz, zur Sicherung und zur Entwicklung der Schutzgüter Klima und Luft).

Die Klimafunktionskarte liefert eine Basis, anhand der klimatische Beeinträchtigungen abgeschätzt werden können, die sich aus Nutzungsänderungen ergeben könnten. Darüber hinaus stellt sie die Grundlage für ein räumliches Handlungskonzept für den Bereich Klima/Luft in der Landschaftsplanung bereit. Der Aufbau der Kartenlegende folgt dem Konzept des Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüges, wobei in den folgenden Unterkapiteln auf die Inhalte der Karte eingegangen wird. Die Klimafunktionskarte befindet sich im Anhang dieses Berichtes. Einzelne Ergebnisse der Klimafunktionskarte werden in den folgenden Unterkapiteln beschrieben.

7.2.1 Grün- und Freiflächen

Vegetationsbestandene Freiflächen mit einer nennenswerten Kaltluftproduktion stellen klima- und immissionsökologische Ausgleichsräume dar. Eine hohe langwellige nächtliche Ausstrahlung während austausch- armer Hochdruckwetterlagen führt zu einer starken Abkühlung der bodennahen Luftschicht. Aufgrund der Reliefsituation dominieren im östlichen Teil von Hilden vorwiegend Kaltluftabflüsse. Die Gesamtfläche der kaltluftproduzierenden Grünflächen innerhalb der Stadtgrenzen von Hilden beziffert sich auf etwa 1 244 Hektar, was einem Flächenanteil von rund 48 % des Stadtgebietes entspricht.

Grünflächen mit hoher bis sehr hoher Kaltluftlieferung sind Flächen mit hohen Kaltluftvolumenströmen. Solche Flächen sind vorwiegend am östlichen Stadtrand zu finden, wo die auf den dortigen, zum Teil bewaldeten Hangbereichen entstandene Kaltluft über Freiflächen ins eigentliche Stadtgebiet fließt. Am nördlichen und südlichen Stadtrand umströmt die abfließende Kaltluft die dichter bebauten Gebiete. Hier sind ebenfalls Freiflächen mit hohem bis sehr hohem Kaltlufttransport zu finden.

Die Kaltluftströmungen am westlichen und süd-westlichen Stadtrand sind vor allem durch lokale Temperaturunterschiede angetrieben und entsprechend schwächer ausgeprägt als Strömungen innerhalb der hang-abfließenden Kaltluft. Die Freiflächen am westlichen Stadtrand weisen weitestgehend eine mittlere bis geringe Kaltluftlieferung auf.

Am südwestlichen Stadtrand, an dem kaltluftproduzierende Freiflächen räumlich nahe an dicht bebaute Gewerbeflächen grenzen, können sich im Laufe einer Strahlungsnacht deutliche Temperaturunterschiede entwickeln, die zu ausgeprägten Ausgleichsströmungen führen. Hier sind entsprechend nochmals Flächen mit mittlerem bis zum Teil hohem Kaltlufttransport zu finden.

Die innerstädtischen Grünflächen können aufgrund ihrer Größe keine weit in die Bebauung eindringende Kaltluftlieferung bewirken. Die meisten Flächen weisen daher nur eine geringe Kaltluftlieferung auf. Liegen solche innerstädtischen Grünflächen allerdings im Bereich der großräumig von Osten eindringenden Kaltluft, unterstützen sie diese Kaltluftzufuhr und zeichnen sich entsprechend durch einen höheren Kaltluftvolumenstrom aus. Solche Flächen können dann bei entsprechender Lage auch für das gesamtstädtische Klima relevant sein, wenn sie dazu beitragen, dass die von außen einfließende Kaltluft weiter in die Bebauung eindringen kann. Reihen sich mehrere auch kleinere städtische Grünflächen in Bereichen einfließender Kaltluft hintereinander, wirken sie quasi wie Trittsteine, über die Kaltluft effektiv in das Stadtgebiet eindringen kann. Beispiele hierfür lassen sich in Hilden im südöstlichen Stadtbereich finden, wo kleinere innerstädtische Grünflächen durchaus mittlere bis hohe Kaltluftlieferungen aufweisen, da sie von eindringender Kaltluft überströmt werden. In diesem Zusammenhang ist der Hauptfriedhof als durchaus wichtige Grünfläche innerhalb der Kernstadt Hilden zu nennen. Über die eigene Kaltluftproduktion hinaus unterstützt er ein Vordringen der von Osten einfließenden Kaltluft in den dicht bebauten Kernbereich der Stadt.

Die Ausgleichsleistung von Flächen, die eine mittlere Kaltluftlieferung aufweisen, ist als klimaökologisch relevant einzuschätzen. Diese Flächen können z. B. als „grüne Trittsteine“ das Eindringen von Kaltluft in die Bebauung unterstützen und damit den jeweiligen klimatischen Einwirkungsbereich vergrößern. Kleine innerstädti-

sche Grünflächen, die durch eine geringe Kaltluftlieferung charakterisiert sind, bilden selten eine eigene Kaltluftströmung und damit einen Einwirkbereich aus, da sie in eine insgesamt wärmere Bebauung eingebettet sind. Durch die isolierte Lage in der Bebauung weisen sie zudem keine Anbindung an vorhandene Leitbahnen auf. Innerhalb von Belastungsbereichen können aber gerade diese Flächen eine Funktion als klimaökologische Komfortinseln erfüllen, sofern sie ein Mosaik aus unterschiedlichen Mikroklimaten wie beispielsweise beschattete und besonnte Bereiche oder sogar kühlende Wasserflächen aufweisen (Mikroklimavielfalt). Durch solche Eigenschaften sind frei zugängliche Flächen insbesondere an Sommertagen mit einer hohen Einstrahlungsintensität und damit einher gehenden Wärmebelastung im Innenstadtbereich relevant.

Somit führen unterschiedliche Struktureigenschaften der Grünflächen zu einem Mosaik aus Flächen unterschiedlicher Intensität hinsichtlich der Kaltluftdynamik. Die einzelnen Grünflächen innerhalb eines Kaltfluteinzugsgebietes besitzen in ihrer Summenwirkung eine Entlastungsfunktion für benachbarte und weiter entfernte Siedlungsräume. In Tabelle 7.4 ist der Anteil der Grünflächen der jeweiligen Kategorie aufgelistet. In der Tabelle sind dabei ausschließlich Grünflächen berücksichtigt, die innerhalb der Stadtgrenzen von Hilden liegen.

Kaltluftlieferung	Gesamtgröße der Klasse in Hektar	Anteil am Grünflächenbestand
Sehr hoch	88	7 %
Hoch	264	21 %
Mittel	596	48 %
Gering	296	24%
Summe: Grünflächen im Stadtgebiet	1244	

Tabelle 7.4: Qualitative Einordnung der Kaltluftlieferung von Grünflächen im Stadtgebiet Hilden.

7.2.2 Siedlungsräume

Wie in Kap. 7.1 beschrieben, ist die bioklimatische Belastungssituation der Baublöcke auf Basis der Parameter Abweichung vom Gebietsmittelwert der Lufttemperatur in 2 m Höhe sowie Windgeschwindigkeit ausgewiesen worden. Unter Berücksichtigung der verkehrsbedingten Immissionen ergibt sich eine räumliche Untergliederung des Siedlungsraumes in bioklimatisch und/oder lufthygienisch belastete Bereiche einerseits sowie unbelastete bzw. lediglich gering belastete andererseits. Letztere sind, durch von Kaltluftproduzierenden Grünflächen ausgehende Kaltluftereinwirkbereiche, nur gering überwärmt und durch eine ausreichende Durchlüftung gekennzeichnet. Kaltluftereinwirkbereiche innerhalb der Bebauung sind in der Klimafunktionskarte durch eine Schraffur gekennzeichnet (S. Anhang). Insgesamt werden ca. 54 % des Siedlungsraums durchlüftet.

Abbildung 7.1 zeigt einen Ausschnitt des zentralen und östlichen Stadtbereiches aus der Klimafunktionskarte. Bioklimatisch belastete Siedlungsbereiche sind hier orange und violett gekennzeichnet, gering oder nicht belastete Bereiche grün oder gelb. Gering oder nicht belasteten Siedlungsräume liegen innerhalb des Kaltluftereinwirkbereiches. Bioklimatisch belastete Bereiche, die zusätzlich durch hohes Verkehrsaufkommen lufthygienisch belastet sind, sind als rote Bereiche zu erkennen.

Die Reichweite einer Kaltluftströmung in die Bebauung hängt vor allem vom Ausmaß der Kaltluftdynamik ab. Sie ist bei Kaltluftabflüssen mit Bezug zu großräumigen Kaltluftentstehungsflächen im Umland, wie sie am östlichen Stadtrand von Hilden gegeben sind, am intensivsten.

Darüber hinaus spielt aber auch die Hinderniswirkung des angrenzenden Bebauungstyps eine wesentliche Rolle. Diese ist bei einer Einzel- und Reihenhausbauung mit einem relativ niedrigen Versiegelungsgrad von 40 % vergleichsweise gering ausgeprägt. Bei einer innenstadtnahen Zentrumsbebauung sowie Gewerbegebieten mit höherem Überbauungsgrad und Strukturhöhe ist die Hinderniswirkung am stärksten. Da sich im nord-östlichen Bereich der Stadt vielfach Einzel- und Reihenhausbauung befindet, kann die Kaltluft hier bis weit ins Zentrum der Stadt vordringen. In den peripheren, vergleichsweise gering überbauten Stadtteilen östlich der Gerresheimer Straße erfolgt häufig ein flächenhaftes Eindringen von Kaltluft in den Siedlungsraum. Die Eindringtiefe der Kaltluft beträgt hier, abhängig von der Bebauungsstruktur, bis zu 1000 m. Daher weist ein Großteil dieser Stadtbereiche eine geringe bis keine bioklimatische Belastung auf.

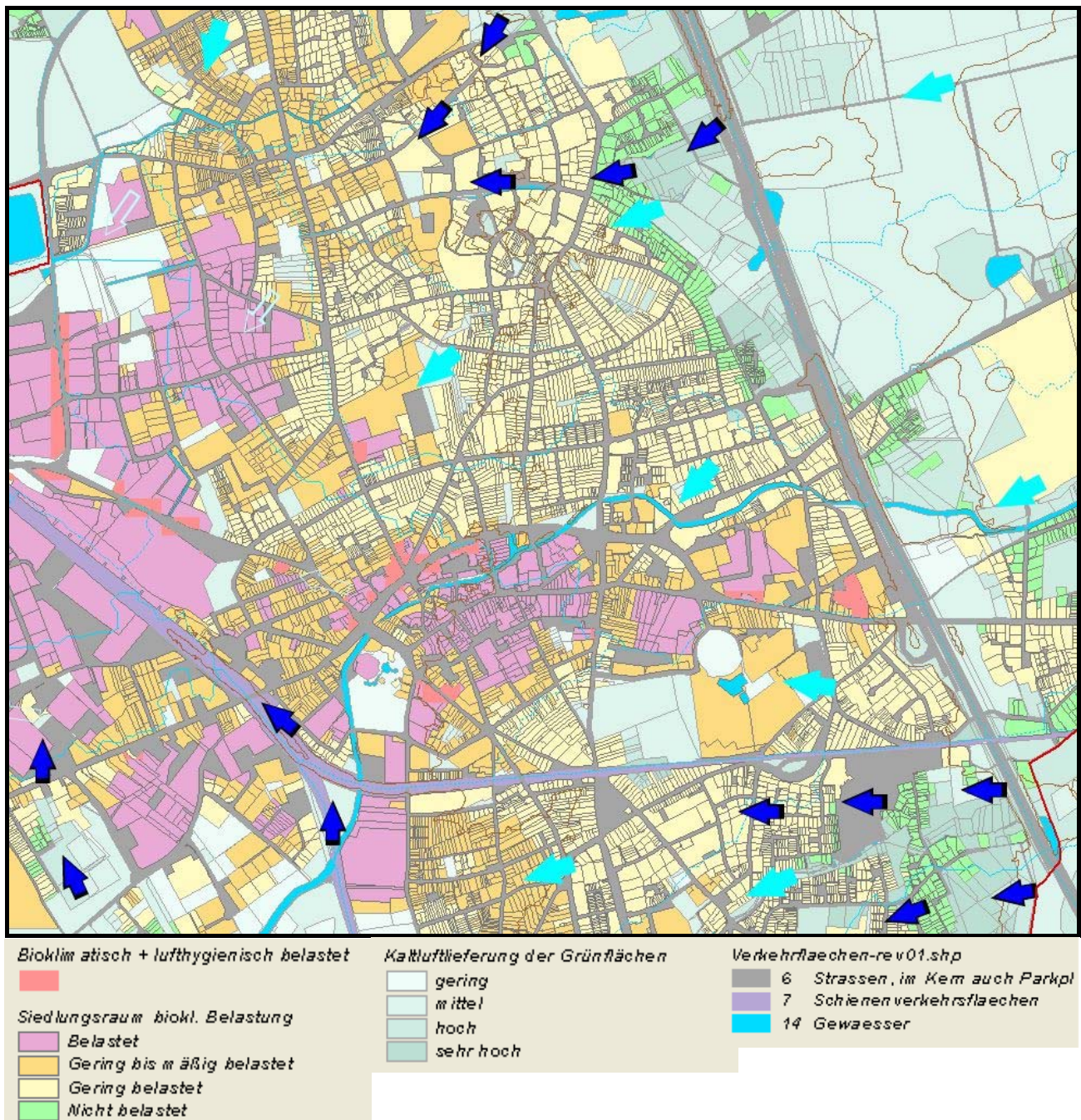


Abb. 7.1: Klimafunktionen im zentralen und östlichen Bereich von Hilden.

Diesen Gunsträumen stehen Belastungsbereiche mit einer überdurchschnittlichen Wärmebelastung und einem Durchlüftungsdefizit gegenüber. Im Stadtzentrum von Hilden dominiert eine Belastungssituation, die aus dem hohen Überbauungs- und Versiegelungsgrad sowie einer in Teilen unzureichenden Durchlüftung resultiert. Vor allem die größeren Gewerbe- und Industrieareale im westlichen Stadtgebiet stellen klimaökologisch belastete Bereiche dar, da sie vielfach eine verdichtete Bebauungsstruktur mit hohem Versiegelungsgrad aufweisen und von der östlich einfließenden Kaltluft nicht mehr erreicht werden. Die Kaltluftzufuhr erfolgt hier vornehmlich von Süden her, wobei die Eindringtiefe der Kaltluft aber durch den hohen Versiegelungsgrad dieses Stadtteils beschränkt wird. Ein flächenhaftes Einfließen ist aufgrund der dichten Bebauung nicht mehr möglich, die Kaltluft dringt hier auf Leitbahnen in die Bebauung ein. Innerhalb dieser

Leitbahnen beträgt die Eindringtiefe bis zu etwa 600 m. Abbildung 7.2 verdeutlicht die Situation anhand eines Ausschnittes der Klimafunktionskarte, der den südwestlichen Stadtbereich zeigt.

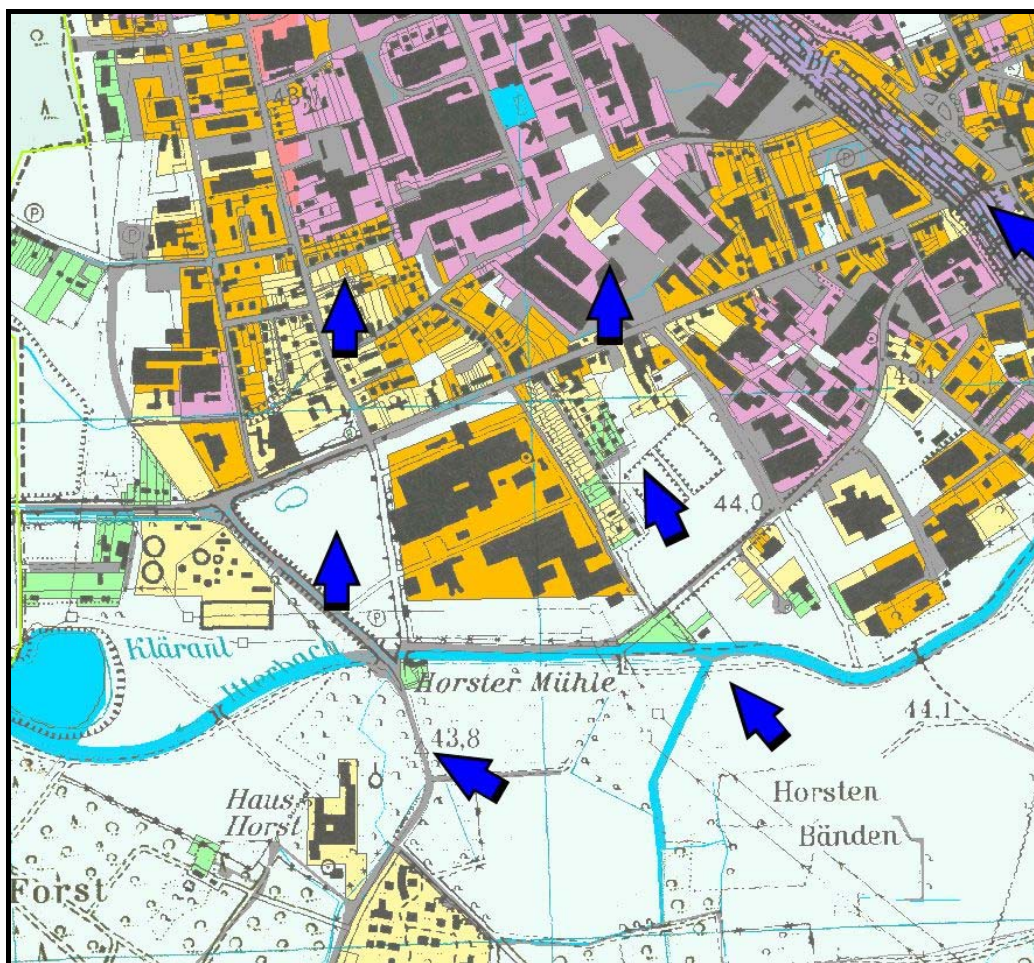


Abb. 7.2: Ausschnitt aus der Klimafunktionskarte, südwestlicher Stadtbereich (Legende s. Abb 7.1)

Darüber hinaus können auch in den äußeren Stadtteilen vereinzelte Baublöcke mit einer potenziellen Belastung hervortreten, wenngleich die Belastungsintensität nicht der des Innenstadtbereiches entspricht. Dabei handelt es sich um vergleichsweise kleine Baublöcke mit hoher Bebauungsdichte. In den äußeren Stadtteilen kann die bioklimatische Belastungssituation aber generell als gering beurteilt werden.

Insgesamt weisen die einzelnen Bebauungstypen im Stadtgebiet aber unterschiedliche Belastungsgrade auf, die letztlich aus ihrem Versiegelungsgrad aber auch ihrer räumlichen Lage relativ zu den Kaltluft liefernden Freiflächen resultieren. Tabelle 7.5 fasst die Belastungssituation im Siedlungsraum für die einzelnen Bebauungstypen zusammen, in Abbildung 7.3 ist die bioklimatische Belastung des Siedlungsraumes ohne die Grün- und Freiflächen noch einmal schematisch dargestellt.

	Siedlungsgebiet insgesamt	Block-bebauung	Gewerbe	Zeilen-bebauung	Reihen- u. Einzel-haus
Belastet:	17%	85%	54%	29%	1%
Mäßig belastet:	29%	11%	38%	66%	24%
Gering belastet:	17%	2%	1,50%	3%	24%
Nicht belastet:	37%	3%	7%	2%	52%

Tabelle 7.5: Belastungssituation innerhalb des Siedlungsraumes.

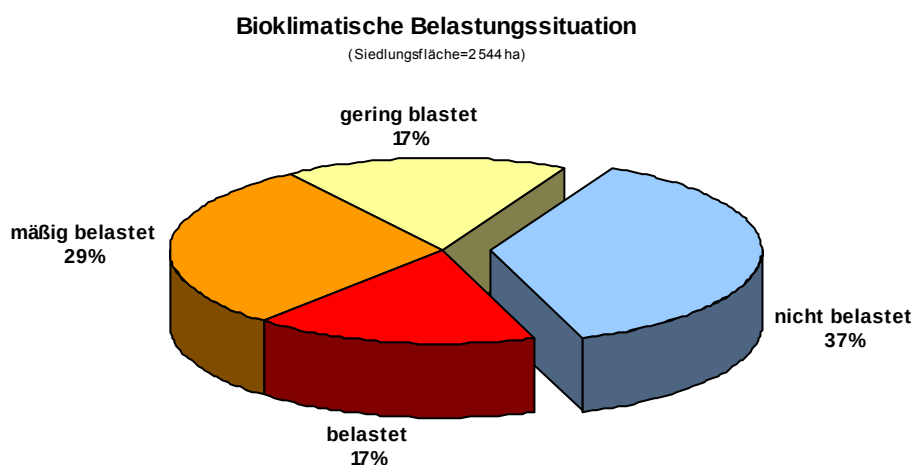


Abb. 7.3: Bioklimatische Belastungssituation der Siedlungsflächen im Stadtgebiet von Hilden.

Die Darstellung der verkehrsbedingten Luftbelastung entlang von Hauptverkehrsstraßen ergänzt das Spektrum auftretender Belastungen. Grundlage sind die durchgeführte Ausbreitungsrechnung mit dem Modell FITNAH für verkehrsbedingte Luftschadstoffe (s. Kap. 5). Als Leitkomponente für verkehrsbedingte Immissionen wurde, wie bereits in Kapitel 5 erläutert, NO_2 ausgewählt, da sich im berechneten NO_2 -Immissionsfeld eher Grenzwertüberschreitungen abzeichnen als bei den Feinstaubimmissionen. Als lufthygienischer Belastungsbereich werden hier solche Areale definiert, für die im Jahresmittel ein Konzentrationsniveau von mehr als $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Stickstoffdioxid (NO_2) für das Analysejahr 2005 berechnet wurde. Dieses Niveau entspricht dem Jahres-Immissionswert für NO_2 gemäß der 22. BImSchV ab dem Jahr 2010. Die flächenhafte Ausdehnung des NO_2 -Belastungsbereiches mit potentiellen Überschreitungen des Jahres-Immissionswertes beläuft sich insgesamt auf etwa 11 % des Siedlungsraumes der Stadt Hilden.

Die höchste Belastungssituation ist somit gegeben, wenn neben der bioklimatischen auch eine lufthygienische Belastung vorliegt. Die Kombination beider Elemente zu bioklimatisch und lufthygienisch belasteten Bereichen ist in der Klimafunktionskarte als eigene Signatur enthalten. Diese Belastung ist vorrangig im Innenstadtbereich anzutreffen. Die Belastungsbereiche erstrecken sich jedoch nur selten über den gesamten Straßenverlauf. In der Regel sind lediglich einzelne Straßenabschnitte bzw. Baublöcke betroffen. In die-

sem Zusammenhang sind Siedlungsräume partiell vor allem entlang von Abschnitten der folgenden Hauptverkehrsstraßen durch bioklimatische und lufthygienische Belastungen betroffen:

- Hülsenstraße, Kleinhülsen und Niedenstraße
- Ellerstraße
- Westring
- B228 - Berliner Straße

Die flächenhafte Ausdehnung bioklimatisch belasteter Siedlungsräume mit einer NO₂-Belastung oberhalb von 40 µg/m³ erreicht in etwa einen Anteil von 2,9 % am gesamten Stadtgebiet und 8 % am Siedlungsraum der Stadt Hilden.

Eine Flächenbilanzierung der ermittelten bioklimatischen Belastungsklassen ergibt (s. auch Abb. 7.3):

- 17 % der Siedlungsfläche sind als bioklimatisch belastet einzuordnen
- 29 % sind mäßig belastet
- 17 % weisen eine geringe Belastung auf
- 37 % des Siedlungsraumes sind nicht belastet

Teilbereiche des bioklimatisch belasteten Siedlungsraumes sind auch lufthygienisch belastet:

- 8 % des gesamten Siedlungsraums ist bioklimatisch und zugleich lufthygienisch belastet

7.2.3 Luftaustausch

Strukturen, die den Luftaustausch ermöglichen und Kaltluft heranzuführen, sind das zentrale Bindeglied zwischen Ausgleichsräumen und bioklimatisch belasteten Wirkungsräumen. Leitbahnen sollten eine geringe Oberflächenrauigkeit aufweisen und linear auf Wirkungsräume ausgerichtet sein. Grundsätzlich kommen Tal- und Auenbereiche, größere Grünflächen sowie Bahnareale als geeignete Strukturen in Frage.

Östlich von Hilden fließt die Kaltluft flächenhaft von den am Hang liegenden Vegetationsflächen in die städtische Bebauung hinein. Aufgrund der Bebauungsstruktur am östlichen Stadtrand kommt es vereinzelt zu einer Kanalisierung der Kaltluft in Form von Leitbahnen, die insgesamt in das Strömungsfeld eingebettet sind. In der Klimafunktionskarte wurde hier 5 Leitbahnen ausgewiesen. Von Süden her dringt Kaltluft dagegen vor allem auf 3 einzelnen Leitbahnen in die Bebauung ein (s. auch Abb. 7.2). Die Kanalisierung ergibt sich in erster Linie aus der Bebauungsstruktur und den lokalen Temperaturgegensätzen. Die Leitbahnen laufen hier über die relativ schmalen Freiflächen, die von Süden her in die Bebauung hineinragen. Diese Freiflächen stellen für die Klimafunktion des angrenzenden Stadtteils wichtige und für eine Nutzungsänderung empfindlichen Flächen dar.

Darüber hinaus erfolgt keine Leitbahnausweisung für Bereiche, wo Kaltluft von Grünflächen direkt in die Bebauung strömt. In diesen Fällen grenzen Ausgleichs- und Wirkungsraum direkt aneinander, so dass eine Leitbahnausweisung nicht möglich ist.

8 Planungskarte Stadtklima

Die Planungshinweiskarte Stadtklima stellt eine integrierende Bewertung der in der Klimafunktionskarte dargestellten Sachverhalte im Hinblick auf planungsrelevante Fragestellungen dar. Aus ihr lassen sich Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen zur stadtklimatischen Situation ableiten oder auch Auswirkungen von Nutzungsänderungen bewerten. Dem Leitgedanken dieser Bemühungen entsprechen die Ziele

- Sicherung,
- Entwicklung und
- Wiederherstellung

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

In Folgendem wird auf die planerische Einordnung der klimaökologisch relevanten Elemente in Hilden eingegangen. Basis für die Beurteilung und Abgrenzung der Räume hinsichtlich ihrer planerischen Prioritäten sind vor allem die Klimaparameter für eine austauscharme Strahlungswetterlage. Der Aufbau der Legende der Planungskarte folgt dabei dem Konzept des Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüges.

8.1 Grün- und Freiflächen

Innerstädtische und siedlungsnahen Grünflächen haben eine wesentliche Wirkung auf das Stadtklima und beeinflussen die direkte Umgebung in mikroklimatischer Sicht positiv. Aus größeren, zusammenhängenden Grünarealen ergibt sich somit das klimatische Regenerationspotenzial. Der produzierte Kaltluftvolumenstrom als qualifizierender Parameter tritt aber an dieser Stelle in den Hintergrund. Für die planerische Einordnung ist vielmehr die Lage im Raum entscheidend und damit die Frage, welche bioklimatische Belastung eine zugeordnete Bebauung aufweist. Denn letztendlich kann auch eine Grünfläche mit einer vergleichsweise geringen Kaltluftproduktion eine signifikante Entlastungswirkung in stark überbauten Bereichen erbringen.

Eine **hohe stadtklimatische Bedeutung** erlangen daher Grün- und Freiflächen mit Einfluss auf bioklimatisch belastete Siedlungsräume. Von dieser Kategorie sind am unmittelbaren Bebauungsrand der Stadt insgesamt zwei Kaltluftentstehungsgebiete ermittelt worden, die sich teils aus mehreren Einzugsgebieten zusammensetzen:

Eine dieser stadtklimatisch wichtigen Flächen befindet sich am nord-östlichen Randbereich der Stadt, zwischen städtischer Bebauung und dem Straßenverlauf des Nord- und Ostringes bzw. dem hier verlaufenden Autobahnabschnitt der A3. Die A3 verläuft in diesem Streckenabschnitt auf einem Damm, an dessen Ostseite es zu Beginn der Nacht zunächst zu einem Stau der abfließenden Kaltluft kommt. Da an den Hangbereichen aber bedeutende Mengen an Kaltluft produziert werden, kommt es im Laufe der Nacht zu einem Überströmen des Autobahndammes in Richtung des Stadtgebietes. Über die dunkelgrün gekennzeichneten

Freiflächen wird die vorwiegend flächenhaft einfließende Kaltluft in das Stadtgebiet weitergeleitet. Diese Flächen haben damit neben Ihrer eigenen Kaltluftproduktion eine wichtige Funktion für die Weiterleitung der Kaltluft. Ein ungehinderter Transport der Kaltluft ist hier wichtig für die Durchlüftung des nördlichen Stadtgebietes. Entsprechend weisen diese Flächen eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen auf, die diesen Transport behindern. Die auf diesem Weg in das Stadtgebiet gelangende Kaltluft transportiert allerdings beim Überströmen des Autobahndammes auch hier freigesetzte Schadstoffemissionen weiter, so dass an dieser Stelle Kaltluft, aber keine unbelastete Frischluft ins Stadtgebiet transportiert wird. Der positive Effekt der Kaltluftzufuhr ist hier aber höher zu bewerten als der mögliche Transport verkehrsbedingter Luftschadstoffe. Eine Bepflanzung vorhandener Freiflächen entlang des Autobahnverlaufs mit einem lichten Baumbestand, in dessen Stammraum noch ein ungehinderter Transport von Kaltluft möglich ist und dessen Kronen eine gewisse Filterwirkung für Schadstoffemissionen übernehmen können, wäre denkbar. Diese Freiflächen verbinden die flächenmäßig größten Kaltlufteinzugsgebiete östlich der Stadt mit dem eigentlichen Stadtgebiet von Hilden.

Die zweite Freifläche im Stadtrandbereich mit hoher stadtklimatischer Bedeutung liegt am südwestlichen Stadtrand im Bereich der Gemarkung „Horster Bänden“. Diese Kaltluft produzierenden Freiflächen stehen in direkter Verbindung mit dem bioklimatisch belasteten Gewerbegebiet südlich der Düsseldorfer Straße. Die Kaltluft gelangt hier vor allem über 3 Leitbahnen in die Bebauung. Die Leitbahnen verlaufen auf Freiflächen, die in die Bebauung hineinragen. Die Kaltluft produzierenden Flächen selbst, aber vor allem die Kaltluftleitbahnen, weisen eine sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen auf, die diesen Transport einschränken. Diese Flächen im südlichen Stadtbereich bilden das zweitgrößte Kaltluftentstehungsgebiet mit einer hohen stadtklimatischen Bedeutung für den westlichen Bereich von Hilden.

Eine hohe Bedeutung kann darüber hinaus auch den kleineren Park-, Ruderal- und Brachflächen zukommen, sofern sie Entlastungswirkungen für die benachbarte Bebauung erzeugen können.

Daraus resultiert für diese Flächen mit hoher stadtklimatischer Bedeutung die höchste Empfindlichkeit gegenüber einer Nutzungsintensivierung mit den folgenden Planungsempfehlungen:

- Vermeidung von Austauschbarrieren gegenüber bebauten Randbereichen,
- Reduzierung von Emissionen und
- Vernetzung mit Freiflächen.

Dies bedeutet, dass bauliche und zur Versiegelung beitragende Nutzungen dieser Flächen zu weiteren, bedenklichen klimatischen Beeinträchtigungen führen können.

Grün- und Freiflächen, die einen Bezug zu Siedlungsräumen mit einem geringen Belastungsniveau oder sogar günstigem Kleinklima aufweisen, besitzen eine **mittlere stadtklimatische Bedeutung**. Sie sind ebenfalls nahe des Stadtkörpers lokalisiert und haben Bezug zu den weniger bioklimatisch belasteten, meist peripheren Siedlungsräumen. Von mittlerer stadtklimatischer Bedeutung sind auch die an die Bebauung direkt angrenzende Freiflächen, die nicht für den Kaltlufthaushalt relevant sind, aber am westlichen bis südwestlichen Stadtrand liegen. Für die regional am häufigsten auftretenden Wetterlagen mit Winden aus südwestlichen Richtungen sollte ebenfalls eine gute Durchlüftung der Baukörper gewährleistet sein. Diese Wet-

terlagen stellen in unseren Breiten keine typischen bioklimatischen Belastungssituationen dar, eine gute Durchlüftung kann aber einen hohen Beitrag zur lufthygienischen Situation einer Stadt liefern.

Für diese Flächen ergibt sich eine hohe Empfindlichkeit gegenüber einer Nutzungsintensivierung, bei der insbesondere der Luftaustausch mit der Umgebung berücksichtigt werden sollte. Im Vordergrund steht hier ein Vermeiden von Austauschbarrieren gegenüber den Freiflächen.

Als dritte Kategorie werden Grün- und Freiflächen mit einer **geringen stadtklimatischen Bedeutung** ausgewiesen. Dabei handelt es sich um die übrigen siedlungsfernen Freiflächen, welche keinen nennenswerten Einfluss auf - belastete - Siedlungsbereiche ausüben. Dort wären bauliche Eingriffe, die den lokalen Luftaustausch nicht wesentlich beeinträchtigen, nur mit geringen klimatischen Veränderungen verbunden.

8.2 Siedlungsräume

Die Siedlungsräume zeichnen sich durch eine unterschiedliche Bebauungsdichte aus. Daraus resultieren letztlich verschiedene bioklimatische Belastungen während sommerlicher, austauscharmer Strahlungswetterlagen (vgl. Kap. 7.3) und entsprechend auch eine differenzierte planerische Betrachtung.

Wohnbebauung, welche eine günstige bioklimatische Situation aufweist, ist meist durch eine offene Bebauungsstruktur, einem überdurchschnittlich hohen Grünflächenanteil und/oder einer wirksamen Kaltluftströmung gekennzeichnet. Diese Räume weisen am ehesten ein Potenzial zur weiteren maßvollen, baulichen Verdichtung auf, da sie lediglich gering bzw. nicht belastet sind. In diesem Zusammenhang sollten die folgenden planerischen Aspekte berücksichtigt werden:

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

Belastungsbereiche weisen hingegen einen Durchlüftungsmangel, eine überdurchschnittliche Wärmebelastung und lokal auch eine lufthygienische Belastung auf. Unterschieden werden Siedlungsräume mit einer mäßigen Belastung bzw. einer Belastungssituation.

Für diese Gebiete können die folgenden Empfehlungen gegeben werden:

- Verbesserung der Durchlüftung und Erhöhung des Vegetationsanteils
- Erhalt aller Freiflächen
- Reduzierung/Vermeidung von Emissionen
- Herabsetzung des Versiegelungsgrades

Diese Bereiche weisen daher gegenüber einer weiteren Verdichtung eine hohe (mäßig belastete Bereiche) bzw. die höchste Empfindlichkeit (belastete Bereiche) auf.

8.3 Luftaustausch

Strukturen, die den Luftaustausch ermöglichen und Kaltluft heranzuführen, sind das zentrale Bindeglied zwischen Ausgleichsräumen und bioklimatisch belasteten Wirkungsräumen. Leitbahnen sollten generell eine geringe Oberflächenrauigkeit aufweisen, wobei gehölzarme Tal- und Auenbereiche, größere Grünflächen und Bahnareale als geeignete Strukturen in Frage kommen. In diesem Zusammenhang dienen Leitbahnen im Stadtgebiet Hilden vor allem für die Zufuhr von Kaltluft aus dem stadtnahen Umland. Dabei wurden, analog zu den Kaltluftentstehungsgebieten, Kaltluftleitbahnen mit einer hohen sowie einer mittleren Planungspriorität ausgewiesen. In Rahmen der Klima- und Windfeldmodellierung sind die in Kap. 7.4 genannten Leitbahnen ermittelt worden.

Für alle Leitbahnen gelten die folgenden Planungshinweise:

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

Von den ausgewiesenen Leitbahnbereichen besitzen die Leitbahnen am südwestlichen und nordöstlichen Stadtrand eine hohe planerische Bedeutung. Die 3 Leitbahnen im Südwesten der Stadt verlaufen auf relativ schmalen Freiflächen und verbinden unmittelbar Kaltlufteinzugsgebiete mit belastetem Siedlungsraum. Da diese Leitbahnbereiche bereits jetzt räumlich sehr eingeschränkt sind, sollte hier, wenn möglich, keine weitere Bebauung erfolgen. Diese Bereiche wurden in der Planungskarte zusätzlich mit einer Schraffur versehen.

9 Fazit

Die vorliegende Untersuchung hat die klimaökologischen Funktionszusammenhänge im Stadtgebiet Hilden während austauscharmer, sommerlicher Hochdruckwetterlagen dargelegt. Durch die Zufuhr von frischer und kühlerer Luft können klima- und immissionsökologische Ausgleichsleistungen für die Belastungsräume erbracht werden. In diesem Rahmen sind bioklimatisch und/oder lufthygienisch belastete Siedlungsräume einerseits sowie entlastende, Kaltluft produzierende Flächen andererseits ausgewiesen worden. Insgesamt gesehen ist das klimatische Ausgleichspotenzial der umgebenden Freiflächen als hoch anzusehen.

Die durchgeführten Ausbreitungsrechnungen für verkehrstypische Luftschadstoffe haben lufthygienische Belastungsbereiche im Hauptstraßennetz hervorgehoben. Als Leitkomponente für verkehrsbedingte Immissionen wurde hier Stickstoffdioxid (NO_2) ausgewählt, da sich im berechneten NO_2 -Immissionsfeld eher Grenzwertüberschreitungen abzeichnen als bei den Feinstaubimmissionen. Die durchgeführte Ausbreitungsrechnung für den verkehrstypischen Luftschadstoff Stickstoffdioxid (NO_2) hat die lufthygienischen Belastungsbereiche im Hauptstraßennetz hervorgehoben. Die flächenhafte Ausdehnung des NO_2 -Belastungsbereiches mit potentiellen Überschreitungen des Jahres-Immissionswertes beläuft sich insgesamt auf etwa 11 % des Siedlungsraumes der Stadt Hilden. Die flächenhafte Ausdehnung bioklimatisch belasteter Siedlungsräume mit einer NO_2 -Belastung oberhalb von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht in etwa einem Anteil von 8 % am Siedlungsraum der Stadt Hilden. Es wurde zudem deutlich, dass einige Straßenabschnitte der Innenstadt als potenziell lufthygienisch belastet eingeordnet werden können.

Eine Flächenbilanzierung der ermittelten bioklimatischen Belastungsklassen ergibt:

- 17 % der Siedlungsfläche sind als bioklimatisch belastet einzuordnen
- 29 % sind mäßig belastet
- 17 % weisen eine geringe Belastung auf
- 37 % des Siedlungsraumes sind nicht belastet

Teilbereiche des bioklimatisch belasteten Siedlungsraumes sind auch lufthygienisch belastet:

- 8 % des gesamten Siedlungsraums ist bioklimatisch und zugleich lufthygienisch belastet

Basierend auf den Empfindlichkeiten von Siedlungsbereichen einerseits und Kaltluft produzierenden Freiflächen andererseits lassen sich planungsbezogene Aussagen treffen. Im Hinblick auf weitere Nutzungsintensivierungen im Stadtgebiet Hilden sollten die Funktionen der klima- und immissionsökologisch wichtigen Strukturen möglichst wenig beeinträchtigt werden.

Als klima- und immissionsökologisches Qualitätsziel ergibt sich die Sicherung, Entwicklung und Wiederherstellung wichtiger Oberflächenstrukturen zur Verbesserung bzw. Erhaltung bioklimatisch günstiger Verhältnisse sowie der Luftqualität. Durch die Kenntnis der wesentlichen, das klimaökologische Prozessgeschehen steuernden Strukturelementen wie Kaltluftentstehungsflächen, Luftleitbahnen und Komforträumen sowie ihrer qualitativen Einordnung steht mit der vorliegenden Untersuchung eine wichtige Grundlage zur Umsetzung dieser Ziele bereit.

10 Literatur

- BAST (2005): PM10-Emissionen an Außerortsstraßen – mit Zusatzuntersuchung zum Vergleich der PM10-Konzentrationen aus Messungen an der A1 Hamburg und Ausbreitungsrechnungen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft 125, Bergisch-Gladbach, Juni 2005.
- DWD – Deutscher Wetterdienst (1996): Angaben zu austauscharmen Strahlungswetterlagen in Niedersachsen – praxisnahe Definition und Häufigkeitsverteilung. Mündliche Mitteilung des Leiters des Wetteramtes Hannover-Langenhagen.
- DÜRING, I., Lohmeyer, A (2004): Modellierung nicht motorbedingter PM10-Emissionen von Straßen. KRdL-Experten-Forum „Staub und Staubinhaltsstoffe“, 10./11. November 2004, Düsseldorf. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL, KRdL-Schriftenreihe Band 33.
- EICHHORN, J. (1995): Validierung eines Prognosemodells zur Vorhersage Kfz-bedingter Schadstoffimmissionen. Annal. Meteorol. 31, 339-340.
- EUROPEAN COMMISSION (1994): EUR 12585 – CORINE Landcover project – Technical Guide. Office for official Publications of the European Communities. Luxembourg.
- GRASY + ZANOLLI ENGINEERING (2007): Lärmkartierung zur Neuaufstellung des Flächennutzungsplanes der Stadt Hilden in Verbindung mit der Kartierung im Rahmen der EU-Umgebungsrichtlinie, Köln.
- 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.
- MINISTERIUM FÜR UMWELT RAUMORDNUNG UND LANDWISCHAFT DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (1989): Klima-Atlas von Nordrhein-Westfalen.
- MORISKE, H.-J. und E. TUROWSKI (2003): Handbuch für Bioklima und Lufthygiene. 9. Ergänzungslieferung
- MOSIMANN, Th., P. TRUTE & Th. FREY (1999): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, Heft 4/99, S. 202-275.
- RÖCKLE, R. und C.-J. RICHTER (1995): Ermittlung des Strömungs- und Konzentrationsfeldes im Nahfeld typischer Gebäudekonfigurationen - Modellrechnungen. PEF-Bericht 136, Forschungszentrum Karlsruhe.
- SCHÄDLER, G. et al. (1996): Vergleich und Bewertung derzeit verfügbarer mikroskaliger Strömungs- und Ausbreitungsmodelle. PEF Bericht 138, Forschungszentrum Karlsruhe.
- STADT HILDEN (2006): Verkehrsmengenkarte.
- STADT HILDEN (2008): Verkehrszahlen der Autobahnabschnitte A3, A46 und A59 für das Jahr 2005.
- STADT HILDEN (2008): Luftbildbefliegung des Jahres 2005.
- STADT HILDEN (2008): ATKIS Basis DLM5.

STADT HILDEN (2008): ATKIS DGM5 aus den Jahren 2000 bis 2001.

UBA (2004): HBEFA Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. Version 2.1/Februar 2004. INFRAS AG, Bern Schweiz, Hrsg.: UBA (Umweltbundesamt) Berlin.

ULRICH, W. (1987): Simulationen von thermisch induzierten Winden und Überströmungssituationen. Wiss. Mitt. Meteor. Inst. Univ. München Nr. 57.

VDI Verein Deutscher Ingenieure (2007): Richtlinie VDI 3785 Blatt 1, Entwurf. Umweltmeteorologie: Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima. Düsseldorf.

22. BImSchV (2002): 22. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Festlegung von Konzentrationswerten – 22. BImSchV), 11.09.2002.

11 Glossar

Ausgleichsraum: Kaltluft produzierende, unbebaute und vegetationsgeprägte Fläche die an einen Wirkungsraum angrenzt oder mit diesem über eine Leitbahn verbunden ist.

Autochtone Wetterlage: Eigenbürtige Wetterlage: Durch lokale und regionale Einflussfaktoren bestimmte Wetterlage. Solche Wettersituationen entstehen bei antizyklonalen Grosswetterlagen und sind durch einen ausgeprägten Tagesgang der Strahlung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind und Bewölkung geprägt. Durch lokale Temperaturunterschiede entstehen Ausgleichsströmungen.

Bioklima: Beschreibt die Einflüsse von Wetter und Klima (atmosphärische Umgebungsbedingungen) auf lebende Organismen und insbesondere den Menschen.

DTV: (Daily traffic value:) Durchschnittliche Anzahl von Kraftfahrzeugen die täglich einen Straßenabschnitt passieren.

Gunsträume: Klimatisch günstige Siedlungsräume: häufig locker bebaute und durchgrünte Siedlungen mit einem geringen Versiegelungsgrad, hohem Vegetationsanteil und relativ hoher nächtlicher Abkühlungsrate. Diese Areale sind zu einem gewissen Maße selbst Kaltluftproduzenten und unterstützen die Kaltluftströmung benachbarter Freiflächen. Diese Gebiete führen weder zu einer intensiven bioklimatischen Belastung noch zu Beeinträchtigungen des Luftaustausches. Für die Bewertung des Bioklimas werden diese Räume in Anlehnung an die VDI Richtlinie 3785 den Klassen „nicht belastet (sehr günstig)“ oder „gering belastet (günstig)“ zugewiesen (s. auch Kapitel 7.1 Abschnitt Siedlungsräume).

humanbiometeorologische Belastung: Belastung der Gesundheit und des Wohlbefindens des Menschen durch meteorologische Einflüsse.

K, Kelvin: Abkürzung für die Einheit Kelvin, in der üblicherweise Temperaturdifferenzen angegeben werden. Ein Kelvin entspricht einer Temperaturdifferenz von 1 °C.

Kaltlufteinzugsgebiet: Zusammenfassung aller Kaltluft produzierenden Flächen, die einem Kaltluftabfluss oder Flurwind zugeordnet werden können.

Komfortinsel: Vielfältig strukturiert Vegetationsflächen in Wirkungsräumen mit günstigen klimatischen und lufthygienischen Bedingungen (z.B. kleine Parkanlage), s. auch Komfortraum.

Komfortraum: Bewachsene Freifläche, z.T. vielfältig strukturiert, mit günstigen bioklimatischen und lufthygienischen Bedingungen, in Nachbarschaft zum Wirkungsraum.

Leitbahnen: Mehr oder weniger linear ausgerichtete Freiflächen mit geringer Rauigkeit, die den lokalen bodennahen Luftaustausch (vor allem die Zufuhr von Kaltluft) fördern. Die Eigenschaften einer Leitbahn bestimmen letztlich, in welchem Umfang Ausgleichsleistungen von einem Ausgleichs- zum Wirkungsraum erbracht werden können.

Lufthygienische Belastung: Belastung der Luft durch Schadstoffe.

Orographie: Die Orographie beschreibt die Höhenstrukturen der natürlichen Erdoberfläche. Über die Orographie wird der Einfluss des Geländes auf das lokale Wettergeschehen berücksichtigt.

Strahlungsnacht: Wolkenlose windschwache Nacht mit ungehinderter Ausstrahlung, s. auch Strahlungswetterlage.

Strahlungswetterlage: Wetterlage mit geringen großräumigen Windströmungen und ungehinderten Ein- und Austrahlungsbedingungen. Für diese Wetterlagen sind eine geringe Bewölkung sowie eine mittlere Windgeschwindigkeit von weniger als 1,5 m/s typisch, die meteorologische Situation in Bodennähe wird dann vornehmlich durch den Wärme- und Strahlungshaushalt geprägt.

Ungunsträume: Klimatisch belastete Siedlungsräume, die einen Durchlüftungsmangel und eine für die Region überdurchschnittliche Wärmebelastung aufweisen. Hierbei werden Siedlungsräume mit den Bewertungskategorien „mäßig belastet (weniger günstig)“ sowie „belastet (ungünstig)“ unterschieden. Unter Berücksichtigung des Belastungsniveaus ergibt sich für diese Räume eine hohe bzw. sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber einer Nutzungsintensivierung.

Wirkungsraum: Siedlungsraum, der bioklimatisch und/oder lufthygienisch belastete ist und an einen oder mehrere Ausgleichsräume angrenzt oder über Leitbahnen an solche angebunden ist. Die Zufuhr von Kaltluft aus einem Ausgleichsraum kann zu einer Verminderung der Belastung beitragen.